

Recyclage du MDF par explosion à la vapeur

TROILO Sarah^{1,2}, BESSERER Arnaud¹, SOUFFLET Lucas², BROSSE Nicolas¹

¹LERMAB, Université de Lorraine, INRAE, GP4W F54000 Nancy, France

²CF2P, Zi Tertre Landry, 70200 Lure, France

sarah.troilo@cf2p.eu

Mots clefs : déchets bois, MDF, explosion à la vapeur, recyclage, fibres

Contexte et objectifs

Depuis plusieurs décennies, les habitudes de consommation des ménages ont évolué avec la diminution de la durée de vie du mobilier intérieur. Ces modifications ont entraîné une forte augmentation des déchets d'éléments d'ameublement (DEA). En 2019, la quantité de DEA collectés a dépassé une tonne et seulement une partie a été valorisée (ADEME, 2020). Les DEA sont constitués à plus de 50% de déchets bois et le MDF (Medium Density Fiberboard) constitue environ 15% des déchets bois (estimation Eco-Mobilier). Ce panneau de fibres de bois contient au moins 5% de résine urée-formaldéhyde (UF) qui est une substance inflammable, toxique, corrosive, dangereuse pour la santé et pose des problèmes à plusieurs niveaux concernant son recyclage. En 2019, la production française de MDF était supérieure à un million m³ (Memento FCBA, 2020) alors que le volume de déchets MDF générés durant les cinq dernières années dans le monde est évalué à 220 millions m³. Ce chiffre est en constante augmentation (Irle et al., 2019). Le problème du recyclage du MDF constitue donc un enjeu majeur pour l'industrie de l'ameublement et, plus généralement, pour la filière forêt bois. Cependant, il n'existe aucune filière à l'échelle industrielle de valorisation ou de recyclage du MDF et les panneaux sont en majorités incinérés ou enfouis.

L'objectif de ce travail est de développer un traitement des fibres de MDF afin de les rendre recyclables en vue d'une future valorisation. Les déchets MDF ont été traités par un processus d'explosion à la vapeur dont les enjeux sont doubles : fragmenter les déchets MDF afin de séparer les fibres de MDF les unes des autres et épurer la résine UF des fibres par hydrolyse. L'efficacité du traitement a été évaluée par plusieurs méthodes. Les constituants de la résine UF ont été quantifiés et la présence de la résine sur les fibres a été observée au microscope confocal à fluorescence. La caractérisation des fibres a été complétée avec une analyse en proche infrarouge ainsi qu'un profil granulométrique.

Matériel et méthode

Fragmentation du MDF et élimination de la résine.

Des cubes de MDF (100g) ont été traités dans un réacteur de 4,8L d'explosion à la vapeur. Dans le réacteur, de la vapeur est introduite jusqu'à obtenir la température souhaitée. Cette température est maintenue pendant une durée déterminée appelée temps de séjour. L'ouverture d'une vanne pneumatique provoque une chute de pression et projette les fibres de MDF dans un éclateur. La sévérité du traitement est déterminée par l'équation 1 où S est le facteur de sévérité, t le temps de séjour (min) et T la température (°C). Les essais ont été réalisés pour des températures comprises entre 180 et 210°C et des temps de séjour de 5, 10 et 20 minutes. Les fibres de MDF fragmentées ont été ensuite centrifugées à 10000 x g pendant 10 minutes, séchées à 80°C puis séparées manuellement.

$$S = \log_{10} \left[t * \exp \left(\frac{T - 100}{14,75} \right) \right]$$

Eq. 1 : Formule du facteur de sévérité

Caractérisation des fibres de MDF traitées par explosion à la vapeur

La résine UF présente dans les panneaux de MDF est constituée d'urée (H₂NCONH₂) et de formaldéhyde ([CH₂O]_n). La quantification de l'azote (N) et du formaldéhyde sur les fibres avant et après traitement permet d'évaluer l'efficacité du procédé d'explosion à la vapeur. Le taux d'azote a été déterminé par une analyse élémentaire. Les émissions de formaldéhyde ont été mesurées d'après la méthode au perforateur (AFNOR, 2016).

