

Valorisation énergétique des sous-produits de scieries

Philippe GIRARD

François PINTA

Laurent VAN DE STEENE

Cirad-forêt

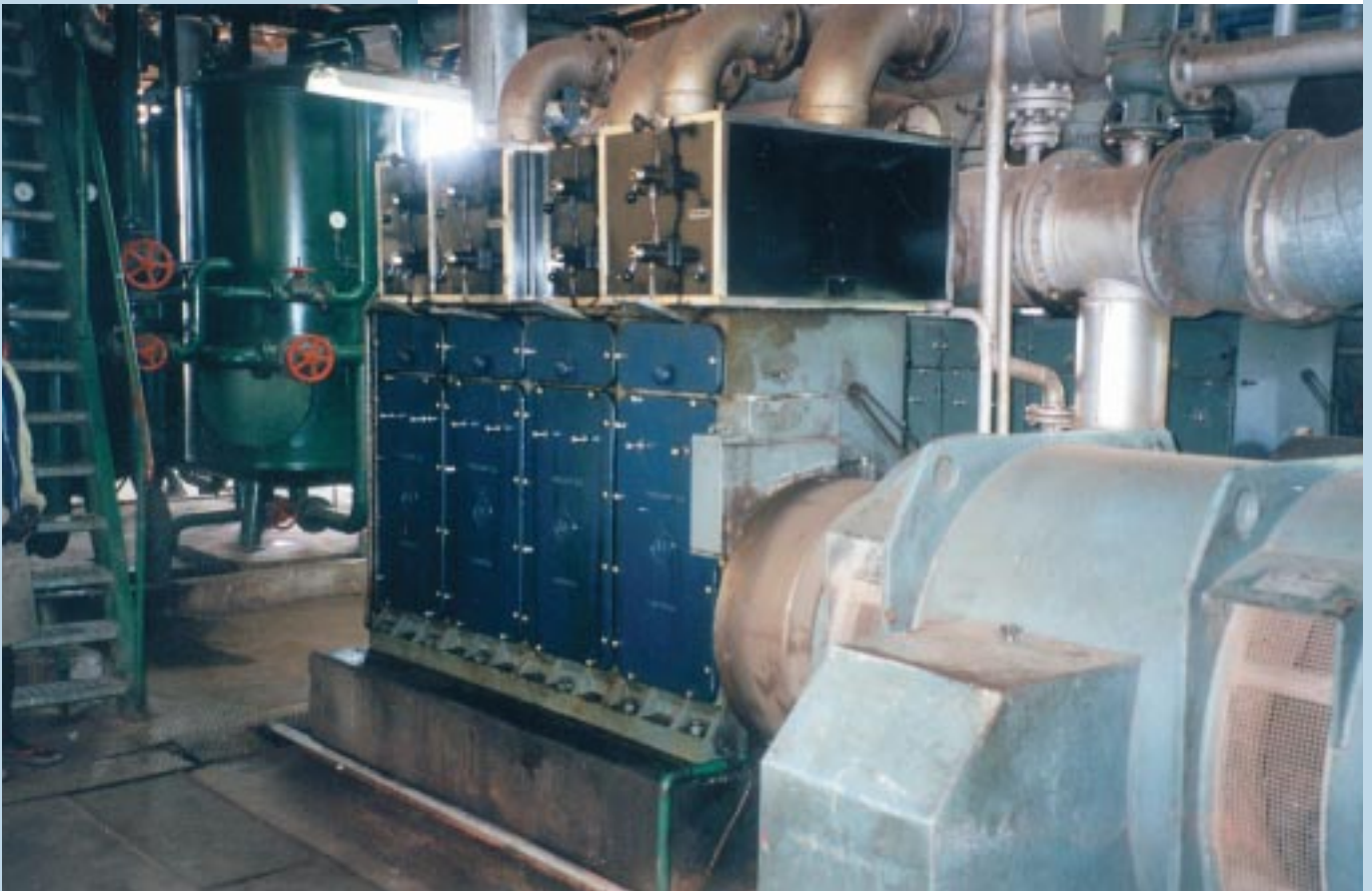
Laboratoire biomasse énergie environnement

TA 10/16

34398 Montpellier Cedex 5

France

Le potentiel énergétique des sous-produits de scieries est considérable, tant pour la production autonome de chaleur et d'électricité qu'en termes de développement économique. Des solutions techniques sont disponibles, qui permettent de répondre à la diversité des situations.



Moteur à vapeur Spilling (600 kW).

Spilling steam donkey (600 kW).

Photo P. Girard.

Philippe GIRARD,
François PINTA,
Laurent VAN DE STEENE

RÉSUMÉ

VALORISATION ÉNERGÉTIQUE DES SOUS-PRODUITS DE SCIERIES

La valorisation des sous-produits et produits connexes de scieries est une pratique encore trop peu développée en milieu tropical et tout particulièrement en Afrique. Cependant, le potentiel énergétique de ces sous-produits est considérable et les enjeux économiques et environnementaux qui sont attachés à leur utilisation dépassent assez largement le seul niveau de l'entreprise. C'est pourquoi, après avoir présenté l'origine et la quantité de sous-produits générés en scieries, puis dressé un inventaire rapide des solutions techniques qui permettront leur valorisation énergétique pour la production d'électricité et de chaleur, le présent article s'attache à rappeler les enjeux économiques de cette valorisation pour les entreprises et les pays hôtes. Les pays forestiers pourraient, en effet, satisfaire une part significative de leurs besoins d'électrification décentralisée si une telle option était systématisée.

Mots-clés : énergie, biomasse, cogénération, scierie, erd (électricité rurale décentralisée), déchet.

ABSTRACT

RECYCLING SAWMILL BY-PRODUCTS FOR ENERGY PRODUCTION

Using sawmill waste and by-products to produce energy is far from common in tropical regions, especially in Africa, despite their considerable energy-producing potential and the fact that the economic and environmental benefits of doing so are by no means limited to the sawmill itself. After describing the origins and quantities of sawmill by-products and briefly reviewing the technical solutions available to convert them into heat and electricity, this article seeks to draw attention to the economic advantages of their use for companies and their host countries. Timber-producing countries could meet a substantial share of their decentralised electrification needs by opting for systematic energy recovery from sawmill waste.

