

Application de la méthode des EF pour la modélisation du déroulage du bois vert

YAICH Mariem¹, VIGUIER Joffrey¹, DENAUD Louis¹, HAKIM Said Youssouf¹,
COTTIN Fabrice¹

¹Arts et Metiers Institute of Technology, LABOMAP, HESAM Université,
F-71250 Cluny, France
[Mariem.Yaich@ensam.eu](mailto:Mariam.Yaich@ensam.eu)

Mots clés : Bois ; Déroulage ; Modélisation ; Eléments Finis ; Endommagement

Contexte et objectifs

Le bois, contrairement aux métaux, est un matériau complexe par son hétérogénéité naturelle. Les premiers niveaux de variabilité sont ceux de l'inter-essence et de l'intra-essence, qui reflètent les différences en termes de propriétés physiques et mécaniques entre les essences et au sein d'une même espèce d'arbre. À cela se rajoutent les spécificités locales du bois liées à son développement telles que les nœuds, les cernes de croissance, le bois de réaction... qui agissent sur l'efficacité de l'usinage par déroulage du bois vert. Ce procédé, bien qu'étant une technique ancienne, s'inscrit parfaitement dans le contexte actuel de la transition écologique et de réduction d'émission du CO₂. Ce procédé a évolué au fil du temps en intégrant de nouvelles essences, parfois issues de bois de qualité secondaire afin d'optimiser son utilisation et le valoriser. Ce procédé de première transformation, dont le produit final est le copeau, a fait l'objet de nombreuses études expérimentales. En revanche, outre la variabilité intrinsèque du bois à différentes échelles, il s'ajoute à cela la complexité du procédé en lui-même et les interactions entre ses différents paramètres (barre de pression, géométrie et orientation du couteau...), ce qui rend l'optimisation du procédé de déroulage, basée uniquement sur une étude expérimentale, un véritable défi, en raison du nombre exhaustif des essais à réaliser pour toutes les essences de bois. Pour cela, la mise en place d'une approche numérique, bien qu'approximative, s'avère avantageuse, car elle permet de découpler l'effet des différents paramètres et de simplifier le procédé.

Dans une optique de réduction des coûts, d'anticipation du comportement du bois lors de la coupe, de maîtrise de sa transformation et de compréhension des phénomènes locaux accompagnant la formation du placage, notamment sa fissuration et la variation locale de son épaisseur, une nouvelle méthode par EF est proposée dans cette étude. Dans ce contexte, une sous-routine a été développée sur Fortran dans le but de prendre en considération l'anisotropie du bois, avant et après son endommagement. Une étude préliminaire est mise en place pour sa validation, dans le cas des modélisations 2D et 3D à faibles vitesses de déformations et pour différentes essences de bois. Elle est complétée par la simulation du procédé du déroulage du hêtre, un bois relativement homogène. Le modèle numérique de coupe est ensuite validé sur la base d'une campagne expérimentale du déroulage effectuée avec la ligne multi-instrumentée du LaBoMaP.

Matériel et Méthode

Implémentation numérique

Dans une optique de simplification, nous négligeons, dans cette étude, l'effet des cernes de croissance, des nœuds, de l'orientation locale des fibres... sur le comportement du matériau

bois. Nous menons cette étude en supposant qu'il s'agit d'un matériau homogène orthotrope, dont la déformation est principalement dépendante du type de chargement et de sa direction.

Pour le comportement en endommagement du matériau bois, le critère de Hashin (1980), souvent utilisé pour prédire l'endommagement dans des matériaux composites stratifiés, est retenu dans cette étude. Il a la particularité de prendre en considération la rupture différée dans le matériau étudié (selon la direction parallèle aux fibres ou celle transverse) sous l'effet d'une sollicitation en traction ou compression. Ce critère est couplé avec une loi linéaire d'évolution d'endommagement. Ce choix est justifié par la nécessité de prédire les deux types de rupture présents dans le bois : (1) la rupture fragile au niveau des fibres, modélisé par la suppression de l'EF une fois l'endommagement initié ; et (2) la rupture ductile de la partie non fibreuse, obtenue principalement dans le cas d'une sollicitation perpendiculaire aux fibres et générant une diminution progressive des propriétés mécaniques du matériau jusqu'à son endommagement final.

