



Offre de Thèse

Modélisation par la Méthode des Éléments Discrets du déroulage de bois à l'état vert

<http://doctorat.ensam.eu/>

Domaine scientifique : Génie mécanique - procédés de fabrication

Mots Clefs : Modélisation, Bois vert, Méthode des Éléments Discrets, Déroulage, Fissuration

Date et lieu : Début le 1/10/2019 sur les sites Arts et Métiers de Cluny et/ou de Paris

Direction de thèse : Philippe Lorong (ENSAM-PIMM), Rémy Marchal (ENSAM-LaBoMaP)

Co-Encadrants : Louis Denaud (ENSAM - LaBoMaP)

Contact : Louis.Denaud@ensam.eu

Le bois est un matériau incontournable dans le contexte actuel de développement durable. Une des originalités du matériau bois réside dans sa structure multi-échelle complexe et hétérogène qui résulte de la croissance adaptative d'un être vivant dans son environnement, l'arbre. Un des enjeux de l'usage du bois à une échelle industrielle repose sur la capacité à homogénéiser, fiabiliser et maîtriser les propriétés des matériaux d'ingénierie bois obtenus soit à partir de planches sciées soit à partir de placages obtenus par procédé de déroulage comme le contreplaqué ou le LVL.

Le déroulage est un procédé de première transformation du bois (transformation du bois vert, i.e. fraîchement abattu et encore gorgé d'eau) qui permet d'obtenir un ruban de bois à partir d'un billon lui-même obtenu par tronçonnage d'une grume. Ce ruban, dont l'épaisseur est millimétrique, peut avoir une longueur de plusieurs dizaines de mètres. Les défauts générés pendant la coupe, qui se retrouvent dans le produit fini, sont principalement des fissurations, du peluchage et des compressions locales. Ces défauts proviennent des phénomènes mécaniques au voisinage de l'arête de coupe qui eux-mêmes dépendent, en plus des caractéristiques comportementales du bois vert, des paramètres du procédé : présence ou non d'une barre de pression, géométrie et orientation du couteau (angle de coupe notamment), vitesse de rotation de la broche (Fig. 1a) et température d'étuvage du bois. Les défauts peuvent également provenir de vibrations indésirables du billon vis-à-vis du couteau en cours de déroulage.

La thèse proposée a pour objectif de modéliser la séparation du matériau bois au voisinage du couteau par la Méthode des Éléments Discrets (DEM : « Discrete Element Method »). Elle vise notamment une meilleure compréhension de l'effet des paramètres clés du procédé sur l'endommagement du produit : le placage. La prise en compte de la température d'étuvage du bois, facilitant le procédé de déroulage, constituera un enrichissement majeur indispensable pour proposer un modèle de coupe acceptable et valorisable dans l'industrie. Ce travail s'appuiera sur l'expérience en déroulage du LaBoMap (avec notamment ses moyens expérimentaux), ainsi que sur les deux thèses (R. Pfeiffer 2015 et R. Curti 2018) dédiées à l'étude de la génération de plaquettes lors de la coupe du bois vert par canter (Fig. 1b).

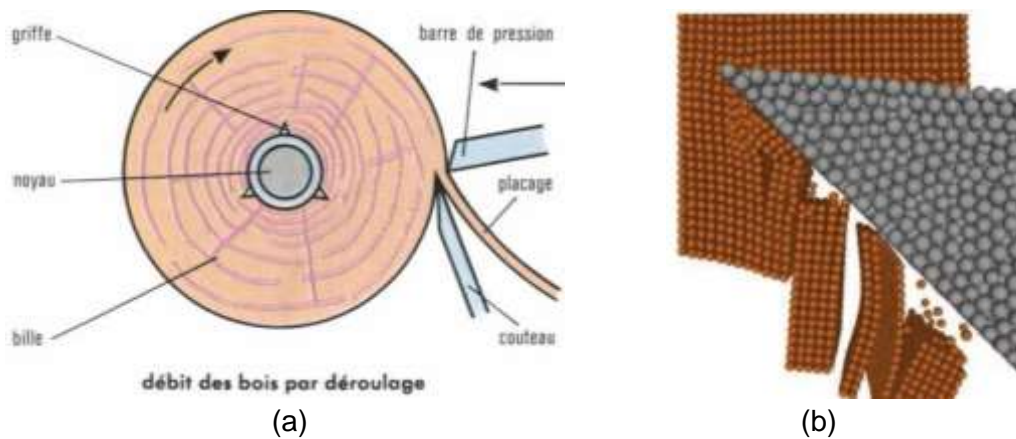


Figure 1 : (a) Procédé de coupe par déroulage (b) Modélisation déroulage DEM [Pfeiffer 2015]

Le comportement du bois vert est particulièrement complexe et associe des phénomènes fortement corrélés avec la quantité d'eau à l'état libre ou liée au sein du bois (visco-élasto-plasticité, micro-flambements ou « collapse », fissurations, ...). Les fissurations dans le ruban déroulé (visibles Fig. 2) influent sur les propriétés mécaniques du placage. La compréhension de leurs apparitions permettra notamment de maîtriser leur nombre et leur taille. Ce comportement lié au taux d'humidité du matériau s'explique par le caractère hydrophile du bois, qui crée spontanément des liaisons chimiques entre ses composants propres (principalement l'hémicellulose) et les molécules d'eau (eau liée). Un second phénomène est lié à la porosité du bois ; il stocke de l'eau libre dans les lumens (partie centrale creuse des cellules), créant un comportement particulier lié à la vitesse d'extraction de l'eau libre lors de l'usinage (phénomène couplant dynamique des fluides et mécanique de la paroi cellulaire).