Keywords: energy, biomass, cogeneration, sawmill, DRE (decentralised rural electrification), waste.

RESUMEN

VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE LOS SUBPRODUCTOS DE ASERRADEROS

La valorización de los subproductos y productos relacionados de aserraderos es una práctica que está aún muy poco desarrollada en el medio tropical y, muy especialmente, en África. Sin embargo, el potencial energético de estos subproductos es considerable y los retos económicos y medioambientales vinculados a su uso superan ampliamente el nivel de la empresa. Por esta razón, y luego de haber presentado el origen y cantidad de subproductos producidos en aserraderos y describir sumariamente las soluciones técnicas que permitirán su valorización energética para producir electricidad y calor, el presente artículo hace especial referencia a los retos económicos que dicha valoración supone para las empresas y los países huéspedes. Los países forestales podrían satisfacer una parte importante de sus necesidades de electrificación descentralizada si se sistematizase dicha opción.

Palabras clave: energía, biomasa, cogeneración, aserradero, erd (electricidad rural descentralizada), desechos.

Introduction

Jusqu'à 75 % du volume de bois sur pied des arbres exploités se retrouve en forêt sous la forme de résidus d'exploitations forestières et de sous-produits dans les usines de première et seconde transformation. Ce pourcentage de déchets est d'autant plus élevé que le tissu industriel est faible et que le secteur de la seconde transformation est peu développé. Si on considère la production annuelle de sciage et de déroulage de l'ensemble des pays tropicaux, qui avoisine 800 millions de m³, on imagine les enjeux pour l'environnement que représente la valorisation de ces sous-produits, dont la majorité n'est toujours pas valorisée sous quelque forme que ce soit.

La situation est assez disparate en fonction des continents, mais ces sous-produits trouvent de plus en plus de débouchés. Il y a une prise de conscience grandissante du potentiel énergétique qu'ils représentent pour l'autonomie des industries et le développement technologique associé.

En effet, les crises pétrolières et les enjeux environnementaux vis-à-vis du CO₂ ont favorisé la dissémination de la cogénération d'électricité et de chaleur. Pour cela, ont été choisies, à la fois, des solutions conventionnelles et des solutions nouvelles adaptées au bois et aux déchets. Si ces technologies sont très largement diffusées en Europe et aux États-Unis, elles le sont également en milieu tropical, notamment en Asie du Sud-Est. Leurs performances et leur adaptation ne sont plus à démontrer.

Le manque d'information sur la disponibilité, l'existence et l'efficacité des technologies constitue, dans bien des cas, le seul frein à la dissémination des solutions de production d'électricité à partir de déchets de bois.

L'objectif de cet article est de présenter les technologies utilisables pour générer de l'énergie, en particulier la cogénération dans les industries du bois en milieu tropical, et de mettre en évidence les enjeux pour les entreprises et le développement des pays tropicaux.

Toutefois, nous limiterons notre travail au cas des scieries. En effet, dans les scieries, la combustion des déchets est peu utilisée pour satisfaire les besoins importants en chaleur, contrairement aux industries du panneau où cette pratique est généralisée.

Les déchets

L'objectif prioritaire des scieries consiste à optimiser le rendement en matière, ce qui conduit à minimiser le volume des sous-produits. Cependant, les exigences du marché à l'exportation en termes de qualité et la faiblesse des marchés locaux amènent les entreprises à éliminer de nombreuses pièces de bois avec de légers défauts. L'estimation précise du volume de déchets est très importante pour le dimensionnement de l'installation. Les déchets varient en fonction de l'essence, de la nature des équipements... Ils sont de quatre types : sciures, chutes de bois massifs, défauts de cœur au sciage, chutes de tronçonnage des grumes avant le sciage.

Les sciures

L'homogénéité granulométrique est un atout important pour l'utilisation des sciures. La production de sciures, dans une scierie, dépend pour beaucoup du type de débit. Les débits sont généralement définis d'après les demandes du marché, la nature des bois et surtout la qualité des grumes. Plus spécifiquement, les pertes au sciage dues au passage des lames de scies se regroupent en deux catégories.

Pour le sciage de l'épaisseur des débits, les lames de scies à ruban ont une largeur de 3 ou 5 mm pour les rubans de 140 cm et 180 cm respectivement, soit un passage moyen de 4 mm. Pour scier une planche de 25 mm en épaisseur, la perte due à la scie est donc de 16 % ; 8 % pour une planche de 50 mm et 5,3 % pour une planche de 75 mm. Cela fait une moyenne de 10 % de perte.

Pour déligner en largeur, il y a en général 1 ou 2 cotes de 1,5 en moyenne. Les lames font un passage moyen de 10,5 mm (7 mm x 1,5), soit 4,6 % de perte pour la largeur moyenne de 230 mm.

Scie de tête Artiglio.
Artiglio head-saw.
Photo C. Daigremont.



Cela fait un total minimal de pertes de 15 %, sous la forme de sciures dues au passage des lames. Ces pertes sont totalement incompressibles ; il convient d'ajouter environ 1 % en provenance de l'éboutage. L'humidité des sciures est élevée, elle est en effet peu différente de celle des grumes.

Les chutes de bois massifs

Les chutes sont constituées des dosses, délignures et chutes d'éboutage. La longueur des dosses et délignures est fonction du tronçonnage des grumes. Généralement, les dosses ont une longueur voisine de 6 m. Quand l'aubier est de 5 cm sur le rayon et que le diamètre moyen des billes entrées en scierie est de 100 cm, le volume perdu est de 20 %, pour les qualités sciées pour l'exportation n'acceptant pas d'aubier.

Les délignures, de longueurs inférieures ou égales à celles des dosses, n'ont pas de section bien définie. À l'origine, l'humidité des dosses est peu différente de celle des grumes dont elles proviennent. De même, la majorité des lignures ont une humidité élevée, équivalente à celle des grumes. Cependant, les délignures produites à partir de plateaux ressuyés ou d'avivés sortie séchoir ont une humidité bien plus faible.