Bien que ce modèle soit implémenté dans Abaqus, sa limitation à des conditions particulières de chargements, ne correspondant pas à ceux du procédé de déroulage, et à des modélisations en 2D, explique l'intérêt de l'implémentation numérique effectuée dans cette étude. Les principales parties de la VUMAT développée dans cette étude sont détaillées par la Fig. 1. Du fait que la formation de placage est un procédé assez complexe, dont des niveaux importants de sollicitations viennent s'additionner aux problèmes liés à la forte variabilité du matériau, la validation de la VUMAT est effectuée, dans un premier temps, sur des essais mécaniques unidirectionnels (de type traction, compression et flexion 3 points) et à faibles vitesses de déformation. Elle est suivie, dans un deuxième temps, par la modélisation du déroulage.

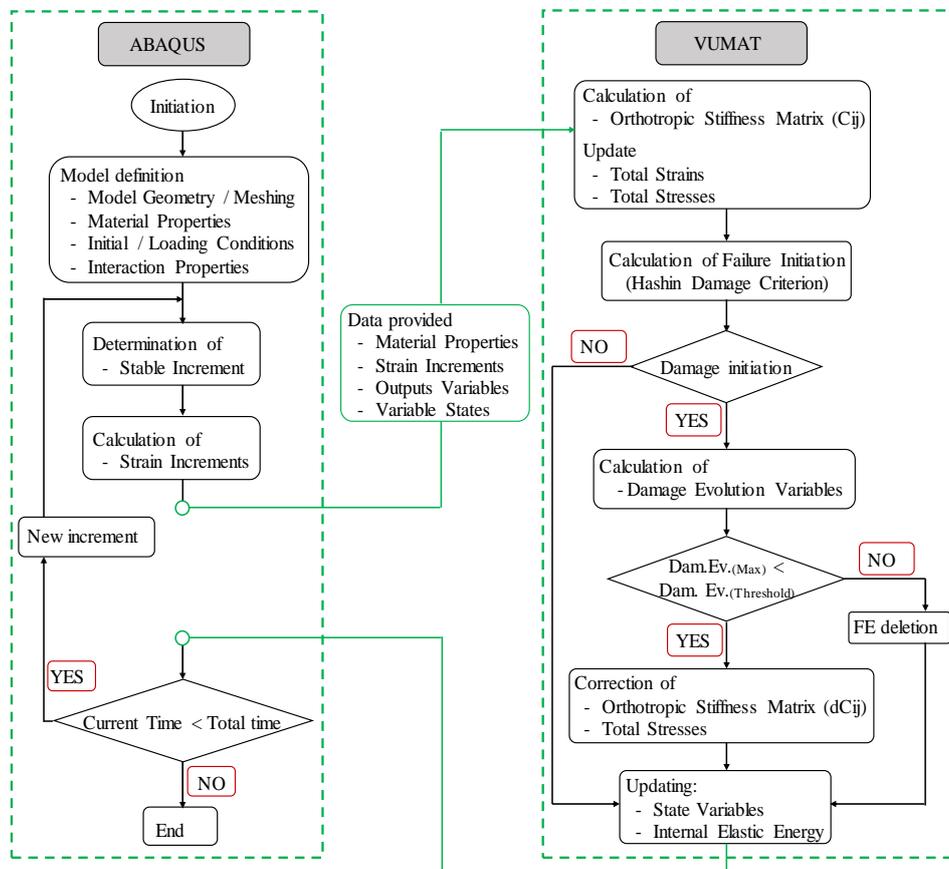


Fig. 1 : Organigramme de la méthode utilisée pour l'implémentation du modèle d'endommagement dans Abaqus/Explicit

Modèles numériques

Des modélisations numériques 2D et 3D sont mises en place. La géométrie des éprouvettes étudiées, pour chaque essai mécanique, est illustrée par la Fig. 2. Elles correspondent à celles expérimentales de la littérature (Karagiannis 2016, Wargula, 2021, Khennane 2014), dont les résultats sont utilisés pour vérifier la pertinence des simulations numériques. Les mêmes conditions de chargement sont définies. Plusieurs essences de bois verts (épicéa, pin, hêtre...), dont les propriétés mécaniques sont directement prises de la littérature (Murray 2007, Sandhaas 2019), ont été étudiées.

