

Détermination des paramètres géométriques de coupe en déroulage pour 5 essences de bois feuillus français

CURIAL Hugo, DENAUD Louis, VIGUIER Joffrey, MARCON Bertrand
COTTIN Fabri

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

Mots clefs : bois feuillus, paramètres de déroulage, placage

Contexte et objectif

La forêt occupe une place centrale dans la stratégie bas-carbone, à la fois comme puits de carbone et comme source de matériaux à faible impact notamment pour le secteur de la construction. La majorité des bois d'œuvre utilisés en France sont des bois résineux (74 %, FCBA 2023) avec 100% de la ressource disponible exploitée. Or la forêt française est composée majoritairement de feuillus (67 %, IGN 2023). L'inadéquation entre la ressource disponible et celle exploitée participe à creuser le déficit de la balance commerciale française du secteur forêt-bois qui doit aussi faire face au changement climatique et à l'augmentation de la mortalité forestière particulièrement de certains résineux. La diversification des essences transformées est un des axes envisagés pour améliorer la résilience de la filière ainsi que les ressources disponibles.

Le projet Ademe « Feuillus CHOC », piloté par le FCBA, vise à accroître la part des feuillus dans la construction. Cinq essences peu exploitées : charme, chêne rouge d'Amérique, chêne pubescent, érable sycomore et robinier sont étudiées afin d'évaluer leur potentiel. Ces travaux portent sur l'étude du déroulage de ces 5 essences.

Le procédé de déroulage permet la fabrication de placages (feuille de bois issue de la coupe) ensuite utilisés pour la fabrication de panneaux tel que le contreplaqué et le LVL (laminated veneer lumber ou lamibois) et d'emballage léger, ainsi que pour l'ameublement. C'est un procédé de première transformation du bois au cours duquel un billon de bois à l'état vert (souvent chauffé) est entraîné en rotation devant un couteau. 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 souhaitée. Ces mouvements combinés produisent un ruban continu qui est ensuite coupé en feuille, les placages.

L'objectif industriel de cette thèse vise à caractériser l'aptitude au déroulage et les qualités des produits du déroulage (placages et produits collés) pour des essences feuillues dites secondaires pour lesquelles 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.

La particularité du procédé de déroulage réside dans le fait que le copeau obtenu lors de la coupe est le produit final. Il est donc primordial de maximiser l'intégrité de ce copeau (placage) et des critères de qualité lui sont attribués, dont les principaux sont : la régularité de l'épaisseur, l'état de surface, la fissuration et les déformations suite au séchage.

Les principaux paramètres qui varient en production en fonction du bois sont : le temps et la température de préchauffe (étuvage), l'angle de dépouille du couteau et l'enfoncement de la barre de pression dans le bois (Fig. 1). L'étuvage permet de relâcher les contraintes internes des billons et d'abaisser la rigidité du matériau avant déroulage Beauchêne (1996) et ainsi de diminuer la fissuration et l'angle de dépouille assure l'équilibre du couteau en matière. Dans un cas extrême, un angle de dépouille trop faible conduit à une coupe discontinue du bois qui tendra à passer sous l'arrête de coupe, dans le cas inverse, de fortes vibrations apparaissent et l'état de surface du placage est fortement dégradé Cet angle est souvent compris entre -1 et 3° et il varie au cours du déroulage avec la diminution du rayon. La barre de pression permet quant à elle, de limiter la fissuration qui apparaît sur la face ouverte du placage (ruptures sur la face ouverte représentées en rouge sur la Fig. 1) par l'application d'un champ de compression antagoniste à celui créé par la coupe. Denaud et al (2019) montrent entre autres, les influences combinées de la température sur la fissuration. Une pression trop forte n'est cependant pas souhaitable, car elle augmente fortement le couple nécessaire à l'entraînement du billon et peut entraîner le patinage des broches dans le cas d'une machine à entraînement axial. Le taux de compression appliqué au bois est défini géométriquement par l'Eq. 2. Il est possible de changer la position du champ de pression appliqué en augmentant la valeur de la cote verticale C_v (voir Fig. 1). L'Eq 2. qui lui est associée est une règle métier qui peut parfois légèrement varier.

