

Innovation technologique et valorisation des sous- produits des filières bois

Christian SALES
Cirad-forêt
TA 10/16
34398 Montpellier Cedex 5
France

Les progrès accomplis

depuis une dizaine d'années pour valoriser les sous-produits des filières bois permettent le développement de produits spécifiques, notamment en milieu tropical. Pour la chaîne de transformation, de la scierie au produit final, les avancées sont marquantes dans trois domaines : le lamellé-abouté, les composites bois-plastiques et la production d'énergie par pyrolyse ou par gazéification.



Poutres en lamellé-collé en
mélange d'essences.
*Beams made of glued and
laminated wood of different
species.*
Photo C. Sales.

RÉSUMÉ

INNOVATION TECHNOLOGIQUE ET VALORISATION DES SOUS- PRODUITS DES FILIÈRES BOIS

Les opérations de transformation et de conditionnement du bois, depuis la grume jusqu'au produit final, entraînent la production de déchets de toute sortes, d'une grande hétérogénéité de taille comme de forme. On considère que le rendement global de la chaîne, de l'exploitation forestière au produit final, est de l'ordre de 15 %, sans valorisation connexe des déchets. Si on se limite à la stricte chaîne de transformation, de la scierie au produit final, sans intégrer les bois abattus abandonnés en forêt, le rendement est rarement supérieur à 25 %. Ces chiffres illustrent l'importance de la valorisation des déchets, chutes et résidus divers des industries du bois dans un contexte de développement durable et de gestion équitable des ressources naturelles. Toute solution technologique ou commerciale permettant de gagner quelques points en rendement, sans pour autant altérer la compétitivité de la filière, concourt à maîtriser les prélèvements tout en assurant l'approvisionnement en matériau.

Mots-clés : bois, rendement, déchet, composite, énergie.

ABSTRACT

TECHNOLOGICAL INNOVATION AND ENERGY PRODUCTION FROM TIMBER WASTE

Timber processing operations, from logging to end products, produce waste materials of every sort, size and shape. It is estimated that when no waste recovery takes place, overall yields from logging to end products amount to no more than 15%. In the processing chain alone, from the sawmill to the end product and without including felled timber left in forests, yields are rarely above 25%. These figures, viewed in the light of sustainable development and equitable natural resource management, clearly illustrate the importance of recovering and recycling timber industry waste, trimmings and residues. Any technological or commercial solution that gains a few percentages in yield without affecting the industry's competitiveness, can help to keep resource use under control while ensuring the continuity of raw material supplies.

Keywords: timber, yield, waste, composite material, energy.

RESUMEN

INNOVACIÓN TECNOLÓGICA Y VALORIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS DE LOS SECTORES MADEREROS

Las operaciones de transformación y acondicionamiento de la madera, desde la madera en rollo hasta el producto final, conllevan la producción de toda clase de residuos, muy heterogéneos tanto en tamaño como en forma. Se considera que el rendimiento global de la cadena, desde la explotación forestal hasta el producto final, es del orden de un 15 %, sin valorización asociada de los desechos. Si nos limitamos únicamente a la cadena de transformación, del aserradero al producto final, sin integrar las maderas taladas abandonadas en el bosque, el rendimiento supera raramente el 25 %. Estas cifras ilustran la importancia de la valorización de los desechos, recortes y distintos residuos de las industrias madereras en un contexto de desarrollo sostenible y gestión equitativa de los recursos naturales. Cualquier solución tecnológica o comercial que permita ganar algunos puntos de rendimiento, sin por ello alterar la competitividad del sector, contribuye a controlar las extracciones garantizando al mismo tiempo el suministro de material.

Palabras clave: madera, rendimiento, residuo, composite, energía.

Introduction

Les opérations d'usinage et de conditionnement tout au long de la chaîne de transformation et de production génèrent une quantité considérable de déchets et sous-produits divers. Le passage de la grume au matériau « bois scié avivé » se fait généralement avec un rendement en matière inférieur à 40 %. Si l'on considère l'ensemble de la filière, depuis l'arbre abattu jusqu'au produit final commercialisé, le rendement en matière n'excède pas 15 %. Le principal produit, en volume, de la filière bois massif est, en fait, constitué de déchets et sous-produits. La forte demande en bois associée au développement économique des pays forestiers, la prise en compte des problématiques de développement durable et de gestion durable des écosystèmes forestiers incitent les techniciens, les économistes, les décideurs à s'intéresser à l'amélioration des rendements en matière, afin de produire plus de biens avec la même quantité de matière première ou autant de biens en réduisant en amont les besoins en bois.