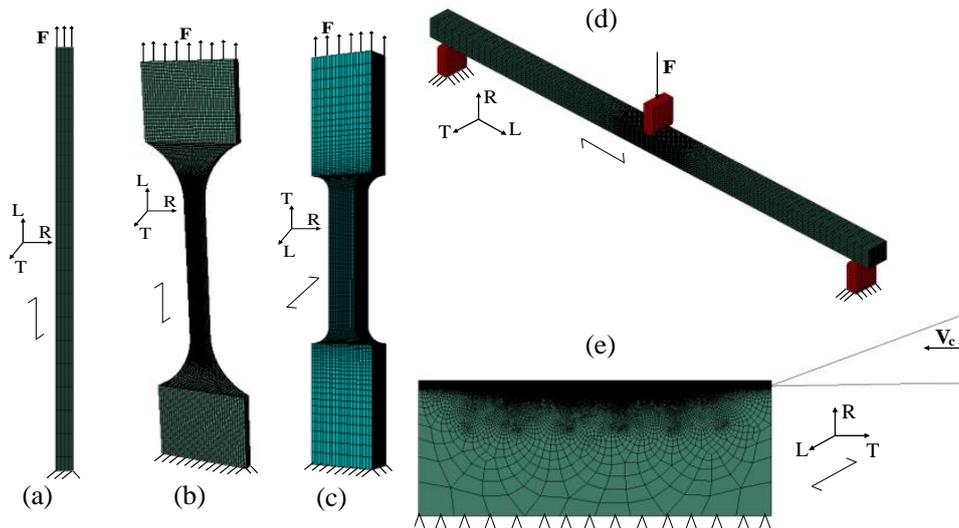


Fig. 2 : Modèles géométriques définis dans le cas de : traction longitudinale (épicéa) (a) 2D et (b) 3D, (c) traction tangentielle 3D (pin), (d) flexion 3 points 3D (épicéa) et (e) coupe orthogonale 2D (hêtre)

La modélisation du procédé du déroulage est réalisée avec un modèle de coupe orthogonale 2D, comme illustré dans la Fig. 2. Une vitesse de coupe de 1.5 m/s est définie au couteau, et aucune barre de pression n'est utilisée. Ce choix est motivé par l'intérêt de diminuer les paramètres agissant sur les résultats numériques, et par suite se focaliser sur la capacité de la VUMAT à reproduire le comportement du bois dans le cas du déroulage, tout en évitant les problèmes de simulations souvent rencontrés suite à une mauvaise gestion des conditions de contact couplées à des chargements fortement dynamiques. Une seule épaisseur de placage de 0.6 mm est modélisée dans cette étude.

Résultats et discussion

Comme illustré par la Fig. 3, différents modes d'endommagement ont été obtenus en fonction de la direction de la sollicitation. En se basant sur les résultats expérimentaux de la littérature, une adéquation en termes de prévision de la zone endommagée et de la propagation des fissures est soulignée. D'autre part, les résultats de la modélisation du procédé du déroulage montrent la formation d'un placage avec peu de variation de son épaisseur. Les efforts modélisés sur le couteau sont également homogènes, témoignant d'une coupe stable. Ces résultats restent cohérents avec les essais de déroulage réalisés avec la dérouleuse du LaBoMaP dont la stabilité de la coupe et la diminution des vibrations dans la machine ont été soulignées pour la condition de coupe étudiée. Quant aux efforts appliqués sur le couteau, l'utilisation de la méthode de suppression des EF endommagés a contribué à une diminution brusque des valeurs, résultant par suite à des écarts avec les résultats expérimentaux.

