

Impact de la longueur déroulée sur les efforts appliqués par la barre de pression en micro-déroulage

CURIAL Hugo¹, DENAUD Louis¹, VIGUIER Joffrey¹, MARCON Bertrand¹
VERJAT Fabrice¹

¹Arts et Métiers Institute of Technology, LaBoMaP, Université Bourgogne Franche-Comté,
Hugo.Curial@ensam.eu

Mots clés : bois feuillus ; micro-dérouleuse expérimentale ; visualisation de la coupe ; effet de bord ; coupe orthogonale

Contexte et objectif

Le secteur de la construction en bois fait actuellement essentiellement appel à des bois de résineux, dont la production nationale est largement inférieure aux besoins. En conséquence, la majeure partie du bois utilisé en construction est importé, ce qui contribue fortement au déficit de la balance commerciale qui s'accroît (7,1 milliards d'euros de déficit commercial en 2020 et 8,6 milliards d'euros en 2021 selon (Agreste 2022)). La forêt française étant composée à plus de deux tiers de feuillus, l'inadéquation entre la ressource et les besoins en construction (essentiellement résineux) explique pour partie ce déficit commercial.

Les travaux présentés s'inscrivent dans le cadre d'une thèse sur la valorisation des bois feuillus dans le domaine de la construction (structure et agencement notamment). Le procédé de déroulage permet la fabrication de produits répondant à ces différents secteurs. C'est un procédé de première transformation du bois au cours duquel un billon de bois est entraîné en rotation devant un couteau (Fig. 1). Ce couteau est animé d'un mouvement de translation en direction du centre du billon de bois avec une avance par tour correspondant à l'épaisseur du placage (feuille de bois issue de la coupe) souhaitée. Ces mouvements combinés produisent un ruban continu. L'objectif industriel de cette thèse vise donc à caractériser l'aptitude au déroulage et les qualités des produits du déroulage (placages et produits collés) pour des essences feuillues dites secondaires pour lesquels les arbres sont souvent plus petits et de moins bonne conformation. Cette thèse, bien qu'ancrée dans un projet ayant des objectifs industriels, offre également une opportunité d'explorer des aspects scientifiques plus fondamentaux. En effet, elle permettra d'approfondir la compréhension des paramètres du procédé de déroulage, un domaine clé pour l'optimisation des performances industrielles.

Pour réaliser ces travaux, une machine de déroulage expérimentale, appelée micro-dérouleuse, disponible au LaBoMaP permet le déroulage de disque de bois de 15 à 40 mm de longueur (Fig. 2). Un important travail de remise en service a été réalisé durant la première partie de ces travaux et un nouveau système de visualisation de la coupe a été installé. La machine ainsi que les nouveaux systèmes ajoutés sont présentés dans la partie matériel et méthode. L'effet du changement de longueur déroulée (40mm contre 800mm dans la dérouleuse industrielle du LaBoMaP) sur les efforts de coupe et sur la barre de pression n'a cependant jamais été quantifié. La campagne d'essai visant à évaluer les effets de ce changement dimensionnel est présentée pour valider le dispositif expérimental. L'effet principal supposé est une diminution des efforts sur la barre de pression, car la majorité de l'eau libre est éjectée dans le sens longitudinal lors d'un essai de micro-déroulage alors que celle-ci ne peut avoir lieu lors du déroulage en pleine longueur. L'évolution des efforts en déroulage pour plusieurs longueurs de disques est donc ici

étudiée afin de quantifier l'influence des effets de bord sur les mesures effectuées à l'aide de la dérouleuse expérimentale.