Chaque essence nécessite la détermination de ces principaux paramètres. Bien que l'expérience de l'opérateur ait un rôle très important pour adapter finement les réglages de la machine à la ressource ainsi qu'à l'usure des outils au cours de la production, il est préalablement nécessaire de trouver un jeu de paramètres type pour chaque essence et chaque épaisseur de produit.

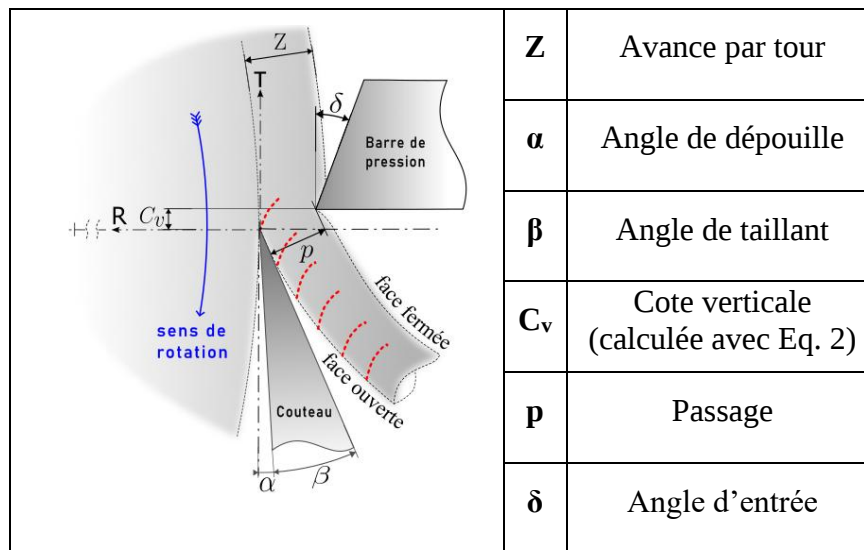


Fig. 1 : Principaux réglages géométriques des outils de déroulage

$$t_{\%} = 100 \times \left(1 - \frac{p}{Z}\right) \quad \text{Eq. 1}$$

$$c_v = 0.3 \times Z \quad \text{Eq. 2}$$

Ces travaux visent donc à proposer et à appliquer une méthode systématique de détermination des paramètres de coupe en déroulage pour les 5 essences de l'étude et pour deux épaisseurs de placage souvent utilisées dans l'industrie.

Matériel et méthode :

La méthode proposée pour la détermination des paramètres de déroulage se découpe en deux temps. Une première campagne d'essai visant à approcher les paramètres est réalisée sur une micro-dérouleuse (μ -dérouleuse) expérimentale multi-instrumentée (Butaud et al 1995) permettant de dérouler des sections de tronc de 500mm de diamètre et de 20 à 40 mm de long. L'économie de matière réalisée permet ainsi de tester simplement une grande quantité de modalités sur une ressource dont la variabilité est plutôt réduite car les disques proviennent d'un faible nombre de billons différents. En revanche une hypothèse assez forte est nécessaire : négliger les effets de bords liés à la faible épaisseur du disque comparativement à un billon. Les paramètres initiaux obtenus sur la μ -dérouleuse sont ensuite utilisés sur la dérouleuse industrielle. Les placages et les efforts de coupe obtenus sont alors évalués afin d'effectuer des changements aux paramètres initiaux si nécessaire. Cela permet aussi de comparer les résultats obtenus avec ces deux machines aux architectures très différentes pour identifier l'influence de celles-ci sur les phénomènes de coupe observés.

