

Recyclage du bois et utilisation en cascade de la ressource

François PRIVAT
Institut technologique FCBA
Nantes, France



Recyclage du bois et utilisation en cascade de la ressource

L'intervention présente les principaux résultats de travaux de thèse sur la « faisabilité du recyclage en boucle fermée des déchets post-consommateurs en bois massif » (Privat 2019). Cette thèse a été réalisée dans le cadre du projet de recherche européen « Cascading Recovered Wood » sur l'utilisation en cascade des ressources bois, et encadrée par l'École supérieure du bois et l'Institut technologique FCBA.

1. Gestion des déchets bois en France

La filière forêt-bois est circulaire sur de nombreux aspects : utilisations des connexes de scierie (matière, énergie), reconditionnement de palettes, recyclage des déchets post-consommateurs sous forme de panneaux de particules, etc.

Cette circularité revêt d'importants enjeux de ressources, économiques et environnementaux. C'est pourquoi la hiérarchie européenne des modes de traitement encourage le développement de la prévention des déchets (éco-conception, durée d'usage, réemploi) mais également de voies complémentaires de valorisation des déchets post-consommateurs permettant une utilisation en cascade de la ressource bois : réutilisation, recyclage en boucle fermée préservant les qualités d'usage du matériau.

Ce besoin de nouvelles solutions de valorisation matière est particulièrement urgent pour les déchets de bois faiblement adjutants (classe B dans le système usuel français de classification, cf. figures 1 et 2) et notamment pour les déchets en bois massif, dont le potentiel d'utilisation en cascade est important.

La question de recherche retenue porte donc sur l'identification d'un procédé prometteur de recyclage en boucle fermée de déchets post-consommateurs en bois massif et l'évaluation de sa faisabilité technique, économique et environnementale.



Figure 1 : Exemples d'amoncellements de déchets de bois pour les différentes classes usuelles françaises



Figure 2 : Gisements et modes de traitement par classe usuelle de déchets bois en France (données issues de l'évaluation du gisement des déchets bois par FCBA pour l'ADEME (Guinard et al. 2015))

2. Caractéristiques des déchets en bois massif

Une première étape a consisté à caractériser le gisement de déchets ciblé, c'est-à-dire les déchets en bois massif individuels de classe B présents sur les plateformes de regroupement-tri-broyage de déchets bois. Pour ce faire, 309 échantillons ont été prélevés au cours de 7 campagnes sur 4 plateformes différentes.

La caractérisation a montré des dimensions relativement modestes et avec une forte variabilité. En effet, les pièces dont l'épaisseur est comprise entre 4,0 et 7,9 cm représentent 80 % du volume, de même que celles dont la largeur est comprise entre 8,9 et 20,2 cm, et celles dont la longueur est comprise entre 1,0 et 2,3 m (cf. figure 3).

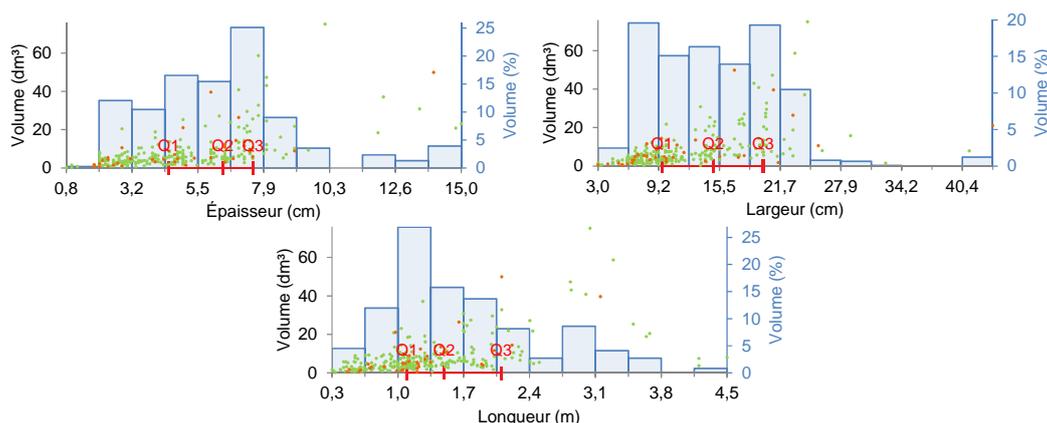


Figure 3 : Dimensions des déchets en bois massif échantillonnés, distributions volumiques (points verts et marrons : résineux et feuillus ; histogrammes : distributions volumiques ; Q1-Q2-Q3 : quartiles volumiques)

Concernant les essences, il a été observé une grande majorité de résineux (88 % du volume), assez peu de feuillus tempérés et très peu de feuillus tropicaux. Les taux d'humidité sont plus faibles que ceux des bois frais de sciage (entre 16 % et 32 % pour 80 % du volume). Plusieurs caractéristiques incompatibles avec une valorisation directe en filière industrielle ont été observées, comme la présence d'éléments métalliques, de contaminations chimiques, de singularités de forme et de qualité du bois.