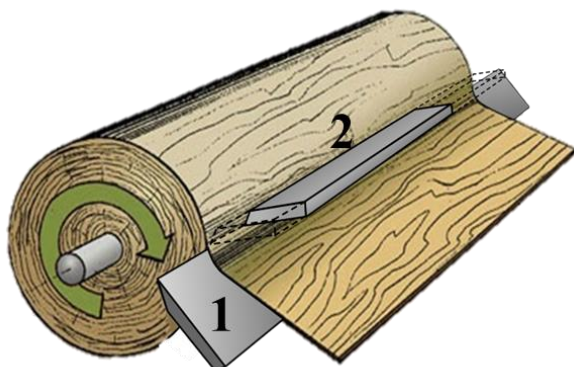


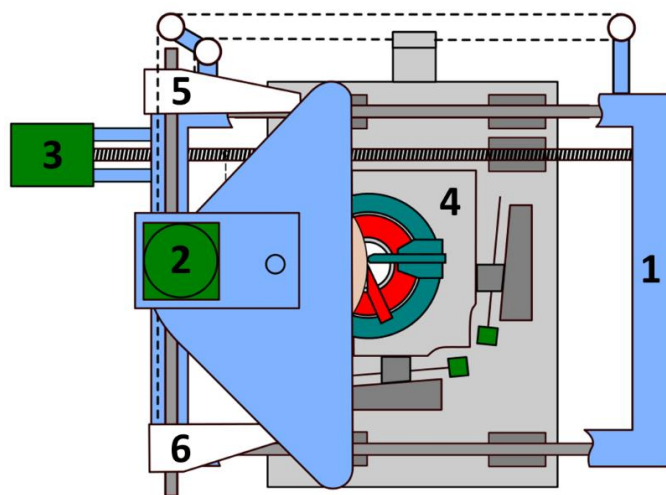
Fig. 1 : Schéma de principe de déroulage présentant les deux outils du déroulage. 1, couteau. 2, barre de pression.



Fig. 2 : Micro-dérouleuse expérimentale, (J-C Butaud, 1996)

Matériel et méthodes

La dérouleuse expérimentale ou micro-dérouleuse (Fig. 3) a été conçue par Jean-Claude Butaud (Butaud J-C 1994) avec l'impulsion de Rémy Marchal en 1996 au LaBoMaP et a servi depuis à réaliser plusieurs études sur les phénomènes de déroulage (Decès-Petit 1996, Denaud 2006).



1.	Bâti machine
2.	Moteur de broche
3.	Moteur d'avance
4.	Chariot porte-outil avec en rouge le porte-couteau et le couteau et en vert le porte-barre et la barre de pression
5.	Support de profilomètre
6.	Support du patin de frottement

Fig. 3 : Architecture de la micro-dérouleuse expérimentale

On retrouve sur la micro-dérouleuse un moteur électrique couplé à un réducteur qui entraîne un disque de bois. À la différence d'une machine de production, celle-ci n'est pas prise entre deux broches motorisées, mais est pressée contre une broche unique à l'aide d'une tige filetée la traversant. Le chariot porte outils est lui piloté par un moteur brushless asservi en fonction de la rotation de la broche et de l'avance par tour spécifiée (correspondant à l'épaisseur de placage souhaitée). Le couteau, dont on peut faire varier l'angle de dépouille est solidaire du chariot porte outil et la barre de pression (voir Fig. 4 pour la correspondance des outils et des réglages) peut être déplacée en rotation ainsi que verticalement et horizontalement par rapport au couteau

pour ajuster la position relative des deux outils. Les différents réglages sont pilotés par l'automate de la machine. Les capacités de cette dernière sont résumées dans le Tab. 1.

Tab. 1 : Capacité de la micro-dérouleuse

	Amplitudes
Longueur du disque	5 à 40mm
Diamètre du disque	25 à 500 mm
Epaisseur des placages	0.1 à 5mm
Vitesse de coupe (vitesse du ruban)	0.03 à 3 m/s
Angle de dépouille	$\pm 40^\circ$
Angle de la barre de pression	$\pm 20^\circ$
Cote verticale	0 à 7mm
Cote horizontale	0 à 8mm

Le porte-barre, le porte-couteau et le patin de frottement sont montés sur des cellules triaxiales piézoélectriques Kistler 9067 qui permettent de mesurer les efforts sur les différents outils ainsi que le coefficient de frottement local de l'acier sur le bois. Un profilomètre Keyence LJ-V7080 se déplace de manière radiale par rapport à la broche de la même manière que le chariot porte outil. Il mesure la distance moyenne ce qui permet le calcul de l'épaisseur coupée.

