

Éléments finis pour la modélisation hygromécanique des panneaux de bois.

COLMARS Julien¹, DUREISSEIX David¹, MONTAIGNE Rémi²

¹Univ Lyon, INSA-Lyon, CNRS UMR5259, LaMCoS, F-69621, France

²INSA Lyon, département Génie Mécanique

julien.colmars@insa-lyon.fr

Mots clés : coque ; solide-coque ; multicouches ; gradients hydriques ; panneaux peints ; simulation ; éléments finis.

Contexte

La simulation mécanique des structures à base de panneaux de bois pose quelques difficultés numériques. La prise en compte de l'orthotropie cylindrique du matériau, la présence éventuelle de gradients d'humidité dans l'épaisseur (due à des conditions aux limites asymétriques - panneaux peints, panneaux d'isolation, etc.-), et les couplages hygromécaniques sont à l'origine de comportements spécifiques au bois. Lorsqu'il est utilisé sous forme de panneaux (minces ou épais), l'argument géométrique devrait nous pousser à utiliser des modèles de coques (élément finis par exemple).

Or les particularités du matériau bois, notamment la rotation du repère matériel (liée à la croissance du bois dans l'arbre) couplée au retrait-gonflement, imposent des déformations que l'on observe difficilement dans la plupart des coques, qu'il s'agisse de coques orthotropes, multicouches, ou même multimatériaux. Pour ces raisons, le choix d'éléments volumiques paraîtra en général plus raisonnable aux utilisatrices et utilisateurs d'éléments finis. Faut-il pour autant abandonner l'utilisation d'éléments de coques pour ces applications ?

Dans cette contribution nous proposons de revenir sur quelques problèmes (et solutions associées) liés à l'utilisation d'éléments de coque pour la modélisation de panneaux de bois. Nous présenterons deux méthodes : d'une part l'utilisation d'un élément *discrete shear triangle* (DST) adapté au cas d'un panneau de bois, et d'autre part l'utilisation d'un élément de solide-coque (SB7γ19). Ces deux éléments seront utilisés pour discuter le cas (d'apparence assez banal) d'une planche durant un séchage...

Les éléments de coque et la cinématique du bois

Le retrait-gonflement du bois dans un repère orthotrope cylindrique engendre des transformations que l'on ne rencontre pas dans les autres matériaux orthotropes. Sur la Fig. 1a issue de Colmar (2011), nous montrons les transformations au séchage de planches prélevées à différents endroits du plan transverse (dosse, quartier, faux-quartier). La Fig. 1b montre que le retrait-gonflement (à humidité homogène) engendre du cisaillement transverse non négligeable dans la planche. Les modèles de coques présentés dans la suite prennent en considération ce cisaillement transverse.

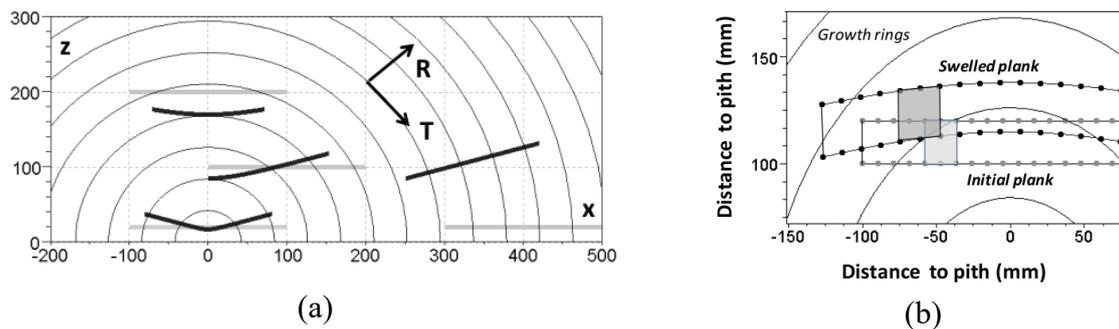


Fig. 1 : D'après Colmar (2011) (a) retrait de différentes planches après séchage suivant leur prélèvement dans la grume, solution analytique en déplacements lors d'un séchage correspondant à une variation du taux d'humidité de 10 %, avec des coefficients de retrait radial et tangentiel de 0.15 et 0.3 %/% respectivement ; planches initialement plates (gris) et déformées amplifiées 10 fois (noir). (b) détail du comportement dans l'épaisseur sur une dosse.