Cette caractérisation a conduit à orienter le développement du procédé vers la fabrication de semi-produits contrecollés de type carrelés lamellés-collés de menuiserie.

3. Mise au point d'un procédé de recyclage en boucle fermée des déchets en bois massif

Sur la base des choix préalables de gisement de déchets et de type de semi-produits en bois massif, un procédé permettant d'homogénéiser et de conformer les propriétés des déchets aux exigences des carrelés a été développé. Il comprend les étapes suivantes : purge des parties métalliques, décontamination et délignage en lamelles, purge des défauts, séchage, aboutage rabotage et contre-collage des lamelles, rabotage final.

Ce procédé a été simulé numériquement et expérimenté à l'échelle pilote dans l'optique de valider la faisabilité technique, d'établir les paramètres encore libres afin d'aboutir à un compromis technico-économique intéressant, de fabriquer des prototypes de carrelés afin de valider leur utilisabilité, et de collecter des données afin de pouvoir ensuite évaluer la pertinence environnementale et la rentabilité économique.

3.1. Contamination chimique et état de surface

Des essais de décontamination par surfacage ont été menés sur des pièces de déchets de bois contaminées en profondeur et sur des pièces contaminées en surface. L'efficacité de la décontamination a été évaluée via des mesures de concentration de contaminants en surface par spectrométrie XRF avant et après décontamination, et la contamination des résidus de décontamination a également été évaluée.

Il ressort en premier lieu que la décontamination par surfaçage des pièces imprégnées en profondeur, qui représentent une part très modeste du gisement, ne semble pas permettre d'atteindre une concentration en contaminants satisfaisante à la surface des semi-produits (les seuils considérés comme satisfaisants sont ceux du référentiel EPF pour le recyclage en panneaux de particules, appliqués à la surface des lamelles). En deuxième lieu, il a été montré qu'une part significative du gisement présente des contaminations en surface dépassant ces seuils, mais qu'une décontamination par un surfaçage sur une épaisseur de 2 mm, en complément de la détection des pièces imprégnées, permet de respecter les seuils sur l'ensemble des lamelles. En troisième lieu, il a été montré que la transformation de pièces avec une contamination de surface très importante (pièces peintes avec des peintures contenant des pigments métalliques) risque de contaminer des volumes importants de sciure, remettant en question la possibilité de valorisation des résidus en panneaux de particules.

À partir de ces résultats, deux stratégies possibles de gestion de la contamination ont été discutées, la première étant davantage axée sur la rentabilité économique et la seconde sur la pertinence environnementale et sanitaire.

3.2. Dimensions

Un modèle d'usinage (figure 4) a été développé afin d'estimer le rendement matière maximal atteignable en fonction des dimensions des déchets et des dimensions recherchées pour les semi-produits.

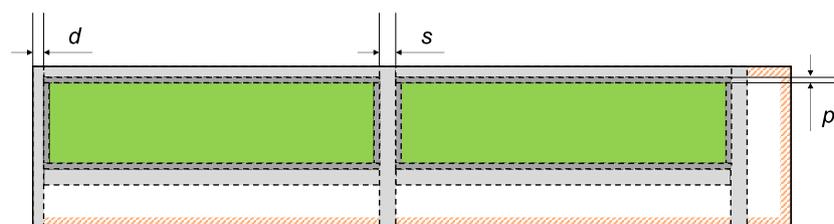


Figure 4 : Modèle d'usinage (traits pleins : déchet bois, hachures orange : zones à décontaminer, traits pointillés noirs : contours d'usinage, zones gris clair : traits de scie, zones gris foncé : copeaux de rabotage, zones vertes : lamelles, zones blanches : chutes)

Cet outil peut être exploité pour des gisements et des conditions d'usinage spécifiques, dans le cadre d'une application industrielle de ce concept de recyclage. Dans les conditions étudiées, les résultats montrent que le rendement optimal est atteint pour des lamelles de section 2,0 cm × 6,0 cm après rabotage (cf. figure 5), et qu'il est possible de produire les sections courantes de carrelets avec des rendements intéressants.