Porte-fenêtre réalisée à partir de la récupération de chutes de petites dimensions.
French window manufactured with small trim ends.
Photo C. Sales.



Déchets et sous-produits des filières bois tropicales

Les déchets ou sous-produits sont regroupés en deux classes, selon leur origine :

- Ceux que l'on peut qualifier de techniques. Ils résultent du processus d'usinage (sciures, copeaux, farines...), pour lesquels la marge de gain reste étroite car de nombreuses recherches ont conduit, ces dernières années, à des améliorations technologiques importantes.
- Ceux que l'on peut qualifier de commerciaux. Ils résultent d'exigences de qualité ou de pratiques commerciales. Ainsi, des volumes importants sont rejetés car les pièces ont des dimensions insuffisantes, non standards, ou elles présentent parfois des défauts minimes ou considérés comme inacceptables pour un certain type d'emploi. Dans ce cas, la marge est beaucoup plus importante. Une légère modification de certaines pratiques commerciales peut procurer des gains considérables du fait de l'acceptation de pièces jusque-là refusées (standards de dimensions). Par ailleurs, un certain nombre de technologies, décrites ci-après, permettent d'élaborer des matériaux et des produits à partir de divers sous-produits de la filière.

On distingue quatre grands types de sous-produits générés simultanément ou à des stades divers de la filière : les farines ; les sciures ; les copeaux et fragments divers ; les chutes.

Les farines et sciures

Les farines sont principalement utilisables comme charge dans les composites. Elles peuvent aussi être brûlées pour la production d'énergie. D'une manière générale, tout type de déchet à base de biomasse, en particulier de matière ligneuse, est susceptible d'être valorisé sous forme énergétique. La production d'énergie sera d'autant plus aisée que la matière première sera constituée de déchets homogènes de bois brut qui n'a pas subi de traitement chimique et ne contient pas de corps étrangers. Les besoins énergétiques de l'entreprise, sa taille, le contexte économique et social valideront ou non la faisabilité de la voie énergétique. D'un point de vue strictement technique, celle-ci est toujours accessible. Les systèmes de production fortement consommateurs d'énergie, tels que celui du panneau, sont très intéressés par la voie énergétique.

Parquet mosaïque valorisant des chutes de petites dimensions.
Parquet flooring in a mosaic of small trim ends.
Photo C. Sales.





Exemple de chutes de petites dimensions utilisables pour fabriquer du bois reconstitué.

Small-sized trimmings suitable for manufacturing reconstituted wood.

Porte en bois reconstitué à partir de chutes d'essences de bois rouge.

Door in wood reconstituted from tropical hardwood trim ends.

Photos C. Sales.

La production d'énergie est la principale voie de valorisation des sciures. Après calibrage, certaines sciures peuvent être utilisées comme charge dans les composites ou être orientées vers la trituration.

Les copeaux et fragments

Les copeaux et fragments représentent, après calibrage, une matière première particulièrement intéressante. Ils sont dirigés vers la fabrication de pâte à papier ou de panneaux de particules. La production d'énergie reste une des voies possibles mais économiquement moins intéressante pour les activités peu consommatrices d'énergie, telles que le sciage. Toutefois, il convient de disposer d'une énergie fiable et économiquement performante (électricité secteur en milieu industrialisé) et d'unités papepières ou de fabrication de panneaux dans un rayon d'accessibilité compatible avec les contraintes économiques du transport.

