

Le projet « OPTIFIBR » :

Méthode innovante de caractérisation des fibres de bois par validation de mesures optiques en vue d'améliorer les processus de production de panneaux et de papier et de réduire les intrants.

Chercheurs : Pierre MARTIN, Anne-Caroline SCHNEPF.

Ce projet de recherche d'une durée de quatre ans (de septembre 2011 à septembre 2015), mené dans le cadre du programme "FIRST Haute École" financé par la Région Wallonne, a pour objectif de développer une méthode de mesure optique des fibres de bois produites lors du procédé de fabrication industrielle de panneaux de bois de densité moyenne (Medium Density Fiberboard – MDF) afin de mieux les caractériser. L'utilisation combinée de ces mesures et l'exploitation de données provenant du procédé de fabrication des panneaux devrait ensuite permettre d'établir les corrélations existant entre les paramètres de production et les caractéristiques des fibres qui déterminent les propriétés mécaniques et physiques des panneaux.

Contexte de l'étude

Les fibres constituent l'élément principal des panneaux MDF, mais aussi le plus méconnu. Il est clairement établi que les propriétés morphologiques des fibres sont d'une grande importance dans le procédé de fabrication des panneaux, influençant ainsi les propriétés physiques et mécaniques du panneau fini [BENKER 2003; BERG J.-E., 2008; GROOM *et al.*, 1999, XING *et al.*, 2006]. La connaissance des caractéristiques des fibres est encore plus cruciale dans le contexte actuel d'évolution de la qualité des bois disponibles sur le marché. La maîtrise du processus de fabrication passe donc par une maîtrise des caractéristiques morphologiques des fibres et une meilleure compréhension des corrélations avec les caractéristiques du panneau.

Les différents processus intervenant dans la production de MDF sont complexes. Même si les relations entre

le procédé de défilage thermomécanique et son effet sur la taille et la structure des fibres sont relativement connus dans leur principes [BERG J.-E., 2008; ILLIKAINEN, 2008; KURE *et al.*, 1999*a,b*], il y a actuellement un manque de méthodes de mesures directes pour permettre un contrôle continu et systématique du procédé [PIEPER *et al.*, 2011]. Les méthodes actuelles de caractérisation des fibres en milieu industriel restent très sommaires et peu automatisées, car il n'existe pas de standards définissant la qualité des fibres de pulpe thermomécanique (TMP).



Figure 1 : Les fibres sont encore trop peu connues dans l'industrie du MDF.

La méthode la plus courante pour l'analyse de fibres dans l'industrie MDF est la granulométrie par tamisage. Cette méthode de classification dimensionnelle simple ne donne qu'une idée grossière de la distribution de taille des particules fibreuses et n'est pas adaptée pour déterminer la qualité de fibres dont les caractéristiques ne se limitent pas à la seule mesure de leur diamètre. Ce tamisage est aussi souvent associé à une mesure tactile et visuelle des fibres dans le matelas ou bien dans le panneau fini, et l'interprétation de cette analyse qualitative va souvent dépendre de l'opérateur responsable du test. Ces méthodes ont un temps de réponse élevé et une répétitivité faible, ce qui les rend inadéquates pour établir des liens avec l'ensemble des paramètres du procédé de fabrication et les propriétés du panneau MDF.

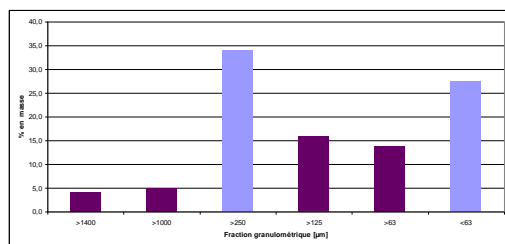


Figure 2 : L'analyse par tamisage reste peu sensible aux variations et ne donne pas beaucoup d'information sur la qualité des fibres.

Les technologies actuelles de mesures optiques et d'analyse d'images offrent de multiples possibilités pour la caractérisation des dimensions et des formes de particules. Les caractéristiques morphologiques d'une grande quantité de particules peuvent être déterminées de manière rapide et standardisée, et avec une grande précision. La mise en place de routines d'analyses et le développement de l'automatisation permettent aussi des mesures directement sur la ligne de production (*on-line*), permettant un contrôle en temps réel des caractéristiques du produit. Dans le

domaine des poudres, ces technologies ont déjà remplacé les traditionnels tamis.