Prédétermination des paramètres de coupe en μ -déroulage

Modalités testées

Deux épaisseurs et trois taux de pression (Eq. 1) correspondant à trois réglages de passage sont définis. Pour chaque couple épaisseur/taux de pression (appelée modalité), 4 répétitions sont réalisées afin de déterminer l'angle de dépouille le plus adapté.

Hypothèse : l'angle de dépouille le plus adapté est l'angle le plus faible assurant des efforts radiaux sur le couteau constant et négatifs correspondant à une légère plongée du couteau en matière. La μ -dérouleuse ne permettant pas la variation de l'angle de dépouille pendant le déroulage, ceux-ci sont donc réalisés à angle constant.

L'observation des efforts conduit donc l'opérateur à diminuer l'angle de dépouille jusqu'à créer une instabilité dans les efforts radiaux ou à augmenter cet angle si les efforts radiaux sont déjà instables. La Fig. 5 illustre les différents cas rencontrés.

Les trois premières répétitions permettent ainsi de repérer l'angle défini comme idéal auquel la 4^{ème} répétition est effectuée en changeant les réglages de caméra comme détaillé dans le Tab. 1.

Mesures réalisées et paramètres de coupe fixés pour le μ -déroulage

Les différentes mesures réalisées pendant un essai de μ -déroulage sont illustrés sur la Fig. 2. Ces travaux se concentrent sur la mesure des efforts obtenus à l'aide des cellules d'effort piézoélectriques intégrées dans la machine. Celles-ci permettent la mesure des efforts tangentiels et radiaux, illustrés par les vecteurs bleus et rouges sur la Fig. 3. La configuration en coupe orthogonale amène à négliger les efforts hors plan.

A la mesure des efforts, s'ajoute l'acquisition d'image de la zone de coupe (Fig 4). Celle-ci permet d'effectuer des mesures in-situ sur le placage (épaisseur notamment) lors du déroulage. Les détails relatifs à l'acquisition des efforts et des images ainsi que les paramètres de déroulage sont résumés dans le Tab. 1. Pour chaque couple épaisseur/taux de pression, 4 répétitions (Rep) sont effectuées pour lesquels les réglages changent entre répétitions. Le réglage à 250 images/s vise à obtenir des mesures in-situ tout au long du déroulage (sur épaisseur, longueur de contact, profil de surface) alors que le réglage à 1000 image/s permet la visualisation de la fissuration sur un instant court lorsque le déroulage est stabilisé.

Préparations de disques et étuvage

Les disques de μ -déroutage sont obtenus en tronçonnant longitudinalement des billons préalablement mis au rond. Ces derniers sont ensuite surfacés de part et d'autre pour obtenir deux faces planes et parallèles entre elles. Chaque disque est ensuite percé en son centre géométrique pour pouvoir être monté la broche de sur la machine. Ils sont ensuite empilés axialement sur une tige filetée aux extrémités de laquelle sont placés deux disques de plastique. Le tout maintenu sous pression à l'aide d'écrou. Ce montage permet ainsi limiter la prise d'humidité longitudinalement dans le bois lors de la phase de chauffage réalisée par immersion dans une eau à 55 °C pendant 48⁺⁸₋₀ h.

Mesure de la fissuration et du profil de surface en μ -déroutage

Afin d'évaluer la qualité des bandelettes de placages produits en μ -déroutage, la profondeur et la fréquence des fissures sont mesurées à l'aide du SMOF (Système de Mesure Optique des Fissures), décrit dans Palubicki et al (2010). Ces mesures permettent d'évaluer et de comparer à l'aide de critères chiffrés la qualité de placages verts. Cinq placages par déroulage sont prélevés pour être mesurés.