L'utilisation directe, en chaudière, sans conditionnement préalable des dosses et délignures, est de moins en moins observée car leur manutention et leur introduction dans le foyer de la chaudière sont problématiques. De plus, le chargement de grosses pièces dans le foyer correspond à un système d'alimentation discontinue, qui occasionne des envols et, surtout, un fonctionnement irrégulier de la chaudière peu compatibles avec la production d'électricité. Un passage préalable dans un broyeur est recommandé.

Les chutes d'éboutage proviennent du tronçonnage des sciages préalablement avivés. Elles ont, donc, pour épaisseur et largeur celles des



Scie de tête Primulini.
Primulini head-saw.
Photo C. Daigremont.

avivés dont elles sont tirées. Leur longueur dépend de la nature du défaut à éliminer et de la longueur commerciale recherchée. Cela représente 6,6 % de perte pour des longueurs moyennes de planches de 3 m. À ces pertes, viennent s'ajouter celles dues aux nœuds extérieurs ou à la pourriture, qui obligent à tronçonner certaines planches plus courtes que la longueur de la grume initiale, entraînant environ 6 % de pertes supplémentaires. Soit un volume total de pertes de près de 13 %. Les chutes peuvent être utilisées directement en chaudière.

Le volume de l'ensemble des chutes en bois massif représente couramment autour de 30 % du volume de la grume et il peut parfois atteindre 40 %.

Défauts de cœur au sciage

Le cœur des bois, en particulier celui des bois rouges, présente des fentes qui entraînent des pertes importantes, en fonction du diamètre des grumes. À titre d'exemple, une grume de 100 cm de diamètre, qui se fend lors du sciage jusqu'à 15 cm du centre en moyenne, peut conduire à une perte de 10 % du volume de bois. Ces déchets sont assimilés aux dosses et délignures car ils présentent les mêmes caractéristiques en termes de conformation.

Chutes de tronçonnage de grumes avant le sciage

Ces pertes sont fonction, là encore, de la qualité des grumes et des longueurs des débités. Il s'agit de rondelles de 10 à 30 cm d'épaisseur, difficiles à valoriser pour la production d'électricité car elles nécessitent un refendage avant leur passage au broyeur. La meilleure valorisation envisageable est la production de charbon de bois. Le volume représente environ 5 %.

Les volumes disponibles

La disponibilité réelle en déchets à considérer pour la production combinée d'électricité et de chaleur sera constituée des éléments suivants (en pourcentage du volume de la grume) :

- sciures, 16 % ;
- dosses, délignures et aubier, 25 % ;
- chutes d'éboutage, 13 % ;
- défauts de cœur, 10 %.

Soit un total de 64 %.

Cependant, il convient d'être très vigilant dans les estimations de disponibilité établies à partir du rendement sciage et de tenir compte de la surcote que les scieurs sont obligés de consentir et qui leur est imposée (pour l'essentiel) par les règles du marché international. En effet, les surcotes de sciage usuelles sur le marché du débité et conformes aux



Scie battante multilame.
Multi-bladed stock saw.
Photo C. Daigremont.

règles Atibt, qui correspondent à la prise en compte des retraits de séchage, entraînent une baisse sur le rendement exprimé qui correspond à 14,2 % pour des planches de 25 mm d'épaisseur et de 230 mm de largeur moyenne, 12,2 % pour des planches de 50 mm d'épaisseur et 11,5 % pour des planches de 75 mm d'épaisseur.

Nous observons, donc, en moyenne une surcote de 12 % entre les débités de 25 à 75 mm, qui sont les plus fréquents. Les rendements au sciage pour l'exportation, c'est-à-dire du bois réellement exporté, sont alors de 1,12 fois le rendement au sciage annoncé et le volume de déchets utilisable s'en trouve diminué d'autant.

Sur le plan énergétique, il faut retenir que le pouvoir calorifique inférieur (Pci) de la grande majorité des bois de scierie à 40 % d'humidité sur brut peut être considéré comme constant et égal à 10 000 kJ/kg. Selon la technologie utilisée, l'énergie utile disponible sous la forme d'électricité est habituellement comprise entre 10 et 27 % de l'énergie Pci contenue dans le bois (voir plus loin « Quelques exemples de réalisations »).

Les besoins énergétiques des scieries

Ces besoins sont de deux ordres : électriques pour actionner les moteurs, thermiques pour le séchage du bois. Ils varient fortement en fonction de l'essence utilisée, des équipements disponibles ainsi que de leur maintenance et surtout de leur mise en œuvre.

Les besoins électriques des scieries

En fonction de l'heure de la journée, selon le fonctionnement ou non de la scierie et des ateliers, la capacité installée peut varier dans de fortes proportions. Mais la donnée la plus caractéristique d'une scierie, en termes de besoins électriques, est la forte demande de pointe par rapport à la demande moyenne, qui impose souvent un suréquipement important pour tenir compte de ce phénomène (fonctionnement alternatif de la scie de tête).

Le sciage nécessite environ 50 kWh/m³ d'avivés (15 kWh/m³ de grumes) pour les bois rouges et 35 kWh/m³ d'avivés (12 kWh/m³ de grumes compte tenu d'un meilleur rendement sciage sans aubier) pour les bois blancs.

Besoins thermiques pour le séchage

Si le séchage du bois reste une nécessité absolue avant toute mise en œuvre, il constitue aujourd'hui un préalable de plus en plus inévitable à la commercialisation des sciages tropicaux.

Les techniques de séchage mises en œuvre pour le bois massif et disposant d'une maturité technologique éprouvée sont nombreuses. Les consommations spécifiques relevées sur site sont très variables, de 0,6 à 2,5 kWh_{th} par kilogramme d'eau éliminé, suivant des durées de cycle en fonction des essences, des épaisseurs et des humidités initiales et finales à traiter. Le ratio habituel retenu chez les essences de « bois rouge » est de 3 kWh_{th} par mètre cube de capacité séchoir, tandis que chez les essences de « bois blanc » le ratio est beaucoup plus élevé. À titre d'exemple, il est de 6 kWh_{th}/m³ pour le limba et peut atteindre 9 kWh_{th}/m³ pour l'ayous.