Cette technologie doit cependant être adaptée à la mesure de fibres, qui ont une structure en trois dimensions dont la description morphologique ne peut se limiter à un simple paramètre géométrique. Par ailleurs, les fibres MDF sont très hétérogènes et leur dimension peut varier de quelques micromètres à plus d'un centimètre, soit un facteur de 10^4 , imposant au système d'acquisition d'image d'avoir un champ de vision à la fois large, mais aussi une résolution assez fine pour pouvoir analyser les plus petites particules. Ensuite, les fibres ont une tendance naturelle à l'agglomération et à l'enchevêtrement, elles doivent donc être séparées efficacement pour pouvoir être caractérisées.

L'avènement de ces nouvelles technologies permet d'acquérir en un temps relativement court et de manière assez simplifiée une très grande quantité de données, qu'il faudra par conséquent traiter avant leur exploitation. Les quantités de données enregistrées par les différents capteurs tout le long du processus de fabrication des panneaux ainsi que les données sur la qualité des produits finis devront aussi faire l'objet d'une classification avant de pouvoir être mises en relation avec les résultats de l'analyse des fibres. Les méthodes actuelles de traitement de données assistées par ordinateur, plus couramment appelées méthodes de *datamining*, ont permis le développement de nouveaux outils d'interprétation spécialement conçus pour l'analyse de grandes quantités de données.

Le développement d'une méthode de mesure optique des fibres permettrait donc de mieux connaître leurs

caractéristiques morphologiques, afin de mieux comprendre les relations existant entre les fibres et les caractéristiques physiques et mécaniques des panneaux d'une part, et les relations entre les paramètres de défibrage et les fibres d'autre part.

Objectif du projet

L'objectif de ce projet est de développer l'utilisation combinée de mesures optiques de fibres et l'exploitation de données provenant du procédé de fabrication des panneaux, afin d'établir les corrélations existant entre les paramètres de production en amont et les caractéristiques des fibres qui déterminent les propriétés mécaniques et physiques des panneaux en aval.

La première étape consiste à développer une méthodologie d'analyse des fibres avec l'appareil de mesure optique et de créer ou sélectionner parmi ceux existant les paramètres qui permettent de caractériser au mieux les populations de fibres.

Ensuite, il convient d'élaborer une base de données permettant de conserver les données relatives aux fibres et celles relatives aux variables du procédé de fabrication des panneaux, ainsi que celles concernant les caractéristiques physiques et mécaniques des panneaux. L'analyse croisée de ces données à l'aide de méthodes statistiques adaptées à l'extraction d'informations à partir d'un grand nombre de données (*datamining*) permet de pouvoir mettre en évidence les relations entre ces variables.

Finalement, ce projet devrait aboutir à une meilleure compréhension des mécanismes du procédé de fabrication des panneaux et un contrôle plus efficace. Il devrait en outre permettre d'améliorer l'efficacité technique et

environnementale dans un contexte d'évolution de la qualité de la matière première.

Responsable du projet

HAUTE ECOLE ROBERT SCHUMAN

Le Centre de Recherches de la Haute Ecole Robert Schuman a pour but de promouvoir la recherche appliquée et l'innovation.

Il œuvre à la recherche de contrats institutionnels ou avec des entreprises privées, à la valorisation des résultats de recherche et au transfert de technologies.

Partenaires industriels

SPANOLUX S.A.

La société Spanolux exploite une ligne de fabrication de MDF à Vielsalm. Forte de plus de 10 ans d'expérience dans la fabrication de panneaux MDF, cette entreprise est en constante recherche d'amélioration. Le développement de nouveaux produits et la recherche de nouvelles performances font partie des préoccupations de l'entreprise afin de rester parmi les leaders du marché. Récemment, le département Recherche & Développement – Qualité a fait l'acquisition d'un appareil de mesure optique de particules développé par Occhio et a investi dans le développement de la base de données permettant de stocker l'information relative aux variables du procédé de fabrication. Elle accueille dans ce département le chercheur du projet.

