
APPROCHE MULTI-ÉCHELLES D'UN PROCÉDÉ DE RECYCLAGE DU MDF¹ PAR VOIE BIOLOGIQUE

Thèse de Sarah **TROILO**²

Analysée par Mark **IRLE**³

Directeur de thèse : Nicolas **BROSSE**, Professeur, Université de Lorraine.

Co-directeur de thèse : Arnaud **BESSERER**, Maître de Conférences, Université de Lorraine.

Le bois est principalement recyclé en le réduisant en petites particules utilisées pour fabriquer des panneaux. Un panneau de particules typique fabriqué en Europe contient 40 à 50 % de particules issues de bois de récupération post-consommation. Le bois de récupération se compose d'un large éventail d'essences de bois, de produits dérivés du bois, comme le contreplaqué, et de composants non ligneux, comme les colles, les peintures et autres produits de finition. Les panneaux de fibres sont l'un des produits du bois que l'on trouve dans le flux de déchets de bois. La proportion de panneaux de fibres dans les déchets de bois n'a cessé d'augmenter au cours des 20 dernières années en raison de l'énorme succès commercial du MDF (panneau de fibres à moyenne densité).

Les particules générées par le déchetage des panneaux de fibres ne conviennent pas à la fabrication de panneaux de particules. Cette thèse aborde ce problème réel, à savoir comment mieux recycler les déchets de panneaux de fibres en minimisant l'impact sur l'environnement.

La thèse est divisée en quatre parties principales : Chapitre I - État de l'art ; Chapitre II - Optimisation du procédé de récupération des fibres provenant d'un MDF ; Chapitre III - Valorisation des fibres dans la fabrication de nouveaux panneaux ; et Chapitre IV - Bioremédiation des effluents liquides.

Le Chapitre 1 présente une vue d'ensemble de la littérature publiée et des informations pertinentes pour l'étude. Il comprend un état des lieux des ressources en bois disponibles en France, comprenant le bois de récupération. Il est intéressant de noter que, selon l'ADEME, seuls 48% des déchets de bois sont recyclés, le reste étant brûlé pour produire de l'énergie ou pour être éliminé (sans récupération d'énergie). Le lecteur trouvera ensuite un aperçu de la manière

¹ MDF : Panneau de fibres à moyenne densité.

² Thèse de doctorat de l'Université de Lorraine, Mention Science du bois et des fibres, dans le cadre de l'Ecole doctorale 608 Sciences et ingénierie des molécules, des produits, des procédés et de l'énergie (SIMPPÉ), présentée et soutenue le 7 décembre 2023.

³ Membre correspondant associé à l'Académie d'agriculture de France.

dont les panneaux de particules et les panneaux MDF sont fabriqués et ensuite recyclés. À l'heure actuelle, les panneaux de fibres ne font pas l'objet d'un recyclage commercial intentionnel, bien que des signes indiquent que cette situation est en train de changer, pour les raisons suivantes : (a) il est difficile de les séparer des autres types de produits en bois et (b) les recherches sur la manière de recycler les panneaux de fibres sont insuffisantes. Cette thèse aborde ce dernier problème.

Les trois objectifs de l'étude présentés à la fin du chapitre 1 peuvent être résumés comme suit :

1. Développer une méthode commercialement viable pour extraire les fibres des panneaux de fibres afin de pouvoir les utiliser pour fabriquer de nouveaux panneaux.
2. Étudier l'impact de l'inclusion de fibres recyclées dans les panneaux de particules.
3. Rechercher de nouvelles méthodes de traitement des effluents issus des processus d'extraction des fibres.

Le Chapitre 2 décrit comment un procédé d'explosion à la vapeur a été mis au point et optimisé pour traiter les panneaux de fibres post-consommation. Le processus final consiste à découper les déchets de panneaux de fibres en particules qui sont ensuite soumises à de la vapeur sous pression à 190°C pendant 10 minutes, avec un relâchement soudain de la pression à la fin du cycle. Cette méthode permet d'obtenir un rendement de 75 % de fibres et d'éliminer 80 % de la résine urée-formaldéhyde. Le processus nécessite beaucoup d'énergie et d'eau ; en particulier, on estime que le traitement d'une tonne de déchets de panneaux de fibres nécessiterait entre 7,1 et 16,1 MWh et entre 9 et 53 m³ d'eau.

Les fibres libérées ont ensuite été utilisées pour fabriquer des panneaux de particules et des panneaux de fibres. Les différentes études sur l'utilisation de ces fibres sont décrites au Chapitre 3. Les fibres recyclées ont été ajoutées à des panneaux de particules à trois couches, soit dans les couches supérieures uniquement, soit dans la couche intérieure uniquement, soit dans les trois couches. Il semblerait que la substitution de 5% des particules de bois par des fibres recyclées ait un impact limité sur les propriétés mécaniques des panneaux de particules ; des taux de substitution plus élevés entraînent des réductions notables des propriétés mécaniques, quelle que soit la couche contenant les fibres recyclées.

Le Chapitre 4 porte sur le traitement de l'eau utilisée pour chauffer et désintégrer les panneaux de fibres. L'eau contient des extraits de bois, des fragments de résine, de l'urée et du formaldéhyde. Une nouvelle technique de bioremédiation a été étudiée pour nettoyer l'eau polluée. La biorestauration n'est pas un choix évident en raison de la présence de formaldéhyde dans l'eau et du fait que le formaldéhyde est très toxique pour la plupart des micro-organismes. L'utilisation de *Trichoderma atroviride* SE pour dégrader le formaldéhyde a donné de bons résultats. Ce micro-organisme a besoin d'azote et de nutriments supplémentaires.

La conclusion de l'étude est que le recyclage des panneaux de fibres par explosion à la vapeur est techniquement possible. Les fibres extraites sont comparables aux fibres vierges, surtout si les étapes de tamisage supplémentaires, qui réduisent le rendement, sont incluses dans le processus. Malheureusement, un processus de recyclage basé sur l'équipement pilote n'est pas économiquement viable. Par conséquent, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour optimiser davantage le processus, en mettant l'accent sur la réduction des besoins énergétiques par un facteur 10.

La bioremédiation des eaux polluées riches en formaldéhyde est possible avec *T. atroviride* SE, mais elle nécessite également des recherches supplémentaires avant d'être commercialisée.

ANALYSE DE THÈSE

Sarah Troilo a mené une excellente étude de recherche appliquée à un problème réel. Elle a déposé une demande de brevet et publié deux articles dans des revues à comité de lecture.

BREVET

Troilo, S.; Soufflet, L.; Brosse, N.; Besserer, A.; Girods, P., Procédé et installation de traitements de déchets de panneaux de fibres de bois et panneaux fabriqués à partir de telles fibres recyclables, 2022, FR22-02263 (en cours de validation).

ARTICLES

1. Troilo, S.; Besserer, A.; Rose, C.; Saker, S.; Soufflet, L.; Brosse, N. Urea-Formaldehyde Resin Removal in Medium-Density Fiberboards by Steam Explosion: Developing Nondestructive Analytical Tools. *ACS Sustainable Chem. Eng.* 2023, 11 (9), 3603–3610. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.2c05686>.
2. Besserer, A.; Troilo, S.; Girods, P.; Rogaume, Y.; Brosse, N. Cascading Recycling of Wood Waste: A Review. *Polymers* 2021, 13 (11), 1752. <https://doi.org/10.3390/polym13111752>.

L'ensemble de ces caractéristiques justifie pleinement la publication de l'analyse de la thèse de Sarah TROILO sur le site de l'Académie d'agriculture de France, et dans le Mensuel à titre de valorisation.