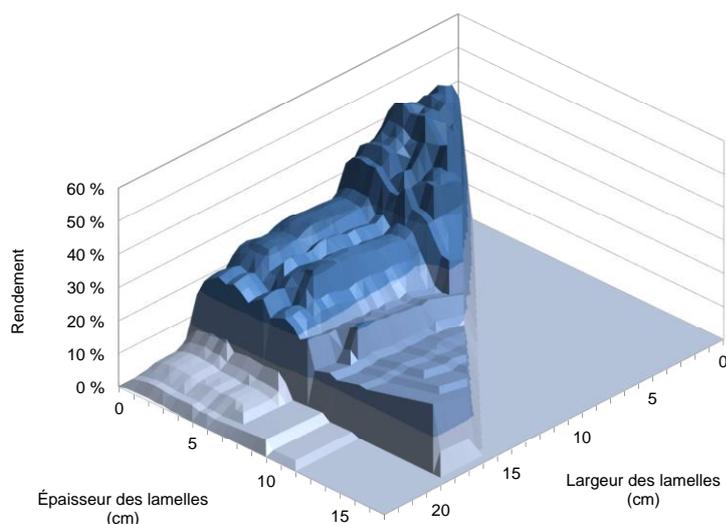


Figure 5 : Rendement d'usinage (décontamination-déclignage, rabotage) en fonction de la section des lamelles, avec une résolution de calcul de 5 mm sur les dimensions des lamelles

Le procédé a été expérimenté à l'échelle pilote, permettant de valider le modèle théorique de décontamination-délignage et rabotage, et de compléter l'estimation du rendement pour les autres opérations. Les résultats montrent, pour des carrelets de menuiserie avec une classe d'aspect J30, un rendement de 30 % entre des déchets en bois massif prétriés et des carrelets rabotés constitués de lamelles de section 2,0 cm × 6,0 cm. La majeure partie des résidus est constituée de chutes avec parties métalliques, et de chutes et de sciure générées lors de la décontamination et du délignage (figure 6).

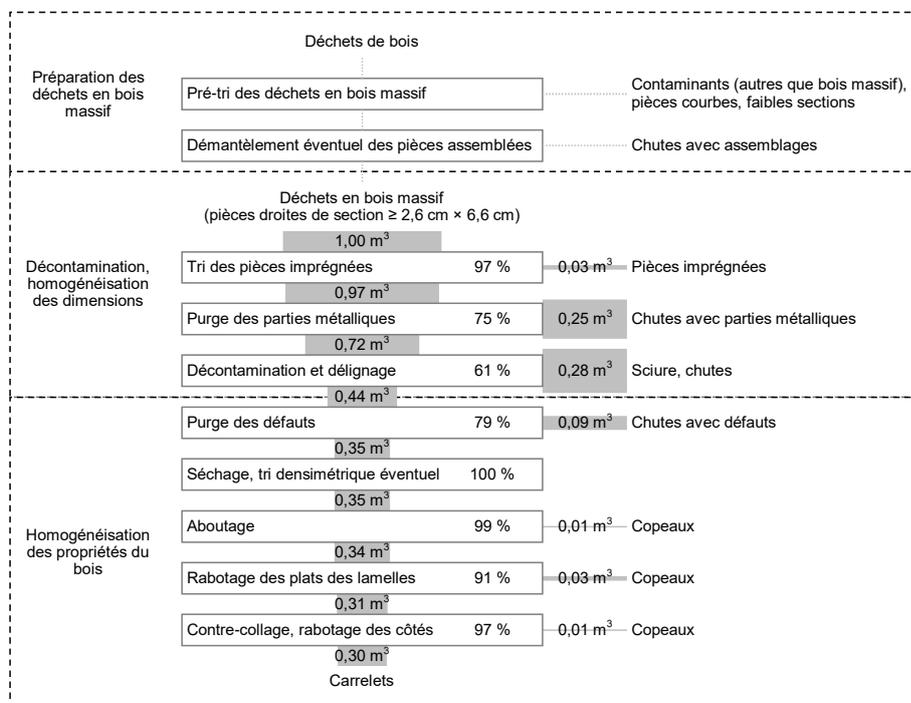


Figure 6 : Diagramme de Sankey des flux de matière du procédé de recyclage pour des carrelets constitués de lamelles de section unique 2,0 cm × 6,0 cm (largeur des traits : flux pour 1 m³ de déchets entrants)

3.3. Propriétés mécaniques

Les propriétés mécaniques du bois sans défaut constituant les déchets en bois massif ont été testées par essais de flexion vibratoires et statiques et essais de compression, afin d'identifier l'influence potentielle du vieillissement. Les résultats montrent qu'il n'y a pas d'influence significative du vieillissement sur les propriétés mécaniques.