Les chutes

Les chutes et pièces massives de dimensions diverses offrent une très large diversité d'utilisation. Après broyage et calibrage, les copeaux ou plaquettes peuvent être dirigés vers des usines de pâte ou de panneaux de particules ou de fibres. Les chutes, fragmentées ou non, servent aussi à alimenter des installations de production d'énergie. Les essences les plus recherchées sont débitées sous forme de tasseaux et de pièces diverses. Ces pièces sont commercialisées pour d'autres finalités que le marché initialement visé. Elles sont également assemblées par des techniques de collage pour donner des produits lamellés-aboutés (menuiserie, ameublement...) ou des panneaux reconstitués à partir de pièces massives.

Les itinéraires technologiques de valorisation

La plupart des techniques précédemment citées sont connues et utilisées selon les contextes socio-économiques spécifiques de chaque situation. Le degré de développement de la filière, en particulier des entreprises de seconde transformation, l'existence de complexes industriels de fabrication de pâte à papier ou de panneaux, la nature des marchés de consommation locaux et régionaux, les segments de marché à l'exportation sont autant de facteurs qui régissent la viabilité et la pérennité des diverses voies de valorisation des sous-produits. Dans trois domaines spécifiques – le lamellé-abouté, les composites bois-plastiques, la production d'énergie à partir de la biomasse ligneuse – les progrès accomplis ces dix dernières années permettent le développement de nouveaux itinéraires. Jusque-là, ces progrès étaient impossibles ou difficiles, notamment en milieu tropical, en raison de la nature des essences et des conditions climatiques peu favorables à certains procédés technologiques.

Le lamellé-abouté

La technique consiste à calibrer en section des pièces de dimensions variables, à les assembler par aboutage à enture pour atteindre la longueur désirée. On peut éventuellement coller entre elles deux ou plusieurs des lamelles ainsi obtenues pour que la pièce finale ait une plus forte section.

Pour l'aboutage, on aura soin d'éviter les défauts ou singularités à l'extrémité des pièces. Seules des pièces de même orientation seront assemblées, afin de constituer une même lamelle. Les produits ainsi obtenus sont généralement utilisés comme profilés de menuiserie. Lorsque les lamelles sont collées à chant, on a un produit plan, de type panneau reconstitué.

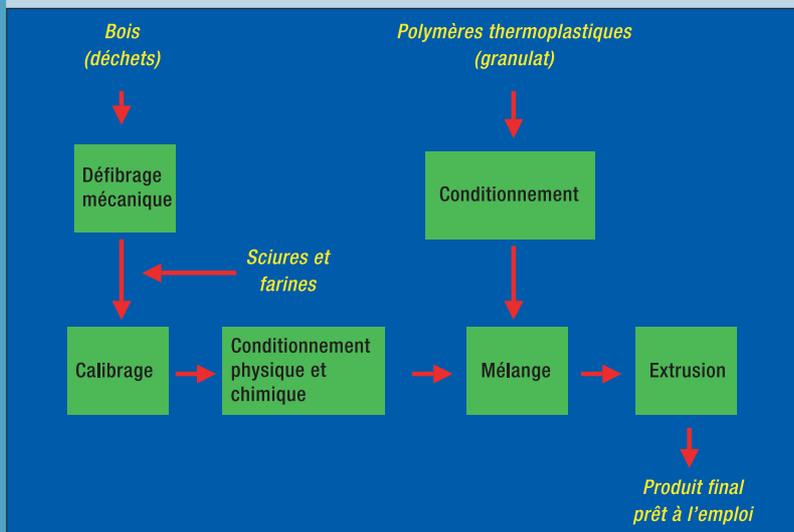


Figure 1.
Transformations des déchets en produit prêt à l'emploi.
Transforming waste into ready-to-use products.

Tableau I.
Quelques exemples de composites.

	Taux de bois (% p. p.)	Taux d'amélioration des performances mécaniques (%)
Polystyrène	40	50
Polyméthylmétacrylate	10 40	150 200
Polyéthylène	20 40	50 150
Pvc	30	40

Les techniques de collage limitaient le développement du lamellabouté en milieu tropical. Les colles vinyliques avec durcisseur donnent une bonne tenue en menuiserie intérieure malgré un fort taux d'humidité de l'air ambiant. Sur un bois de forte densité, plus de 0,7, il est recommandé de procéder par encollage double face et d'augmenter le temps d'assemblage ouvert. Pour des emplois exposés aux intempéries, les colles urée-formol modifiées (menuiserie extérieure) ou des résorcines (structures et charpentes) avec durcisseurs à polymérisation lente permettent d'excellents résultats bien que les températures de fabrication avoisinent ou dépassent la trentaine de degrés. Toutes ces colles nécessitent l'utilisation de bois avec un taux d'humidité inférieur à 20 %. Pour des humidités supérieures, dans la tranche 20 à 25 %, les colles polyuréthane monocomposant donnent des résultats très satisfaisants.