En séchage traditionnel, les puissances installées de chaudière ou de brûleur direct sont de l'ordre de 3 kWh_{th} par mètre cube de capacité utile pour le séchage des feuillus, pour des puissances de ventilation comprises entre 0,15 et 0,3 kWh_{th}/m³.

Satisfaction des besoins d'électrification rurale

Le potentiel de production d'énergie électrique et thermique à partir des déchets de bois des scieries est presque toujours largement excédentaire par rapport aux besoins propres de la scierie.

En cas de proximité d'une ville, compte tenu des caractéristiques des besoins des villes moyennes en

milieu tropical, la valorisation des déchets peut permettre de couvrir une large part des besoins en électricité. Deux situations se rencontrent.

Premier cas de figure, la scierie est située à proximité d'un réseau électrique et l'intégralité du surplus de production peut être revendue à la compagnie nationale ou régionale d'électricité. L'unité est dimensionnée pour maximiser la production électrique et valoriser tous les déchets. La quantité d'énergie qui peut alors être générée avec un volume défini de déchets va donc dépendre des caractéristiques du combustible (humidité), du rendement énergétique, des solutions techniques retenues (qui peuvent différer selon les objectifs retenus et les volumes de déchets disponibles), de la pression de la vapeur et de la nature du cycle de vapeur (avec ou sans contre-pression).

Dans un autre cas de figure, il n'y a pas de réseau national et le surplus peut alimenter de mini-réseaux villageois, des coopératives ou d'autres industries. La centrale doit alors être dimensionnée pour satisfaire ces besoins, en fonction de la disponibilité en sous-produits. En situation très isolée, sans préjuger de cas qui peuvent être fort disparates, un village de 2 000 habitants présentant un niveau d'activité économique satisfaisant correspond à une demande électrique intérieure de l'ordre de 50 kW à 100 kW, y compris l'éclairage public et la prise en compte des besoins de développement.

Si l'intérêt de l'accès à l'électricité pour l'éclairage n'est pas remis en question dans son principe, il convient de privilégier la production d'électricité pour le développement économique par la création d'emplois et d'activités génératrices de revenus. Ainsi la création d'un « centre artisanal » permettrait-elle l'accès à l'électricité à des artisans pour différentes activités (menuiserie, tours, pressings, moulins, glaces...) et au monde agricole pour augmenter les rendements (irrigation, mécanisation, transformation des produits agricoles...).

Technologies pour produire de l'énergie à partir de déchets de bois

Principe de la cogénération par combustion

Le principe de l'utilisation des déchets de bois pour la production d'énergie pour le séchage est aujourd'hui acquis. Il n'en est pas de même de la cogénération et il convient d'en rappeler brièvement le principe.

Les critères de sélection d'une installation de cogénération sont fonction :

- de la disponibilité en combustible, de ses caractéristiques et éventuellement son coût ;
- de la nature des besoins exprimés, notamment par le ratio chaleur/électricité ;
- de la qualité et la quantité d'énergie thermique demandées ;
- du coût de l'électricité ;
- des caractéristiques de la consommation électrique et des besoins en réserve.

Les installations de cogénération fonctionnent suivant trois grands modes, selon la taille et les applications du système. Les besoins vont, en effet, définir une classification :

- Installation ayant la chaleur comme production de base, la force motrice ou l'électricité comme sous-produit. Le pilotage se fait alors en fonction des besoins en chaleur. C'est le cas le plus fréquent dans des industries du bois et les agro-industries, les besoins électriques non satisfaits étant fournis par le réseau ou des groupes électrogènes.
- Installation ayant la production électrique ou mécanique comme priorité, la chaleur devenant alors le sous-produit fatal à valoriser. Le dimensionnement de l'installation est établi en fonction des besoins électriques et l'excès de vapeur non utilisée peut être condensé s'il ne peut être vendu. À l'inverse, les besoins thermiques non satisfaits sont fournis par une installation annexe.
- Installation fonctionnant avec des charges constantes à la fois sur le plan thermique et électrique ou au maximum de capacité installée de l'unité.

LA COGÉNÉRATION

Il s'agit de la production simultanée de deux formes d'énergie (généralement chaleur et électricité) à partir d'un même combustible. L'objectif de l'utilisation d'une installation de cogénération peut être :

- économique, l'excellent rendement de la cogénération et un rythme de fonctionnement soutenu pouvant procurer un avantage financier sur tout procédé concurrent ;
- autarcique, une installation de cogénération permettant à un utilisateur d'être totalement ou partiellement indépendant du réseau pour ses besoins en électricité. Cette indépendance est particulièrement appréciée des industries pour lesquelles toute interruption de fourniture électrique a des conséquences graves.

Une installation de cogénération fait toujours partie d'un ensemble industriel complexe auquel elle est intimement liée. Chaque installation possède donc ses spécificités. Cependant, la cogénération à partir de combustibles solides est toujours constituée (figure 1) :

- d'un ensemble foyer plus chaudière au sein duquel a lieu la combustion et qui fournit de l'énergie thermique aux fluides de travail (l'eau à l'état vapeur dans la plupart des cas) ;
- d'une turbine à vapeur ou d'un moteur à vapeur, le principe de ces machines étant de convertir l'énergie de détente en énergie mécanique, laquelle permet la rotation d'un arbre qui lui-même entraîne un alternateur. La vapeur haute pression se détend dans la turbine ou le moteur et est ensuite libérée à une pression plus faible ou condensée et recyclée en fonction des types d'équipements.

Les turbines à vapeur

La conception des turbines est très variable d'un constructeur à l'autre. On peut cependant mentionner les caractères généraux suivants :

- dans presque tous les cas, le flux de vapeur se fait axialement ; les turbines comportent en général plusieurs étages (roues) en série, qui permettent de limiter les vitesses d'écoulement de la vapeur et de traiter les fortes détenteurs avec un bon rendement thermodynamique ;
- chaque étage est composé d'un aubage fixe dans lequel se fait la mise en vitesse de la vapeur et d'un aubage mobile où la vapeur, déviée, transmet son énergie cinétique à l'arbre de la turbine.