OCCHIO S.A.

La société Occhio conçoit et fabrique toute une gamme de granulomètres pour la mesure de la taille et de la

morphologie des particules. En tant que Spin-Off universitaire, Occhio consacre environ 30 % de son chiffre d'affaire en recherches et développement. Ce projet devrait permettre à l'entreprise d'améliorer et développer une technologie spécifique à l'étude de fibres de bois.

BURGO ARDENNES S.A.

Burgo-Ardenne est une entreprise de production de pâte à papier et de papier couché faisant partie du Groupe Burgo. Utilisant aussi la technologie de défibrage pour la production de pâte, la perspective d'améliorer les connaissances sur les fibres et les relations avec le procédé l'intéresse particulièrement.

CELABOR SCRL

Créé en 1995, le laboratoire Celabor s'est spécialisé dans l'étude et la caractérisation des fibres textiles et papetières mais souhaite élargir encore ce type de connaissances à d'autres domaines comme les fibres naturelles pour composites et pour panneaux. Cette recherche devrait permettre au Celabor d'améliorer ses connaissances en termes de paramètres de caractérisation des fibres de bois et l'interprétation des résultats d'analyse.

Procédé de fabrication des panneaux

La ligne de production de MDF installée à Vielsalm et exploitée par Spanolux S.A. est basée sur le procédé de pressage à sec. Au cours de ce procédé, les fibres de bois sont mélangées à de la colle avant séchage et puis sont pressées à l'état sec. Contrairement au procédé humide qui utilise l'eau, c'est ici l'air qui est le vecteur de transport des fibres.

La principale matière première utilisée est le bois d'épicéa (*Picea abies*), qui arrive sous forme de rondins, plaquettes de scierie, culées, souches, et autres coproduits de l'industrie du bois.



Figure 3 : Les plaquettes, ou "chips" sont produites sur place ou achetées aux scieries de la région.

Ceux-ci sont déchiquetés en plaquettes qui sont lavées puis envoyées vers une cuve où elles subissent un traitement à la vapeur saturée sous haute pression (9 bar) à une température d'environ 160°C. Dans ces conditions, la lignine, qui constitue le principal "ciment" permettant de tenir les fibres ensemble, perd ses propriétés de cohésion, ce qui permet de les séparer plus facilement et de diminuer l'énergie à apporter au défibreur [IRVINE, 1985; ROFFAEL *et al.* 2001].

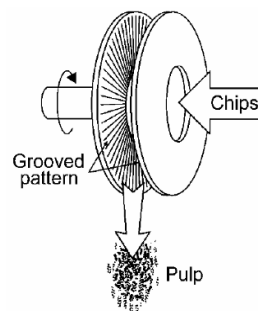


Figure 4 : Schéma de fonctionnement du défibreur (Source : TIENVIERI *et al.* 1999).

Ce dernier se compose de deux disques de défibrage avec un design spécialement conçu pour défibrer le bois, installés dans un logement

étanche sous pression. Le fonctionnement est similaire à celui d'une meule : un des disques est fixe (stator) tandis que l'autre (le rotor) est mis en rotation. Les copeaux sont injectés dans le défibreur via le centre du stator (Figure 4). Sous l'effet de la rotation, ils se déplacent dans l'étroit espace inter disques, et ce sont les forces de compression et de cisaillement générées par le contact avec les aspérités des disques et les contacts entre fibres qui permettent leur désintégration en pulpe [ILLIKAINEN 2008]. La stabilité du processus de défibrage et la qualité des fibres produites vont entre autre varier selon le type de matière première, le design des disques, la température de préchauffage et l'humidité des plaquettes.

Dès leur sortie du défibreur, les fibres sont pulvérisées avec de la colle. Lors de cette étape, la proportion de particules fines contenue dans les

fibres peut avoir un impact sur la consommation de colle [XING *et al.*, 2004]. D'autres additifs peuvent aussi être ajoutés en même temps que la colle pour améliorer les qualités ignifuges ou hydrofuges des panneaux, favoriser la prise de colle ou empêcher le dégagement de formaldéhyde dans le panneau fini. Les fibres sont ensuite soufflées dans un sécheur vertical. Le point critique de cette étape est de favoriser un séchage rapide sans que la colle ne polymérise.