Les composites bois-plastiques

Les composites bois-plastiques présentent les mêmes avantages que les polymères thermoplastiques : adaptabilité de la forme (extrusion), process à forte productivité, coût de fabrication attractif et investissement raisonnable, durée de service et d'aspect du produit fini très intéressante, recyclabilité après broyage.

Le renforcement de ces polymères par des fibres de bois élimine les deux inconvénients majeurs que sont leur résistance mécanique très moyenne, en termes de rigidité, et la non-biodégradabilité du produit en fin de vie. L'adjonction de fibres de bois entraîne des augmentations variables de module d'élasticité, selon les compositions des mélanges (tableau I). De même, la présence de bois aide à la fragmentation du produit lorsqu'il est mis en décharge et facilite sont traitement ultérieur.

Trois verrous technologiques majeurs ont été levés ces dernières années.

- Le bois étant un matériau hydrophile, l'association de particules de bois contenant nécessairement une certaine quantité d'eau, même à l'état de trace, avec des polymères thermoplastiques essentiellement hydrophobes posait un problème difficile. Le développement de techniques de greffage d'un radical polymérique compatible à la surface des particules de farine de bois avant le mélange a permis de surmonter cette difficulté.

- Les températures de fusion des polymères entraînaient des réactions de pyrolyse qui modifiaient les performances du renforcement par la fibre de bois et rendaient l'adhésion bois-plastique difficile. La sélection et l'adaptation des polymères ont permis d'apporter une solution.

- La modification de la viscosité du mélange par rapport aux polymères usuels rendait problématique l'utilisation des machines à extruder conventionnelles. Des améliorations apportées notamment au dessin des buses d'extrusion permettent la production de profils de très bonne qualité pour des domaines d'application tels que la menuiserie (fenêtres), la toiture ou le bardage (caissons auto-porteurs).

Le procédé de fabrication est très schématiquement illustré par le diagramme de la figure 1.

Composite bois-plastique (caisson pour couverture de toiture en remplacement de la tôle ondulée).
Wood and plastic composite material (structure box for roofing to replace corrugated metal).
Photo D. Guibal.





Poutre en bois reconstitué à partir de chutes diverses, avant le sciage en planches.

Beam in reconstituted wood made from miscellaneous trimmings before sawing into planks.

Photo C. Sales.



Exemple de chutes récupérées pour la fabrication de la poutre de la photo de gauche.

Trimmings recovered to manufacture the beam shown in left photo.

Photo C. Sales.

D'une manière générale, les composites du type bois-Pvc se caractérisent par une résistance mécanique très supérieure à celle du Pvc et ont une durée de service esthétique équivalente à celle du Pvc. Leur résistance biologique est compatible avec la classe 3 d'usage, quelle que soit l'essence de bois mise en jeu. Le coût de la matière première est réduit (prix de la farine de bois inférieur à celui du Pvc). En fin de vie, la dégradation est facilitée par la bio-fragmentabilité du matériau.

L'évolution des voies de production d'énergie

Sur site industriel, des procédés de cogénération produisent de la chaleur pour alimenter des installations de chauffage, de séchage, tout en faisant fonctionner des turbines. Celles-ci peuvent alimenter en électricité le

site industriel et éventuellement un réseau de distribution associé. Des chaudières polycombustibles à déchets permettent de produire de la vapeur dans les gammes de puissance de l'ordre de 30 tonnes à l'heure. La vapeur alimente une turbine ou un moteur à vapeur produisant 1 à 2 mégawatts d'électricité et la vapeur détendue ainsi récupérée peut fournir la chaleur nécessaire aux installations de séchage. Dans ces conditions et selon le taux d'humidité de la matière ligneuse combustible, 1 à 1,5 kg de bois produit 1 kWh avec un rendement électrique de l'ordre de 15 à 20 %.