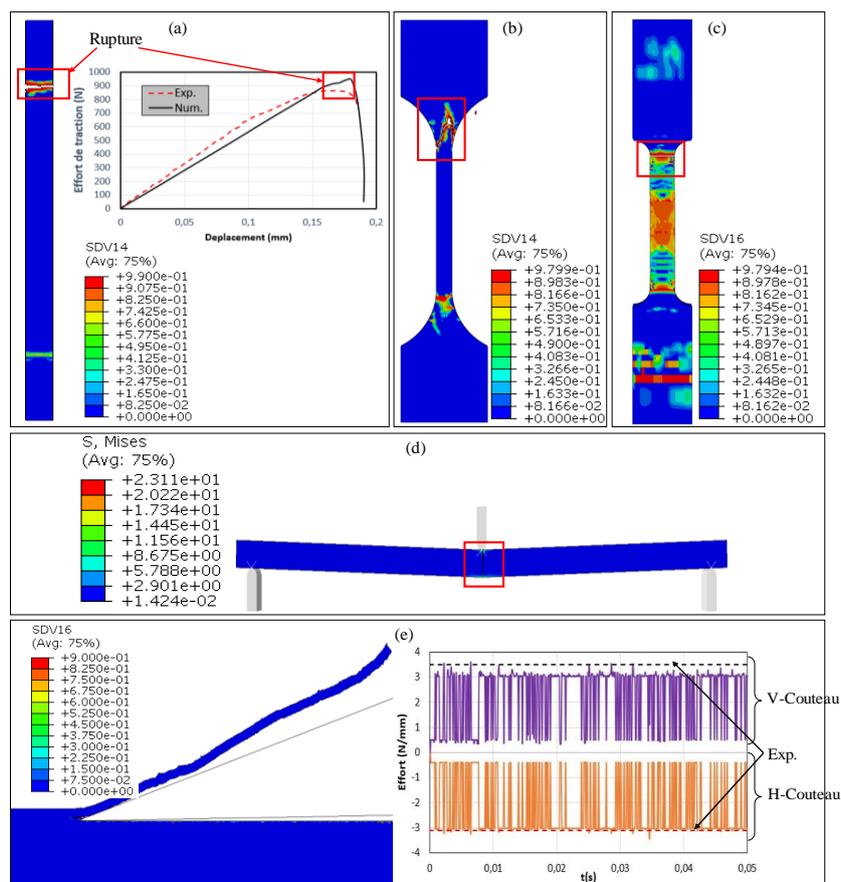


Fig. 3 : Propagation de l'endommagement pour différents types de sollicitation (avec SDV14 et SDV16 sont la variable d'endommagement en traction selon la direction de la fibre et celle transversale, respectivement)

Conclusion et perspectives

Cette étude a permis de mettre en place un premier modèle par EF du procédé de déroulage. La définition du modèle d'endommagement de Hashin dans le cas des conditions de chargements quasi-statiques, comme pour le déroulage avec des chargements combinés et plus dynamiques, a montré des résultats prometteurs. Certes, ces premières modélisations du déroulage sont réalisées sur le hêtre, qui est un bois homogène avec peu de variabilité ; en revanche, des niveaux acceptables de corrélations sont atteints. Cela met en évidence la pertinence des choix effectués, en termes du modèle d'endommagement et des implémentations élaborées. Cette analyse nécessite d'être approfondie afin d'étudier les principaux paramètres agissant sur la qualité du placage et la propagation des fissures.

Remerciements

Cette étude est réalisée dans le cadre du projet JENII (Jumeaux d'Enseignement Numériques, Immersifs et Interactifs) soutenu par l'Agence Nationale de la Recherche (JENII – ANR-21-DMES-0006).

Références

- Hashin Z. (1980) Failure criteria for unidirectional fiber composites. *J. Appl. Mech.*, 47, 329–334.
- Karagiannis V. (2016) Behaviour of hybrid timber-steel beam-to-column connections.

Khennane A.M.K. (2014) Numerical modelling of ductile damage evolution in tensile and bending tests of timber structures. *Mechanics of Materials*, 68, 228-236.

Murray Y. (2007) Manual for LS-DYNA wood material model 143 (No. FHWA-HRT-04-097). United States: Federal Highway Administration.

Sandhaas C.A.S.-W. (2019) Numerical modelling of timber and timber joints: computational aspects. *Wood Science and Technology*, 54, 31-61. doi:<https://doi.org/10.1007/s00226-019-01142-8>

Wargula L.D.W. (2021) Symmetric nature of stress distribution in the elastic-plastic range of pinus L. pine wood samples determined experimentally and using the finite element method (FEM). *Symmetry*, 13, 39.