Pour la densification du matelas et la prise de la colle, chaleur et pression sont nécessaires. Le pressage du matelas est fait en continu, dans une presse composée de deux bandes en acier en contact direct avec le matelas, tendues et mises en rotation grâce à des tambours, tandis qu'une série de vérins (*pressing frames*) permettent le transfert de la pression. La chaleur est transmise via des plateaux (Figure 5).

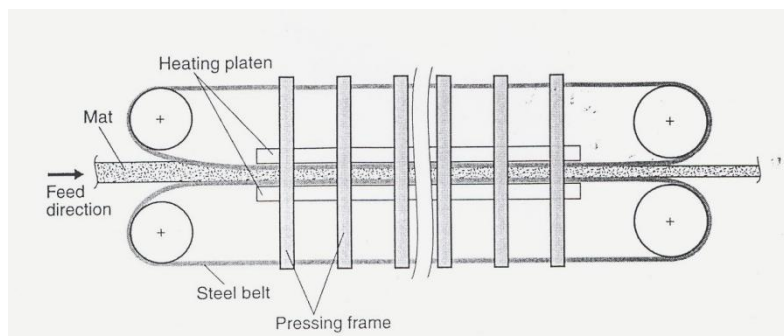


Figure 5 : Schéma d'une presse continue.

L'étape de pressage est déterminante pour les caractéristiques finales du panneau : un profil de pression adapté à chaque type de production est nécessaire pour obtenir un panneau avec une épaisseur et un profil de densité optimal. Cette étape est très complexe suite au grand nombre de paramètres qui entrent en compte lors du transfert de chaleur, de la polymérisation de la colle et de la densification du matelas. La morphologie et la composition des

fibres est susceptible d'avoir un impact important sur le comportement du matelas de fibres lors du pressage.

On le voit, les fibres interviennent à de nombreuses reprises tout au long du processus de fabrication des panneaux. C'est pourquoi il est important de pouvoir les caractériser avec précision pour ensuite étudier l'impact qu'elles peuvent avoir tout au long des phases de fabrication du MDF.

La mesure optique de fibres

L'appareil d'analyse

L'appareil d'analyse développé par Occhio (Figure 6) est constitué d'une caméra optique à haute résolution (de 0.4 à 4.7 $\mu\text{m}/\text{pixel}$, 6.6 Mpixels), d'un système de dispersion des particules par voie sèche et d'un ordinateur sur lequel est installé un logiciel qui permet l'analyse des images et le contrôle de la caméra.



Figure 6 : Appareil de mesure optique de particules "500 Nano". La tour contient la caméra, et l'ordinateur est intégré dans la partie inférieure (© Occhio).

La caméra enregistre des images de la projection de fibres sur une plaque de verre rétro éclairée, à la manière d'un microscope. Les images générées sont en niveaux de gris, et la détection des particules est basée sur le contraste : les pixels jointifs dont la valeur de gris dépasse un seuil donné sont considérés comme faisant partie de la même particule, d'où l'importance de bien séparer les fibres (Figure 7). La "mesure" des différentes caractéristiques se base sur des algorithmes d'analyse d'image qui sont plus ou moins efficaces selon le type de particule étudié. L'appareil actuel a surtout été développé pour l'analyse de poudres. Il est donc nécessaire, dans un premier temps, d'adapter les techniques à la mesure des fibres, qui n'ont pas le même comportement et ne peuvent pas être caractérisées avec les mêmes critères que les particules de poudres.



Figure 7 : Image prise lors de l'analyse de fibres.

Caractérisation des fibres

Contrairement aux particules sphériques (ou similaires) qui sont entièrement définies par leur diamètre, les fibres ne peuvent pas être caractérisées avec une seule mesure. La longueur et la largeur sont un exemple de combinaison de paramètres permettant d'avoir une meilleure caractérisation des fibres. Des informations sur leur forme (courbure, convexité, compacité, ...) sont parfois aussi nécessaires et permettent d'avoir une indication supplémentaire sur les variations observées pendant la fabrication des panneaux.