Des développements technologiques sont intervenus ces dernières années dans deux techniques spécifiques de production d'énergie à partir de la biomasse ligneuse : la pyrolyse et la gazéification.

La pyrolyse

La pyrolyse est une dégradation thermique en l'absence d'oxygène. La montée en température de la réaction de pyrolyse est un des principaux paramètres qui régissent les réactions mises en jeu et le rapport entre les types de produits résultants que sont les huiles, les gaz et le charbon. En pyrolyse lente, les trois constituants se répartissent à parts égales. En processus rapide, ce sont les produits huileux qui prédominent (80 %). En pyrolyse à haute température (plus de 800 °C), les gaz représentent plus de 60 % des produits résultant du procédé. On peut, ainsi, piloter le processus pour obtenir des carburants adaptés aux technologies mises en œuvre en aval de la chaîne.



Reconstitution de pièces et profilés à partir de chutes.

Reconstituting parts and sections from trimmings.

Photo C. Sales.



Valorisation des dosses.
Recovery of waste wood slabs.

Photo C. Sales.

La gazéification

La gazéification permet de produire des gaz combustibles directement par oxydation ménagée de la biomasse. Il existe trois procédés – à l'air, à l'oxygène, à la vapeur – qui fournissent des gaz au pouvoir calorifique variant du simple au double. La gazéification à l'air donne des combustibles gazeux, dont le pouvoir calorifique est compris entre 4 et 8 mégajoules par mètre cube normal¹ (MJ/Nm³), alors que la gazéification à la vapeur permet d'atteindre 15 MJ/Nm³. Le gaz peut être directement utilisé comme combustible pour

produire de la chaleur ou alimenter une turbine à gaz pour fournir de l'électricité. La mise en application industrielle se heurte encore à certains verrous technologiques, dont le plus important est la qualité des gaz en raison de leur teneur en goudrons et autres condensables. Différentes techniques d'épuration des gaz font l'objet de recherches avancées : les méthodes de condensation et cracking, les procédés de gazéification étagée. Les installations pilotes en service, essentiellement en Europe, visent un créneau de marché d'une

puissance très supérieure à celles qui utilisent le procédé plus classique en cycle vapeur. Elles ont des rendements électriques très élevés, de l'ordre de 35 à 40 %. L'objectif des recherches est de faire évoluer la technologie jusqu'à un seuil de rentabilité acceptable pour de petites installations, de taille comparable à celle des procédés plus traditionnels (1 à 5 MW), tout en conservant l'avantage d'un haut rendement électrique lié aux techniques de gazéification.

¹ Température 0 °C, pression 760 mm de mercure.

Conclusion

Les voies de valorisation des déchets et sous-produits sont multiples et variées. En milieu tropical, leur mise en œuvre est généralement freinée par des aspects de rentabilité économique liés à l'absence d'un marché de proximité. Les coûts de transport vers les centres de consommation pénalisent considérablement les produits à faible valeur ajoutée. Cela oblige à se limiter à des produits qui entrent dans des marchés porteurs, tels que les profilés lamellés-aboutés pour la menuiserie et l'ébénisterie. Ce type de produit est exportable à l'échelle internationale ou régionale, alors que les composites sont, d'une manière générale, des produits de consommation locale.

Concernant la voie énergétique, l'éloignement de certaines unités industrielles par rapport aux grands centres économiques constitue un argument de poids pour valider l'installation d'unités dans des zones où les coûts de transport des carburants conventionnels sont très élevés. La voie énergétique contribue à alimenter en énergie les réseaux locaux de distribution. Par ailleurs, la biomasse ligneuse est une source d'énergie inerte pour l'environnement comparée aux dégagements de gaz à effet de serre. Enfin, l'évolution des réglementations sur la protection de l'environnement fait obligation aux entreprises du bois, dans la majorité des pays industrialisés, d'éliminer les déchets industriels. L'élimination s'effectue soit par combustion dans des installations agréées, soit par mise en décharge avec des coûts de l'ordre de 10 à 15 € la tonne de déchets de bois brut.