Des prototypes de carrelets ont été fabriqués à l'échelle pilote (figure 7) et testés en flexion statique afin de déterminer leur masse volumique, leur module d'élasticité axiale et leur résistance en flexion. Les résultats montrent des propriétés équivalentes à un classement C30 pour les bois massifs structuraux résineux ou GL24h pour les bois lamellés-collés homogènes. Au regard des dimensions relativement faibles des lamelles qu'il est possible de déligner avec un rendement satisfaisant, et de l'impossibilité normative actuelle de mélanger différentes essences dans des éléments structurels, l'utilisation des carrelets pour des applications non structurelles (menuiserie, agencement, mobilier) semble à court terme néanmoins plus adaptée.



Figure 7 : Exemple de prototype de carrelet

4. Pertinence environnementale et économique

La pertinence environnementale du recyclage en carrelets a été évaluée par analyse environnementale du cycle de vie. Les résultats indiquent que le recyclage en carrelets, vu comme une option de traitement des déchets en bois massif, entraîne des bénéfices environnementaux pour une large majorité d'indicateurs, avec les hypothèses considérées (évitement de la production de carrelets fabriqués à partir de bois vierge et de la production de chaleur et d'électricité moyennes françaises). De plus, la comparaison apparaît globalement favorable vis-à-vis de l'enfouissement et même du recyclage en panneaux de particules. Vis-à-vis de la valorisation énergétique, la comparaison est plus contrastée. La modélisation actuelle des impacts évités pour les deux scénarios est considérée comme conservatrice, c'est-à-dire dans le sens d'une comparaison défavorable au recyclage en carrelets. La considération de scénarios d'évitement alternatifs et prenant en compte l'évolution des filières matériaux et énergies, la prise en compte des effets indirects de la moindre utilisation des sols forestiers, et la prise en compte de la temporalité des émissions de gaz à effet de serre devraient renforcer les avantages de la valorisation matière, à un horizon moyen terme. Au regard de ces résultats, et malgré la considération incomplète des catégories d'impacts et des effets consécutifs, la pertinence environnementale du procédé peut être considérée comme établie.

Le bilan économique du scénario de recyclage en carrelets a également été évalué et comparé avec un scénario de référence de valorisation énergétique en centrale de cogénération. Les résultats indiquent un potentiel économique important pour le scénario de recyclage en carrelets. La combinaison de la valorisation matière et de la valorisation énergétique permet en effet une exploitation rentable, même avec des hypothèses de prix de reprise des déchets et de vente des carrelets très défavorables. Comparé à un scénario de valorisation directe en centrale de cogénération, le scénario de recyclage en carrelets génère un chiffre d'affaires supérieur mais nécessite également des coûts d'investissement et d'exploitation supérieurs, et finalement aucun des deux scénarios ne se différencie clairement en termes de rentabilité.

5. Conclusion

Les expériences menées prouvent qu'il est possible de lever les barrières techniques décelées pour la fabrication de carrelets lamellés-collés de menuiserie à partir de déchets en bois massif.

Une analyse du cycle de vie a montré que ce procédé est environnementalement favorable vis-à-vis de l'enfouissement, du recyclage en panneaux, et à moyen terme de la valorisation énergie, et qu'il peut être aussi rentable économiquement qu'une valorisation énergie.

6. Remerciements

Les auteurs sont reconnaissants du soutien financier de l'ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie) et de la Commission européenne dans le cadre du programme de recherche WoodWisdom-Net+.

7. Références

Guinard L, Deroubaix G, Roux M-L, et al (2015) Évaluation du gisement de déchets bois et son positionnement dans la filière bois / bois-énergie. ADEME, Angers, France

Privat F (2019) Faisabilité du recyclage en boucle fermée des déchets post-consommateurs en bois massif. Thèse de doctorat, Laboratoire LIMBHA de l'École supérieure du bois de Nantes, École centrale de Nantes, Université Bretagne-Loire