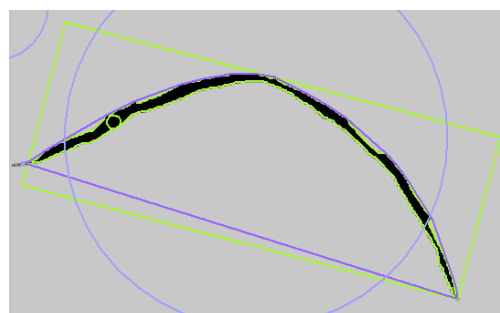


Figure 8 : Représentation de quelques paramètres de taille.

Il existe de nombreux paramètres de forme et de taille qui permettent de caractériser les fibres. La multiplicité des paramètres permettant de décrire les fibres impose de devoir trier et condenser l'information, soit en éliminant les données superflues, soit en combinant certains paramètres permettant ainsi de créer des indices relatifs à la morphologie des fibres.

Dans le cadre de ce projet, il est difficile de déterminer *a priori* quels sont les paramètres qui seront utiles dans l'établissement des corrélations. Nous savons tout au plus que la taille des fibres et la proportion relative entre fines et grosses particules a une influence sur la qualité des panneaux et sur le bon fonctionnement de la ligne de production. C'est pourquoi il est nécessaire de rester le plus large possible dans le champ de prospection.

Présentation des résultats de mesures

Les résultats de l'analyse d'un échantillon de fibres sont présentés sous la forme d'une distribution de fréquences (relatives ou cumulées) du paramètre étudié. La distribution est pondérée par l'aire, c'est-à-dire que l'importance statistique de la particule est proportionnelle à sa surface. De cette distribution, il est possible de déduire des informations statistiques telles que la longueur moyenne des fibres, la dispersion des longueurs autour de la moyenne, le mode, la médiane, les quantiles ou encore la déviation de la distribution par rapport à une distribution de référence. A titre d'exemple, la Figure 9 montre la distribution de longueur de quatre types de fibres différents.

Actuellement, la recherche s'est surtout focalisée sur la mise au point d'une méthode d'analyse fiable, car jusqu'à présent les différents essais de mesures se sont montrés très variables et difficilement répétables. Différents paramètres de mesures ont été sélectionnés selon leur pertinence dans le cadre de l'analyse de fibres et leur sensibilité par rapport à des changements de morphologie.

La difficulté de l'analyse de fibres est de pouvoir détecter des variations faibles dans un matériau fortement hétérogène en taille et en forme. C'est pourquoi un travail important est aussi réalisé au niveau du filtrage, qui permet d'isoler les données concernant les fibres du reste de l'échantillon, composé d'amas, de particules fines, et de poussières. Le schéma d'échantillonnage des fibres dans la production doit aussi être réalisé avec soin pour pouvoir assurer une certaine représentativité aux analyses. En effet, l'appareil ne peut analyser qu'un échantillon de quelques centièmes de gramme sur une production se situant autour de 20 tonnes de fibres sèches par heure, le choix de la méthode de prélèvement est donc crucial.

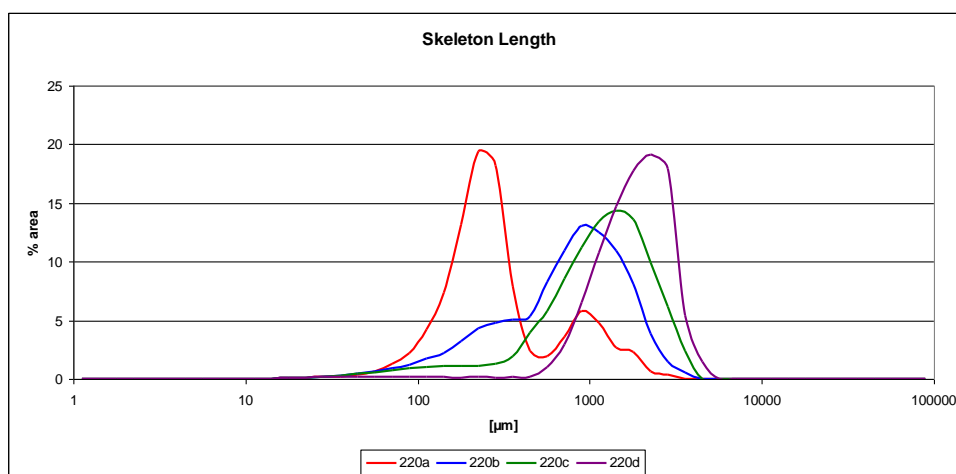


Figure 9 : Distribution de la longueur pour quatre types de fibres différents. Les différences entre distributions sont bien visible.