Tab. 1 : paramètres relatifs à l'acquisition des signaux d'efforts et des images en μ -déroutage

Efforts		
Fréquences d'acquisition	30	kHz
Vidéo		
Fréquences d'acquisition	Rep 1,2,3 : 250 Rep 4 : 1200	ips
Nombre d'images	8000	
Résolution	51.5	px/mm
ROI	1376×456	px ²
	26.7×8.84	mm ²
Temps d'exposition	250	µs
Paramètres de déroulage		
Vitesse de coupe	500	mm/s
Cv	0.3*Z	mm
Rayon finale de déroulage	40	mm
δ	10	°



Fig. 2 : μ -dérouteuse en fonctionnement

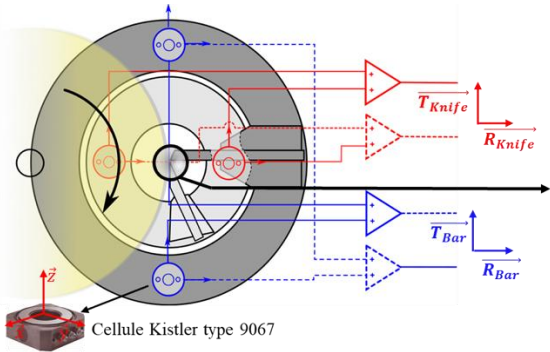


Fig. 3 : Mesure des efforts en μ -déroutage via cellules piézoélectriques triaxiales

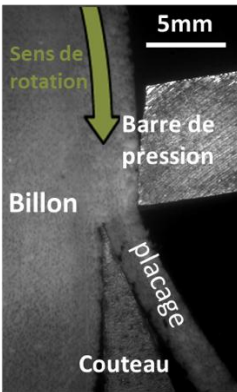


Fig 4 : observation de la zone de coupe

Application des paramètres de coupe sur la dérouleuse industrielle

Une fois les paramètres initiaux de déroulage déterminés, ceux-ci sont appliqués sur la dérouleuse industrielle. Cette machine est équipée, comme la μ -dérouleuse de cellules d'effort permettant de mesurer les efforts sur les outils. Seulement la vitesse de coupe et l'évolution de l'angle de dépouille en fonction du rayon varient par rapport au μ -déroulage. Un taux de pression est choisi pour chaque épaisseur et chaque essence en fonction des observations sur les placages obtenus en μ -déroulage.

Paramètres de déroulages fixés

La conduite de la dérouleuse impose une entrée en matière à faible vitesse puis la vitesse consigne est fixée à 1000 mm/s qui est plus proche des vitesses de déroulage utilisées dans l'industrie. Une variation d'angle de dépouille de l'ordre de -2 deg par rapport à la consigne initiale est effectuée lors du premier déroulage.

Ajustement des paramètres entre les déroulages

Des ajustements sur le taux de pression et la variation d'angle de dépouille sont effectués après le premier déroulage en fonction des observations faites sur les placages obtenus ainsi que sur les efforts mesurés en déroulage. Les conseils d'un opérateur expérimenté sont alors absolument nécessaires.

Mesure de la fissuration et du profil de surface en déroulage

5 bandelettes de placages par déroulage sont découpées à l'aide d'une découpeuse laser pour être mesurées à leur tour au SMOF. Cette mesure commune de la fissuration entre les deux machines de déroulage permet de vérifier si des réglages ou des efforts d'usinages similaires mènent à des qualités similaires pour les produits obtenus.

Résultats et discussions

Un exemple de détermination de l'angle de dépouille est représenté Fig. 5. Trois déroulages successifs à trois angles de dépouilles différents sont réalisés sur des disques de chêne pubescent déroulés en 3.1 mm d'épaisseur à 15 % de pression. Les efforts radiaux sur les couteaux sont représentés filtrés avec un filtre Butter Worth passe bas d'ordre 3 à une fréquence de coupure de 5 Hz pour en dégager la valeur moyenne.