Figure 2 : Fissuration cyclique d'un placage de hêtre (pénalisant pour l'usage du placage)

Cette étude va associer une démarche expérimentale pour l'analyse du comportement mécanique du bois pour les vitesses de sollicitation rencontrées en déroulage, et une modélisation numérique exploitant la DEM afin de renforcer la compréhension des phénomènes liés au procédé de déroulage. Il s'agit d'un sujet novateur et très peu d'études ont été menées à ce jour dans ce contexte : la DEM est une méthode émergente (la théorie date de 1971 mais la première application de 1990 avec plus de 1000 publications qui s'y réfèrent en 2017 contre 200 en 201). La DEM a pour particularité d'être adaptée pour simuler des phénomènes dynamiques en présence de fissuration et de contacts complexes (milieu multi-fissurés) pour des matériaux structurés présentant des comportements non-linéaires.

Cette thèse permettra au candidat, envisageant une carrière académique ou industrielle dans la filière bois ou dans le domaine de la science des matériaux ou des procédés, d'acquérir des compétences solides en modélisation et une expérience valorisable.



Quelques compléments

Les essais mécaniques quasi-statiques, les essais élémentaires de coupe et les observations seront conduits au LaBoMaP sur les bancs expérimentaux déjà développés à cet effet (machine d'essais, microdériveuse instrumentée, caméra rapide). Les dispositifs instrumentés de déroulage sont extrêmement rares, ces essais à l'échelle semi-industrielle pourront être menés grâce à la dérouleuse instrumentée présent sur le site du LaBoMaP (Fig. 3). Afin de compléter l'expérience acquise par le PIMM et le LaBoMaP concernant l'utilisation de la DEM et la modélisation des comportements physiques avec la DEM le comité de thèse intégrera des spécialistes de la méthode des éléments discrets.



Figure 3 : Ligne de déroulage du campus Arts et Métiers de Cluny



Éléments de bibliographie

- Curti R., Analyse, modélisation et simulation de la coupe orthogonale du bois vert en vue de son application au fraisage par canter. Diss. Ecole nationale supérieure d'arts et métiers, (2018).
- Curti R., Girardon, S., Pot, G., et al. How to model orthotropic materials by the discrete element method (DEM): random sphere packing or regular cubic arrangement?. *Computational Particle Mechanics*, (2018).
- Pfeiffer R., Collet R., Denaud L. E., Fromentin G., Analysis of Chip Formation Mechanisms and Modelling of Slabber Process, *Wood Science and Technology*, 1-18. doi:10.1007/s00226-014-0680-x, (2014).
- Pfeiffer R., Collet R., Denaud L. E., Fromentin G., Lorong P., Analysis and modeling of green wood milling: Chip production by slabber, 21ème Congrès Français de Mécanique, 6. Bordeaux, France, (2013).
- Thibaut B, Beauchêne J (2004) Links between wood machining phenomena and wood mechanical properties: the case of 0°/90° orthogonal cutting of green wood. *Proceedings of the 2nd Int. Symposium on Wood Machining*, Vienna, pp 149–160.
- Thibaut B., Denaud L., Collet R., Marchal R., Beauchêne J., Mothe F., Méausoone P.-J., Martin P., Larricq P., and Eyma F. (2016). Wood machining with a focus on French research in the last 50 years. *Annals of Forest Science*, 73(1), 163–184.
- Pałubicki B, Marchal R, Butaud JC, Denaud LE, Bléron L, Collet R, Kowaluk G (2010) A method of lathe checks measurement: SMOF device and its software. *EurJWoodWood Prod* 68:151–159
- Thibaut B., Denaud L., Collet R., Marchal R., Beauchêne J., Mothe F., Méausoone P.-J., Martin P., Larricq P., and Eyma F. (2016). Wood machining with a focus on French research in the last 50 years. *Annals of Forest Science*, 73(1), 163–184.
- André D., Modélisation par éléments discrets des phases d'ébauche et de doucissage de la silice, Thèse de doctorat, Université de Bordeaux (2012).
- Marchal R., Mothe F., Denaud L-E., Thibaut B., Bléron L., Cutting forces in wood machining – Basics and applications in industrial processes, A review, *Holzforschung*, 63(2): 157-167, (2009).
- Iliescu D., Approche expérimentale et numérique de l'usinage à sec des composites carbone/epoxy, Thèse de doctorat, Arts et Metiers ParisTech, (2008).
- Sawada T., Ohta M., Simulation of the wood cutting parallel or perpendicular to the grain by Extended Distinct Element Method, In *Proceedings of the 12th International Wood Machining Seminar*, pages 49 – 55, (1995).
- Bonin V., Modélisation analytique de la formation du copeau durant le procédé de déroulage du bois de hêtre, Arts et Métiers ParisTech, (2006).
- McKenzie W.M., The basic wood cutting process, *Proceedings of the 2nd International Wood Machining Seminar*, pp3-8, (1967).
- Koch P., *Wood machining process*, Ronald press, Cambridge, (1964).
- McKenzie W.M., *Fundamental analysis of the wood cutting process*, PhD thesis, University of Michigan, Department of Wood Technology