Les fibres de MDF ont été colorées à la safranine 0,1% et observées au microscope confocal afin de visualiser la résine UF sur les fibres de MDF avant et après traitement. La composition des fibres de MDF a ensuite été caractérisée de façon quantitative par une analyse en proche infrarouge suivie d'une analyse en composante principale (ACP). Enfin, la taille des fibres a été caractérisée par une analyse granulométrique.

Résultats et discussion

Quantification des polluants

Le traitement par explosion à la vapeur supprime complètement les émissions de formaldéhyde. La quantification de l'azote dans les fibres de MDF est présentée en Figure 2. La barre noire représente les fibres de MDF non traitées. Les quantifications montrent que l'efficacité du traitement varie en fonction du temps et de la température. Pour tous les essais, le taux d'azote diminue après le traitement par explosion à la vapeur. Lorsque la sévérité du traitement est trop douce, la fragmentation du MDF est incomplète et l'élimination de l'azote est réduite. Pour les traitements entraînant une fragmentation totale, environ 80% de l'azote est éliminé. Une augmentation de la sévérité du traitement n'a pas permis d'améliorer l'élimination de l'azote. Ces résultats sont en accord avec des travaux antérieurs où le traitement des fibres (réalisé par raffinage à la vapeur) montre qu'au maximum 80% de la résine est solubilisée et 20% de l'azote reste sur les fibres (Hagel et al., 2021).

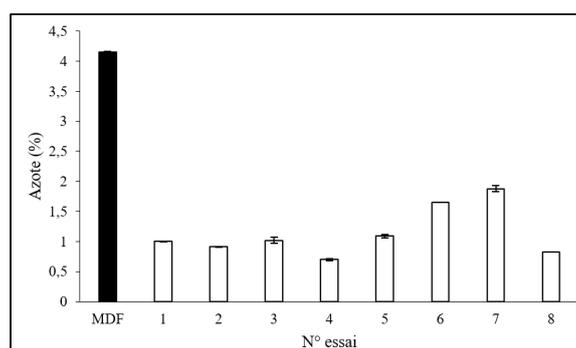


Fig. 2 : Quantification de l'azote dans les fibres de MDF par analyse élémentaire. Barres = moyennes de 3 réplicats. Barres d'erreurs = IC 95 %.

Observation des fibres au microscope confocal

Des fibres non encollées et de la résine UF colorées à la safranine ont été observées au microscope confocal afin de réaliser des spectres d'émission de fluorescence. Les maxima d'émission étant distincts, il est possible d'appliquer une déconvolution spectrale en tout pixel de l'image afin d'attribuer un signal à la résine (vert) et au bois (rouge). En effet, après coloration, les parois cellulaires de bois contenant de la cellulose et de la lignine produisent une fluorescence rouge (Bond et al., 2008). Les fibres de MDF non traitées par explosion de vapeur (Fig. 3), apparaissent majoritairement en jaune indiquant la co-localisation de la résine et du bois. Cela valide ainsi la méthodologie. De plus, l'analyse *in situ* fait apparaître une répartition hétérogène de la résine sur les fibres. Les fibres traitées par explosion à la vapeur (Fig. 4), sont caractérisées par une forte diminution de la fluorescence liée à la résine. Il est à noter qu'une fibre verte est toujours visible sur l'image. La répartition de la résine sur les fibres étant hétérogène, l'élimination de la résine l'est également. Ces images prouvent l'efficacité du traitement par explosion à la vapeur pour éliminer la résine UF des fibres de MDF.

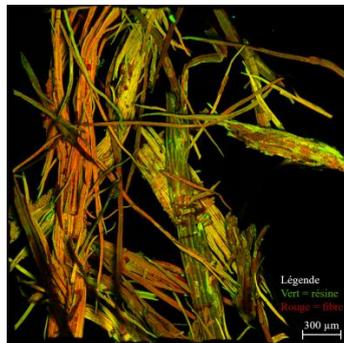


Fig. 3 : Observation au microscope confocal de fibres de MDF colorées à la safranine

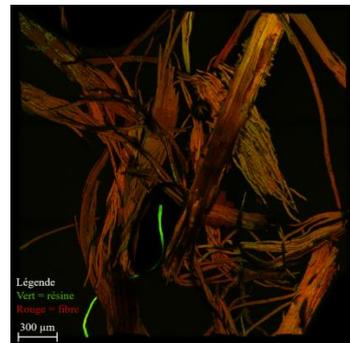


Fig. 4 : Observation au microscope confocal de fibres de MDF traitées par explosion à la vapeur et colorées à la safranine

Analyse infrarouge

Les fibres de MDF à différents stades du procédé ont été analysées par NIRS. La dérivée seconde a été calculée sur la zone du spectre présentant un intérêt et les différents échantillons soumis à une analyse en composante principale (ACP). Le graphique des individus de l'ACP est présenté sur la Figure 5.