Lexique

Composite à base de bois : matériau réalisé à partir de l'assemblage de particules de taille homogène, liées par une colle ou incluses dans une matrice qui, lors de la fabrication, est généralement en phase liquide ou visqueuse.

Copeau : partie de matière retirée par un outil au cours de l'usinage d'un matériau. Dans le cas du bois, le mode d'usinage entraîne la formation de copeaux de taille et configuration très différentes.

Farine : sciure calibrée composée de grains de très petits diamètres.

Sciure : copeaux de petites dimensions résultant de la découpe du bois par sciage, l'outil se déplaçant perpendiculairement au fil du bois.

Lamellé : pièce de bois reconstituée à partir du collage de plusieurs lamelles.

Abouté : pièce de grande longueur reconstituée par assemblage bout à bout de pièces courtes. L'assemblage est obtenu en usinant en dentures les extrémités des pièces.

Pyrolyse : traitement thermique du bois en atmosphère réduite en oxygène.

Gazéification : réaction d'oxydation du bois à haute température pour produire des gaz combustibles.

Fenêtre en lamellé-abouté à partir de chutes de divers bois rouges.

Window in scarf-laminated wood made from trim ends from various hardwood species.

Photo C. Sales.



Synopsis

TECHNOLOGICAL INNOVATION AND USE OF TIMBER INDUSTRY BY-PRODUCTS

Christian SALES

Milling and processing operations throughout the timber production chain generate large quantities of waste and by-products of different types. High demand for timber coupled with economic development issues in timber-producing countries, concern for sustainable development and sustainable management of forest ecosystems are all factors in the growing interest of decision-makers in possibilities for improving yields in materials, in order to produce the same or larger quantities of raw materials while reducing logging needs upstream.

The origins of wastes and by-products are of two main types:

- those described as technical wastes, which result from milling processes;
- commercial wastes, which stem from quality or commercial requirements.

Four main types of by-products are generated simultaneously or at different stages in timber production systems: wood flour; sawdust; wood chips and fragments; trimmings.

Technological waste recovery systems

The viability and permanence of the various wood waste recovery systems are directly dependent on the degree of sophistication of the sector, especially in secondary processing plants, on the presence of industrial paper pulp or particle-board manufacturers and on the characteristics of local, regional and export markets. Progress in three relevant sectors over the last decade is likely to open the way for systems that have been difficult or impossible to implement until now, especially in tropical regions.

Scarf-laminated products

This technique involves calibrating pieces of different sizes to the same section, scarf-jointing them longitudinally to the desired length and gluing two or more strips together lengthways. The product obtained is generally used for joinery sections. Gluing the pieces edge to edge produces a flat panel. Vinyl glues with a hardener produce appropriate resistance in interior joinery fittings, even with a high degree of ambient humidity. For outdoor joinery, modified urea-form glues or resorcinol glues with a slow-polymerising hardener produce excellent results. Timbers with a high moisture content (20 à 25 %) can be satisfactorily assembled with polyurethane glues.

Wood and plastic composite materials

Wood and plastic composite materials have the advantages of thermoplastic polymers, including adaptable form, high productivity, attractive manufacturing costs and reasonable investment requirements, durability, attractive appearance of the end product and recyclability after shredding. Strengthening the polymers with wood fibre improves their mechanical resistance, which is otherwise mediocre in terms of rigidity.

Technological improvements in energy production methods from ligneous biomass

The last few years have seen technological improvements in two specific techniques: pyrolysis and gasification.

Pyrolysis is a process of thermal degradation in an oxygen-poor environment. Cogeneration processes can supply the industrial plant itself and sometimes an associated distribution network.

Gasification produces combustible gases directly from biomass. There are three gasification processes, using air, oxygen or steam, in which heat output varies by 2:1. There are still a number of technological obstacles to their industrial application, the most important being the quality of the gases produced (high content of tar and other condensable materials). Operational plants are currently producing up to 30 MW with very high electricity yields (35 to 40 %). Research is aiming to bring the technology to an acceptable breakeven point for small plants of a similar size to those currently using conventional processes (1 to 5 MW).