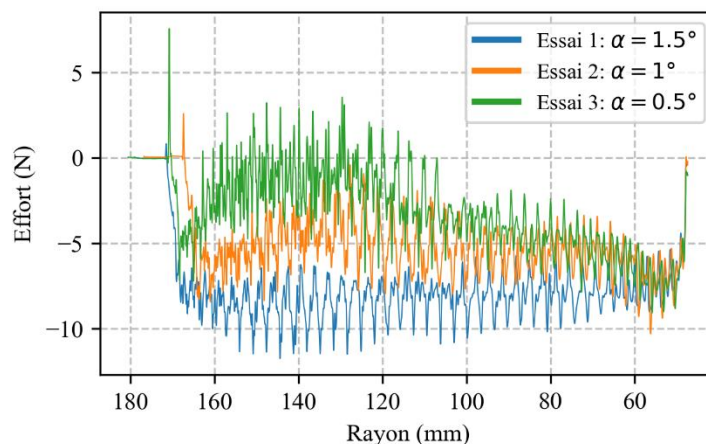


Fig. 5 : Effort radial en fonction du rayon pour 3 déroulages à 3 angles de dépouille différents

L'essai à $\alpha=1.5^\circ$ est le premier essai réalisé. Les efforts radiaux sont stables et constants tout au long du déroulage ce qui est recherché. L'objectif étant de trouver le plus petit angle assurant cette stabilité, l'essai n°2 est réalisé à $\alpha=1^\circ$. Avec ce réglage, une légère remontée des efforts

est observable puis ceux-ci finissent par se stabiliser. Afin de confirmer cette tendance, un dernier essai est réalisé pour $\alpha=0.5^\circ$. La faible remontée des efforts précédemment visible est ici beaucoup plus marquée. La valeur de dépouille choisie dans cette configuration est donc $\alpha=1,5$ deg, celle-ci étant la plus petite valeur testée pour laquelle les efforts radiaux sont stables.

Le traitement des données de cette campagne est encore en cours. La comparaison des résultats obtenues sur les deux machines doit être effectué afin de valider si la méthode de prédétermination des paramètres en μ -déroulage est fiable. Les résultats obtenus montrent pour le moment que les réglages d'angle de dépouille obtenus en μ -déroulage conviennent pour la machine industrielle. En revanche, des différences de fissuration ont été observés principalement sur le charme, avec la nécessité d'augmenter la compression appliquée sur la machine industrielle pour obtenir un état de surface et une fissuration similaire avec les deux dérouleuses. Ces résultats préliminaires devront être éclairés par la comparaison des efforts appliqués sur les outils des deux machines à des taux de pression supposés similaires.

Remerciements

Ces travaux font partie du projet Feuillus CHOC « Valorisation des feuillus en construction par une approche holistique, collaborative et entrepreneuriale » (2023-2027). L'ADEME et l'Union Européenne sont remerciées pour leur support financier (Grant N°2282D0474-A).

Références

Beauchêne J., (1996) – Evolution du comportement mécanique du bois vert avec la température. Application à l'étude du déroulage de quelques bois guyanais. Thèse de Docteur en Sciences du Bois de l'ENGREF (Kourou-Guyane).

Butaud J-C, Decès-Petit C, Marchal R (1995) An Experimental Device for the Study of Wood Cutting Mechanisms : the Microlathe, 12th International Wood Machining Seminar, Kyoto, pp 479–485.

Denaud L, Marcon B, Rohumaa A, Purba C, Viguiet J, Letourneau R, Marchal R (2019) Influence of Peeling Process Parameters on Veneer Lathe Check Properties, 12th International Wood Machining Seminar, Corvallis, Oregon, USA, p 10.

FCBA (2023) Memento {FCBA} 2023, <https://www.fcba.fr/ressources/memento-2023/>.

IGN (2023) Mémento - Edition 2023 - Inventaire Forestier National, IGN, https://inventaire-forestier.ign.fr/IMG/pdf/memento_2023.pdf.

Pałubicki B, Marchal R, Butaud J-C, Denaud L, Bléron L, Collet R, Kowaluk G (2010) A Method of Lathe Checks Measurement; SMOF device and its software, European Journal of Wood and Wood Products 68(2):151–159.

.