On peut classer les turbines en fonction des critères de pression/température à l'admission, pression à l'échappement, puissance, rendement et prix. Les différents types de turbine sont les suivants :

- **Les turbines à condensation.** La vapeur traverse la turbine et s'échappe dans un condenseur de vapeur généralement sous vide. Le refroidissement est obtenu soit par de l'eau d'un réseau bouclé ou ouvert, soit par de l'air.
- **Turbines à contre-pression.** La vapeur traverse la turbine et s'échappe dans un réseau de vapeur dont la pression est régulée par ailleurs.
- **Turbines à soutirage et condensation.** La vapeur partiellement détendue dans la partie haute pression de la turbine est extraite par une tubulure



Déchets de sciage.
Sawmill waste.
Photo J.-M. Roda.

latérale sur le corps de la turbine. Une partie de la vapeur alimente un réseau à moyenne pression constante, une autre partie retourne à la turbine et est détendue dans la partie basse pression.

▪ **Turbines à soutirage et contre-pression.** Le principe est identique à celui indiqué ci-dessus, mais l'échappement basse pression se fait dans un réseau dont la pression est régulée.

Les moteurs à vapeur

La transformation de l'énergie de la vapeur peut également avoir lieu dans un moteur alternatif, même si l'essor des moteurs électriques, des turbines et autres moteurs a relégué les moteurs à vapeur en dernière position des équipements industriels pour la force motrice. Cependant, les moteurs à vapeur présentent l'avantage d'être extrêmement fiables et ont des caractéristiques qui ne sont pas obtenues par les autres générateurs.

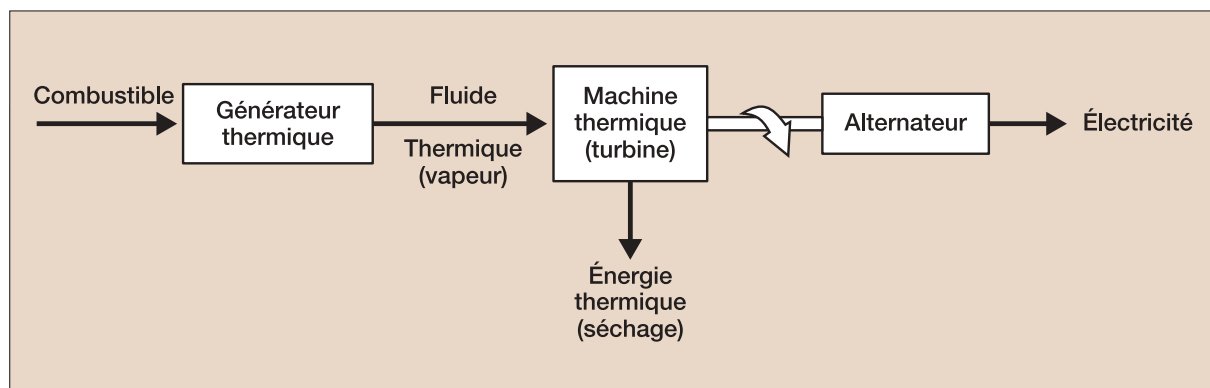


Figure 1.
Schéma de principe d'une installation de cogénération.
Theoretical diagram of a cogeneration plant.

Les moteurs les plus simples fonctionnent sans détente de la vapeur dans le cylindre. Ainsi, par une simple pompe, la vapeur remplit la totalité du cylindre et ne se détend pas. Il en résulte des rendements très faibles. Les moteurs plus élaborés, qui sont pour certains encore construits aujourd'hui, utilisent des systèmes d'obturation des cylindres qui limitent l'admission de la vapeur dans le cylindre en début de course du piston et permettent la détente pendant la période de déplacement du piston.

Si le principe de régulation des moteurs à vapeur modernes permet de bons rendements, ces derniers sont limités par l'impossibilité de détendre la vapeur sous vide en sortie et d'admettre des pressions et des températures élevées, contrairement aux turbines. Ce dernier inconvénient est cependant en train de disparaître, avec la mise au point de moteurs sans lubrifiant proposés par Spilling.

Le gros avantage du moteur à vapeur réside dans le fait que, pour tous les niveaux de facteurs de charge, le moteur développe le même couple à toutes les vitesses de rotation des moteurs, la consommation de vapeur et la puissance restant proportionnelles à cette vitesse. Pratiquement tous les autres moteurs requièrent la même fourniture d'énergie pour maintenir un moment constant quand la vitesse varie.

Nous présenterons ici succinctement les principes des moteurs à vapeur qu'on peut encore rencontrer :

- **Corlis.** Ancienne, mais de conception particulièrement ingénieuse, cette machine est encore assez fréquemment utilisée en sucrerie de canne. L'espace mort (c'est-à-dire l'espace restant lorsque le piston arrive en bout de course) est très réduit du fait de sa conception. Admission et échappement s'effectuent par deux organes distincts limitant les frottements. Par contre, ce principe se prête mal aux hautes températures et à la surchauffe. Cette machine n'est pas indiquée pour les pressions supérieures à 10 bars.



L'éboutage est à l'origine d'un volume significatif de déchets directement utilisables. *Saw trimming produces large quantities of directly usable waste.*
Photo P. Guizol.



Chutes d'éboutage. *Trim ends.*
Photo C. Daigremont.

- **Machine à soupape.** Les machines à soupape (type Spilling) présentent l'intérêt de se prêter aux températures élevées et à la vapeur surchauffée, ce qui permet de stocker plus d'énergie dans la vapeur et donc de meilleurs rendements. La soupape est légère et ne s'use guère. Elle ne nécessite presque pas de graissage et s'adapte bien aux grandes vitesses (200 t/min contre 60 dans le cas de la Corlis). Les hautes pressions d'admission et la surchauffe permettent à ces machines à soupape de fonctionner dans des conditions thermodynamiques particulièrement favorables, qui les rapprochent des conditions de fonctionnement des turbines.