En parallèle de la mesure des efforts, la zone de coupe est filmée à l'aide d'une caméra pour l'observation de la coupe à environ 1000 image/s. L'acquisition simultanée des efforts et des images de la coupe permet d'observer l'apparition de certains phénomènes pendant la coupe et de mesurer leur impact sur les efforts de coupe.

Enfin, une méthode de correction des efforts mesurés par compensation dynamique (Girardinet al 2010, Scippa et al 2015) du comportement vibratoire de la machine est en train d'être mise en place pour limiter les perturbations dues à la résonance de la machine entre 538 et 576 Hz (Denaud 2006) interférant avec les efforts générés par la fissuration à certaines vitesses de coupe. Cette méthode a déjà été utilisée par pour l'usinage du bois en coupe orthogonale sur des platines de mesure Kistler.

Le peuplier ayant un des taux d'humidité très important (100% dans l'aubier et jusqu'à 250% dans le faux-cœur (Heim 2023), cette essence a été choisie afin de caractériser l'effet de la longueur sur les efforts mesurées (hypothèses d'une éjection de l'eau favorisée par cette faible longueur en comparaison des longueurs déroulées sur des dérouleuses industrielles). Les réglages géométriques ne sont pas l'objet de cette étude aussi, un jeu unique de réglages cohérent avec les usages du laboratoire a été défini (Curti 2018) pour tous les essais (Fig. 4). La longueur des disques déroulés (15, 25, 35 mm) s'échelonne sur l'amplitude acceptable par la machine (Tab. 1). 4 rondelles par longueur ont été déroulées entre 120 et 110mm de rayon. Le coincement de particules de bois et la rupture d'une rondelle ont empêchés le bon déroulement de 4 essais. Les résultats correspondant à ces rondelles ne sont donc pas présentés.

Les efforts sont mesurés dans un repère horizontal-vertical (H, V sur la Fig. 4) sur le couteau et la barre de pression. Ils sont nommés respectivement : Hcouteau, Vcouteau, Hbarre et Vbarre et représentent l'effort appliqué par l'outil sur le bois. Seuls les efforts sur la barre de pression sont considérés ici.