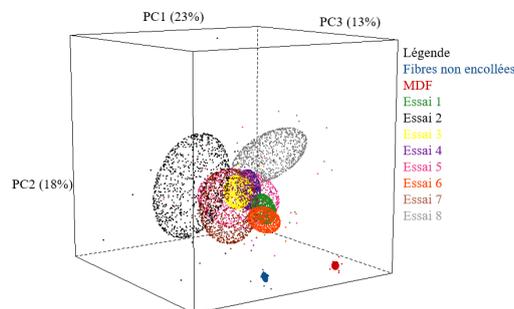


Fig. 5 : Représentation 3D de l'analyse en composante principale des fibres de MDF

L'ACP permet de visualiser l'effet du traitement sur les fibres. Plus le nuage de points est resserré et plus le traitement est homogène. Les fibres issues des différents essais d'explosion

à la vapeur sont discriminées des fibres témoins non traitées composées de fibres de MDF encollées (rouge) ou non encollées (bleu). De plus, l'impact des paramètres d'explosion de vapeur sur l'homogénéité des propriétés chimiques de la biomasse sont clairement visibles. L'analyse des loadings a permis d'attribuer la contribution des bandes azotes de la résine à la composante 3. Les effets du traitement par explosion à la vapeur sur les sucres et la lignine sont visibles sur la composante 1 et 2 respectivement.

Analyse granulométrique

Après tamisage, les fibres de MDF traitées par explosions à la vapeur sont réparties en trois catégories présentées en Figure 6. La répartition est à peu près équivalente entre les fines, les fibres moyennes et les fibres longues. Le réemploi des fibres pourra être adapté en fonction de leur taille.

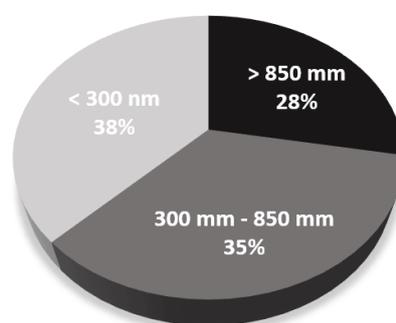


Fig. 6 : Répartition granulométrique des fibres de MDF traitées par explosion à la vapeur

Conclusion et perspectives

L'explosion à la vapeur est une technique efficace pour rendre les fibres de MDF recyclables. Après traitement, le MDF est fragmenté et la majorité de la résine UF a été éliminée des fibres. La diminution de l'azote contenu dans l'urée est de 80% et les émissions de formaldéhyde sont supprimées. La réduction de la résine est validée par les observations des fibres au microscope. Les fibres pourront ainsi être valorisées avec des utilisations différentes en fonction de leur taille.

Références

- ADEME, 2020. Rapport annuel de la filière des déchets d'éléments d'ameublement (DEA) : Données 2019.
- AFNOR, 2016. NF EN ISO 12460-5.
- Hagel, S., Joy, J., Cicala, G., Saake, B., 2021. Recycling of Waste MDF by Steam Refining: Evaluation of Fiber and Paper Strength Properties. Waste Biomass Valor. <https://doi.org/10.1007/s12649-021-01391-4>
- Irle, M., Privat, F., Couret, L., Belloncle, C., Dérubaix, G., Bonnin, E., Cathala, B., 2019. Advanced recycling of post-consumer solid wood and MDF. Wood Material Science & Engineering 14, 19–23. <https://doi.org/10.1080/17480272.2018.1427144>
- Bond, J., Donaldson, L., Hill, S., Hitchcock, K., 2008. Safranin fluorescent staining of wood cell walls. Biotechnique & Histochemistry 83, 161–171. <https://doi.org/10.1080/10520290802373354>

10^{es} journées du GDR 3544 « Sciences du bois » - Montpellier, 17-19 novembre 2021