Les moteurs à vapeur restent particulièrement intéressants dans le contexte de certains pays tropicaux :

- robustes, ils sont d'une maintenance facile et peu coûteuse, ce qui est un avantage dans des pays peu industrialisés et enclavés ;
- les rendements énergétiques plus faibles ne constituent pas un handicap lorsqu'il y a surabondance de déchets non utilisables à d'autres fins.

L'inconvénient majeur de cette technologie est l'absence de concurrence pour la fourniture d'équipements. En effet, outre quelques constructeurs thaïlandais qui n'exportent pas, nous ne connaissons que deux fabricants : Spilling en Allemagne et Engetherm Termica Ltda au Brésil.

La vapeur en aval d'une turbine ou d'un moteur

En aval du groupe de production d'électricité, la vapeur est condensée avant de retourner dans la chaudière. Ce condenseur peut alimenter un échangeur de réseau d'eau chaude basse température qui alimente le séchoir.

Une centrale de cogénération montée sur un réseau de vapeur haute pression est une configuration *a priori* favorable du point de vue technico-économique : la production de vapeur se justifie en elle-même sur le site (séchage), et la mise en place d'une cogénération suppose uniquement un surcoût pour le groupe turbo-alternateur et, éventuellement, pour une surchauffe. Il est donc toujours intéressant d'identifier les utilisateurs potentiels intéressés de façon privilégiée par un réseau vapeur si les besoins n'existent pas sur site. Ces utilisateurs peuvent être :

- de gros consommateurs d'eau chaude sanitaire (laveries industrielles, usines agroalimentaires...);
- les industries utilisatrices de vapeur pour leur process;
- la climatisation et la production de froid, qui peuvent également être envisagées à partir d'un réseau vapeur.

La climatisation à partir d'excédent de vapeur

Nous n'entrerons pas ici dans le détail du procédé, mais il convient de savoir que la climatisation peut être envisagée à partir d'une source chaude. De fait, pour utiliser la vapeur basse pression disponible, il est possible d'installer des machines à absorption, pour lesquelles il existe deux techniques principales : au bromure de lithium et à l'ammoniac. Cette dernière utilise l'ammoniac comme liquide frigorigène et de l'eau comme fluide de transfert. Ces machines sont refroidies par circulation d'air et produisent de l'eau glacée à 4,4 °C (circuit 4,4/10 °C). Des unités monoblocs complètes de 17,5 kW unitaires (15 000 frig/h) sont commercialisées.

Principe et conception d'une unité de cogénération

Deux solutions techniques sont envisageables :

- le dimensionnement d'une installation pour la satisfaction de l'ensemble des besoins à partir des seuls sous-produits de la scierie ;
- une solution alternative mixte diesel/bois, qui peut être recommandée dans de très nombreux cas, permettant de réduire le niveau d'investissement.

Installation avec turbine à vapeur

Il peut être judicieux, pour des niveaux de puissance supérieurs à 1 MW, d'envisager deux turbines :

- une turbine à vapeur à contre-pression dont la vapeur basse pression alimentera le séchoir à bois ;
- une seconde turbine basse pression à condensation, afin de récupérer la totalité de l'énergie contenue dans la vapeur qui n'a pas été utilisée dans les séchoirs.

La seconde unité de détente est particulièrement importante, dans la mesure où les besoins en vapeur des séchoirs sont relativement faibles par rapport aux besoins électriques de l'unité et où, ensuite, les besoins des séchoirs peuvent être amenés à varier. En effet, dans la pratique, le pic de consommation des séchoirs intervient au démarrage de ces derniers. Plusieurs cellules de séchage en fonctionnement permettent, cependant, d'amortir ces pics. Ainsi, une première unité détend toute la vapeur produite par la chaudière jusqu'à une pression voisine de 4 bars. Une seconde unité va condenser la totalité de la vapeur non utilisée par le séchoir.

Cette option n'est pas beaucoup plus coûteuse qu'une autre option qui consisterait à utiliser, par exemple, une turbine à condensation et à soutirage beaucoup plus sophistiquée, ou à ne retenir qu'une seule turbine à condensation et utiliser une vanne de détente pour l'alimentation des séchoirs. Cette option offre en outre l'avantage d'une plus grande souplesse. En cas de panne d'une des unités de détente, une partie des besoins peut être satisfaite. Enfin, cette option a pour avantage de mieux s'ajuster aux variations de facteurs de charge de l'unité, sans faire supporter à la seule chaudière de fortes variations de facteurs de charge.

La qualité des outils de coupe et leur affûtage ont une influence déterminante sur le volume de déchets.

The quality of cutting tools and sharpening directly affects the volume of waste produced.

Photo C. Daigremont.



Installation avec moteur à vapeur

Cette option, bien que légèrement moins performante dans l'absolu, en termes de rendement énergétique (cette remarque n'est valable du reste qu'en comparaison avec des turbines mono-étagées et au-delà d'une certaine puissance supérieure à 1 MW_e), offre des avantages en termes de robustesse et de simplicité de mise en œuvre qu'il convient de ne pas négliger, notamment quand la disponibilité en biomasse n'est pas le facteur limitant, ce qui est bien notre cas. L'option moteur à vapeur sera donc étudiée ici en substitution des turbines.

Le montage, dans ce cas précis, est légèrement différent du cas précédent, notamment pour tenir compte des spécificités des moteurs à vapeur (dont les bonnes performances dépendent du niveau de détente) et d'une orientation vers un ensemble séchoir fonctionnant en eau chaude et non plus en vapeur. Dans ce cas précis, l'unité de génération comprendrait :

- deux moteurs fonctionnant en couplage et non plus en cascade ;
- une unité de condensation équipée d'un système de génération d'eau chaude pour alimenter les séchoirs ;
- une unité de condensation pour absorber le surplus de vapeur basse pression non utilisé par le séchoir ;
- une unité de détente de vapeur en cas de non-fonctionnement des moteurs mais de maintien du fonctionnement des séchoirs. Cas exceptionnel mais à envisager.

Couplage moteur à vapeur/moteur diesel

Comme nous l'avons signalé, la grande majorité des installations industrielles de sciage ont une consommation électrique qui varie dans des proportions importantes, selon les appels de puissance de certaines machines à fonctionnement discontinu. La scie de tête, les dédoubleurs, les déligneuses sont caractéristiques de ce fonctionnement.