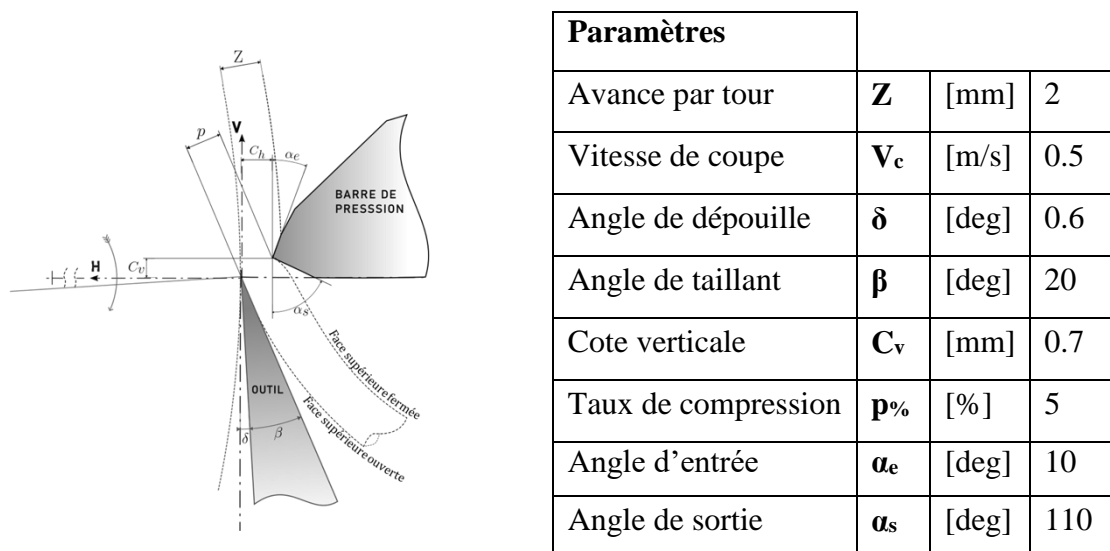


Fig. 4 : Géométries des outils du déroulage et paramètres géométriques pour la campagne

Résultats et conclusions

Les résultats de la mesure des efforts horizontaux sont présentés en Fig. 5. Il apparaît que dans la gamme testée, la longueur n'a pas d'influence significative sur l'effort linéique horizontal sur la barre de pression. Aucune influence n'est visible non plus sur les efforts verticaux sur la barre de pression.

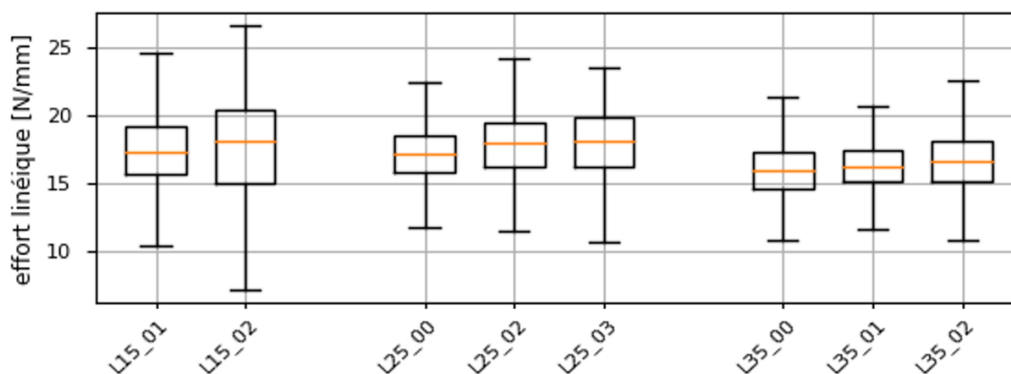


Fig. 5 : Boxplots de l'effort linéique pour les trois séries de largeurs

Ces essais devront être complétés par la mesure des efforts pour des disques de bois totalement saturés en eau par un trempage prolongé. Ceci déterminera si la teneur en eau libre à une influence sur les efforts dans la gamme de longueur déroulée sur la micro-dérouleuse.

Remerciements

Ces travaux sont soutenus financièrement par l'ADEME au travers du projet Feuillus CHOC porté par le FCBA.

Références

Butaud JC (1994) Conception d'une dérouleuse instrumentée, Mémoire de diplôme ingénieur CNAM, CNAM, Cluny (FR), 76 p.

Curti R (2018) Analyse, modélisation et simulation de la coupe orthogonale du bois vert en vue de son application au fraisage par canter, Thèse de doctorat, ENSAM de Cluny, Cluny (FR), p. 68-73.

Decès-Petit C (1996) Etude des phases transitoires au cours du déroulage du bois, Thèse de doctorat, ENSAM de Cluny, Cluny (FR), 122 p.

Denaud L (2006) Analyses vibratoires et acoustiques du déroulage, Thèse de doctorat, ENSAM de Cluny, Cluny (FR), p. 117.

Girardin F, Remond D, Rigal JF (2010) High Frequency Correction of Dynamometer for Cutting Force Observation in Milling, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 132 (3) : 031002, <https://doi.org/10.1115/1.4001538>.

Scippa A, Sallese L, Grossi N, Campatelli G (2015) Improved Dynamic Compensation for Accurate Cutting Force Measurements in Milling Applications, *Mechanical Systems and Signal Processing* 54-55, 314-24. <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2014.08.019>.