Jusqu'à présent, les mesures effectuées nous ont permis d'avancer dans la mise au point de la méthodologie d'analyse, mais certains points doivent encore être approfondis avant de pouvoir se lancer concrètement dans une phase de mesure continue pour commencer à analyser les premières corrélations. Toutefois, l'appareil permet déjà de détecter certaines différences dans la composition de fibres.

L'outil d'analyse optique est donc très puissant étant donné la multitude de paramètres mesurables et la finesse de détection. À terme, l'analyse des fibres sera effectuée pour chaque production en relation avec la variation de certains paramètres du processus de fabrication, ainsi qu'avec les résultats de tests qualité sur les panneaux, ce qui devrait nous permettre d'en apprendre un peu plus sur les relations process-fibres-panneaux.

Références bibliographiques

BENKER B., ERBREICH M., PLINKE B. & WOLLMANN A. [2003] Characterization of Wood Fibres for MDF – Off-Line and On-Line Measurements for Production Monitoring. Proc. of the Seventh European Panel Products Symposium, Llandudno, North Wales, UK, 8,-10.10.2003.

BERG J.-E. [2008] Wood and Fibre Mechanics Related to the Thermomechanical Pulping Process. Doctoral Thesis, Mid Sweden University, Sundsvall.

GROOM L., MOTT L. & SHALER S., [1999]. *Relationship between fiber furnish properties and the structural performance of MDF*. 33rd International Particleboard/Composite Materials Symposium Proceedings, Washington State University, Pullman, Washington, USA.

IRVINE G. M. [1985] The significance of the glass transition of lignin in thermomechanical pulping. *Wood Science Technology*, 19, pp. 139-149.

ILLIKAINEN M. [2008] Mechanisms of Thermomechanical Pulp Refining. Faculty of Technology, Department of Process and Environmental Engineering, University of Oulu, Finland.

KURE K.-A., SABOURIN M.J., DAHLQVIST G., HELLE T. [1999a] Adjusting refining intensity by changing refiner plate design and rotational speed – effets on structural fibre properties. *Journal of Pulp and Paper Science*, 16(2), pp. 63-72.

KURE K.-A., SABOURIN M.J., DAHLQVIST G., HELLE T. [1999b] Development of spruce fibre properties by a combination of a pressurized compressive pretreatment and high intensity refining. International Mechanical Pulping Conference, pp. 427-433.

PIEPER O., SEPPKE B., HASENER J & OHLMEYER M. [2011] Fiber Quality Control for MDF Production. Proc. of the Joint International Symposium on Wood Composites and Veneer Processing and Products, Seattle, Washington, USA, 05,-07.04.2011.

ROFFAEL E., DIX B., SCHNEIDER T. [2001] Thermomechanical (TMP) and Chemo-Thermomechanical (C-TMP) Pulps for Medium Density Fibreboards. *Holzforschung*, 55, pp. 214-218.

TIENVIERI T., HUUSARI E., SUNDHOLM J., VUORIO P., KORTELAJNEN J., NYSTEDT H. & ARTAMO A. [1999] Thermomechanical pulping. Mechanical Pulping, Ed: J. Sundholm, Fapet Oy, Helsinki, Finland, pp. 159–221

XING C., RIEDL B., CLOUTIER A. [2004] Measurement of urea-formaldehyde resin distribution as a function of MDF fiber size by laser scanning microscopy. *Wood Science Technology*, 37, pp. 495-507.

XING C., ZHANG S. Y., DENG J., RIEDL B. & CLOUTIER A., [2006]. Medium density fiberboard performances as affected by wood fiber acidity, bulk density and size distribution. *Wood Science Technology* 40, 637-646.