Le degré de sophistication et l'entretien du matériel participent au rendement au sciage.

Sawing yields vary with the sophistication of equipment maintenance.

Photo J.-M. Roda.

Au démarrage, les puissances appelées sont souvent voisines de la puissance nominale pour se retrouver en fonctionnement normal, avec un besoin de puissance de l'ordre de 50 à 60 % de la capacité installée. De même, chaque passage en coupe de ces outils se traduit par un pic de consommation.

Il est clair qu'une bonne gestion du démarrage des machines ainsi que de la charge permet de limiter l'amplitude de ces pics, mais sans pouvoir les éliminer. Une centrale électrique doit être en mesure de subvenir aux besoins maximaux de puissance. Cela se traduit souvent par un surdimensionnement des capacités installées par rapport aux besoins caractéristiques du fonctionnement moyen de l'unité.

Afin de réduire le niveau d'investissement, l'installation d'unités mixtes diesel/bois de génération d'électricité offre de gros avantages.

La centrale à bois est chargée de satisfaire le maximum des besoins électriques sur le principe d'un fonctionnement en base, c'est-à-dire quasiment 8 000 heures par an, avec un facteur de charge de plus de 80 %. Un groupe diesel est couplé à la centrale à bois pour un fonctionnement en couplage/écrêtage. L'objectif est de fonctionner en parallèle de l'unité bois quand les besoins électriques dépassent la capacité installée des

turbines et pour absorber les pointes et fluctuations d'ampérage. Ainsi, lorsque les besoins dépassent la capacité de la chaudière, le moteur se met en route automatiquement.

Sur le plan économique, les solutions bois-énergie ont l'énorme désavantage d'être des options coûteuses en termes d'investissement par rapport à la solution classique du groupe diesel. Ainsi, un groupe diesel de 1 MW présente un investissement de l'ordre de 500 euros par kilowatt installé, alors que, en fonction des options choisies, le niveau d'investissement biomasse est de l'ordre de 2 300 euros par kilowatt installé.

Le couplage permet :

- de diminuer considérablement les niveaux d'investissement ;
- d'améliorer la rentabilité globale des projets ;
- d'assurer une autonomie quasi totale des installations en cas de défaillance de l'un des approvisionnements (panne, rupture d'approvisionnement...);
- de diminuer les risques de panne et les besoins en maintenance, notamment sur la centrale à bois qui fonctionne alors de manière très stable et proche de sa capacité nominale, et, par voie de conséquence, d'allonger sa durée de vie.

Aspects environnementaux

La substitution du bois au diesel pour la production d'électricité a un impact positif en termes environnementaux, à deux titres :

- La réduction des émissions de quelque 1 500 tonnes de carbone par an pour une unité de cogénération de 1 MW. En effet, le diesel contient 85,9 % en masse de carbone, sa combustion dégage 3,15 kg de CO₂ dans l'atmosphère, qui ne sont plus émis en cas de substitution.
- La formation de certains Cov (composés organiques volatils) qui ont un impact sur l'effet de serre bien supérieur à celui du CO₂ serait évitée. C'est le cas notamment du CH₄ dont le pouvoir réchauffant est 23 fois supérieur à celui du CO₂, lorsqu'on brûle le bois dans de mauvaises conditions. À titre indicatif, la combustion d'une tonne de bois dans de mauvaises conditions se traduit par l'émission de 6,5 kg de CH₄. L'utilisation rationnelle des déchets dans le cas du projet de 1 MW permet une économie additionnelle annuelle de 2 800 tonnes d'équivalent CO₂.

Quelques exemples de réalisations

Il n'est pas toujours facile de disposer des informations complètes sur les installations de ce type. Quelques unités sont cependant décrites dans le tableau I. Il est important de remarquer que les niveaux d'investissement sont variables selon le type de technologie mais aussi en fonction de la situation. Ainsi, les niveaux d'investissement en Malaisie sont très faibles, comparativement aux installations européennes. Cela vient du fait que les exigences en matière d'automatisation et de limitation des émissions sont très différentes. Une partie du matériel a, en outre, été construite en Malaisie ou à Singapour. Les performances des installations sont également très différentes selon le type de centrale ; ainsi, l'unité allemande de Schongau présente logiquement l'un des meilleurs rendements électriques, mais le plus mauvais rendement global. Cette installation qui ne fait pas de cogénération met bien en évidence l'intérêt de cette dernière.

Des avantages multiples à mieux valoriser

Bien que la technique de production d'électricité, avec ou sans cogénération, soit très largement répandue dans le monde, il faut bien reconnaître que l'importance des investissements exigés limite son développement dans les industries du bois, notamment dans les contextes difficiles d'instabilité politique et de risques industriels qui se trouvent trop souvent réunis en Afrique.

Sur le plan mondial, le volume de grumes exploitées atteint environ 800 millions de m³, transformés en 352 millions de m³ de sciages, 5 millions de m³ de placages et 48 millions de m³ de contreplacages. Le volume annuel théorique de déchets disponibles dans les industries du bois avoisine 400 millions de m³, soit 230 millions de tonnes. Afin de mieux cerner les enjeux, il faut savoir que ce potentiel énergétique représente plus de 88 millions de tonnes équivalent pétrole (tep) par an, ce qui correspond aux importations françaises de brut en 2001.

Une utilisation systématique de cette ressource serait bénéfique pour tous.

Tableau I.
Quelques exemples de réalisations.

	Puissance électrique (MW _e)	Puissance thermique (MW _{th})	Type de centrale	Type de générateur	Type de combustible	Consommation (t/an)	Rendement électrique brut (%)	Rendement global	Investissement (millions d'euros) (1)
Taufkirchen, Allemagne	2,1	4,3	Réseau de chaleur	Turbine soutirage	Bois	16 000	22	63,6	9,15
Schongau, Allemagne	11,4	0	Centrale électrique	Turbine soutirage	Bois	110 000	26,8	22,9	34,24
Lohr, Allemagne	0,46	1,5	Cogénération dans industrie du bois	Turbine vapeur condensation	Bois	6 500	10,6	43,9	1,68
Sibu, Sarawak, Malaisie	1,7	7,9	Cogénération dans industrie du bois	Turbines condensation	Bois	Nd	Nd	Nd	1,67
Batu Caves, Malaisie	1,5	3,1	Cogénération dans industrie du bois	Turbine condensation + contre-pression	Bois	Nd	Nd	Nd	1,34
Rudkobing, Danemark	2,3	7,5	Réseau de chaleur	Turbine soutirage	Paille	14 950	29	88,8	9,3
Assens, Danemark	5,2	11,3	Réseau de chaleur	Turbine soutirage	Bois	25 300	24	91,6	18,3

(1) En euros courants.

Une industrie plus compétitive

Les études que nous avons pu mener et les mises en place d'installations auxquelles nous avons participé en Asie du Sud-Est ont montré que les coûts de production d'électricité sont deux à trois fois supérieurs pour les groupes diesel, qui assurent une grande partie des besoins des industries du bois. Pour les lieux les plus reculés, compte tenu des problèmes d'approvisionnement, les coûts de génération sont encore plus importants. La substitution permettrait une réduction substantielle des coûts de production (temps de retour entre quatre et huit ans, parfois moins, selon les situations). Cependant, le problème des coûts d'investissement élevés caractérise les pays où le secteur de la première transformation industrielle du bois est très fragmenté. Cela concerne davantage les pays forestiers africains que ceux d'Amérique et d'Asie.

Avantages pour le développement local et l'environnement

Les populations riveraines, qui, dans de nombreux cas, ne sont pas raccordées au réseau, pourraient être désenclavées. Pour bon nombre de communes situées à proximité des unités de transformation, compte tenu de leur éloignement des réseaux électriques existants et de l'incapacité matérielle des pays à satisfaire l'ensemble de la demande, leur raccordement ne pourra vraisemblablement pas être envisagé avant plusieurs décennies. Le fort potentiel d'excédent électrique des industries du bois, et des scieries en particulier, permettrait la couverture de ces besoins et le développement économique et social de ces zones, en coût marginal.

▪ **Des programmes ambitieux d'électrification rurale.** Dans les pays possédant un secteur industriel du bois et, plus largement, des agro-industries fortement génératrices de déchets, des programmes ambitieux d'électrifi-

cation rurale pourraient s'appuyer sur ce potentiel d'énergie décentralisée, en adaptant les législations existantes et en prenant des mesures adéquates de soutien à l'investissement. Ces pays bénéficieraient ainsi également des économies de consommation de produits pétroliers (économie de devises pour les produits importés, entrée de devises pour les autres).

▪ Un impact considérable sur les émissions de gaz à effet de serre.

Toute économie d'émission à l'échelle locale a des répercussions environnementales pour la communauté internationale, compte tenu du caractère transfrontalier des conséquences du réchauffement climatique. Les 88 millions de tep annuelles que représente le cumul des déchets bois des industries de transformation dans les pays tropicaux correspondent aussi à 76 millions de tonnes équivalent carbone, annuellement, dont l'émission pourrait être évitée si l'ensemble de ces déchets était utilisé en substitution aux produits pétroliers.



Débit de petits bois sur matériel peu adapté.
Sawing lumber with inappropriate equipment.
Photo J.-M. Roda.

Moteur à vapeur Engetherm.
Engetherm steam donkey.
Photo A. Napoli.



Synopsis

RECYCLING SAWMILL BY-PRODUCTS FOR ENERGY PRODUCTION

Philippe GIRARD,
François PINTA,
Laurent VAN DE STEENE

The use of sawmill waste

and by-products to produce energy is far from common in tropical regions, especially in Africa. Given the overall volume of sawmill production, amounting to some 800 million m³ of lumber processed into sawn timber, veneer and plywood, some 400 million m³, or 230 million tonnes, of wood waste would theoretically be available for energy conversion each year from timber industries worldwide. The energy-producing potential of these by-products is therefore considerable, and the economic and environmental benefits of realising this potential are by no means limited to the sawmill itself.

Energy needs in the timber industry

The situation varies in each continent, but market outlets for sawmill by-products have been increasing with growing awareness of their potential to cover the energy needs of timber industries themselves and of associated technological development activities.

Successive oil crises and environmental issues relating to the release of CO₂ have helped to disseminate cogeneration systems, which involve the production of energy in two forms, usually heat and electricity, from a single type of fuel.

Cogeneration plants

Cogeneration plants always form an integral part of a complex industrial installation, so that each has its own specific design features. However, cogeneration processes in the timber industry are generally based on conventional solutions comprising a furnace and boiler system where combustion takes place to supply thermal power to heating fluids (usually water in the form of steam). A steam turbine converts expansion energy into mechanical energy to rotate a shaft that in turn drives an alternator. The steam expands under high pressure in a turbine or motor and is then either released at lower pressure or condensed and recycled, depending on the type of equipment. With a cogeneration plant, users can cover all or part of their electricity requirements independently of the grid. This is particularly helpful to industries where power cuts are likely to have serious consequences.

Extending the dissemination of cogeneration technology in tropical regions

Cogeneration is common in Europe and the USA, but the technology could be much more widely used in tropical regions and especially Africa.

In many cases, lack of information on the availability of these technologies and their maturity is the only obstacle to the dissemination of electricity generating solutions based on timber by-products.

After providing a description of the origins and quantities of sawmill by-products and a brief review of the technical solutions available to convert them into heat and electricity, this article seeks to draw attention to the economic advantages of their use for companies and their host countries. Timber-producing countries could meet a substantial share of their decentralised electrification needs by opting for systematic energy recovery from sawmill waste. At present, because of their remote locations and their countries' lack of material means to satisfy demand, many communities located near timber processing plants are unlikely to be connected to existing power grids for decades to come. The considerable potential for surplus electricity production in timber industries, especially sawmills, would cover their own needs as well as contributing at only marginal cost to the economic and social development of these zones.

Turbine à condensation Nadrowski (900 kW).
Nadrowski condensing turbine (900 kW).
Photo P. Girard.