Élément de Mindlin pour les panneaux de bois

Des éléments de Mindlin permettant d'avoir des gradients d'humidité dans l'épaisseur ont été développés dans Colmar (2011). Ces éléments de coque avec cisaillement transverse permettent de simuler la flèche d'une dosse lors d'une variation d'humidité homogène, et de retomber sur la solution analytique présentée précédemment.

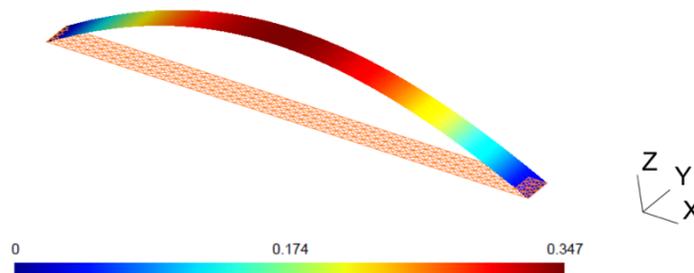


Fig. 2 : Simulation de la flèche (en mm) d'une dosse par un élément de coque de Mindlin. Les dimensions de la planche sont de (100 mm, 5 mm, épaisseur 20mm).

Élément de solide-coque

De nombreux travaux sur les solides-coques ont été proposés ces dernières années. A la suite de Bassa et al. (2012), Xiong et al. (2018) ont proposé un élément de solide-coque intéressant pour notre application : le SB7 γ 19 est un élément prismatique à 7 nœuds (6 nœuds sommets et 1 nœud central) et 19 degrés de libertés (18 d.d.l de déplacements aux nœuds et 1 d.d.l supplémentaire sur le nœud central) (voir Fig. 3). Le rôle du nœud central et du d.d.l associé est de fournir un déplacement quadratique dans l'épaisseur, et donc une variation de contrainte linéaire dans l'épaisseur, permettant de sortir de l'hypothèse des contraintes planes. Un autre point intéressant de cet élément est qu'il dispose de plusieurs points d'intégration dans l'épaisseur ; dans nos travaux ces points d'intégration sont utilisés pour calculer le repère matériel local et pour distribuer des gradients d'humidité dans l'épaisseur.

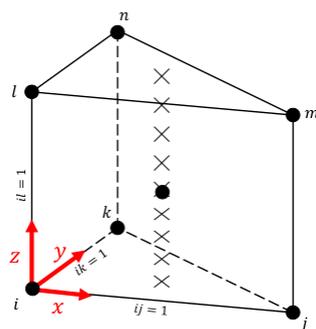


Fig. 3 : géométrie de l'élément SB7γ19 (nœuds et points d'intégration)

L'élément SB7γ19, validé chez Xiong et al. (2018) pour des matériaux élastiques homogènes, a été étendu à des applications sur le matériau bois. L'implémentation actuelle sous MatLab permet désormais : la prise en compte d'un matériau hétérogène avec la rotation du repère local (calculé pour une position du cœur de l'arbre) ; la prise en compte d'un chargement hygroélastique (sur le modèle d'une loi thermoélastique). La Fig. 4 montre une première simulation d'un cas de retrait-gonflement pour une planche prélevée sur dosse.

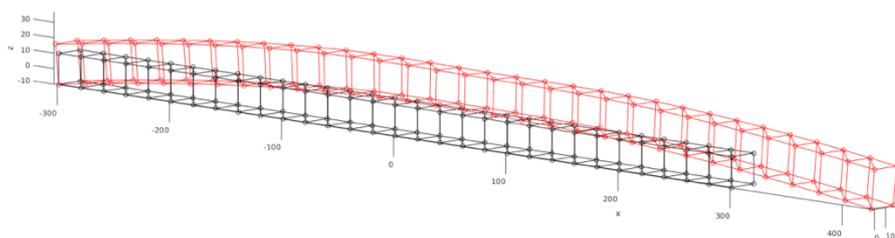


Fig. 4 : calcul de flèche sur dosse par un élément de solide-coque.

Conclusion

Les éléments de coque et de solide-coque peuvent être adaptés aux calculs de structure utilisant des panneaux de bois à condition d'implémenter (comme dans les éléments volumiques) la rotation locale du repère matériel et la prise en compte de gradients d'humidité dans l'épaisseur. Ces éléments doivent être nécessairement compatibles avec des cinématiques induisant des cisaillements transverses importants.

La présente communication se focalisera les performances comparées des éléments de coque et de solide coque pour ce type d'application.

Références

Colmars, J. (2011) Hygromécanique du matériau bois appliquée à la conservation du patrimoine culturel. Thèse de l'Université Montpellier II, HAL Id: tel-00765961, <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00765961>

Xiong H., Guzman Maldonado E., Hamila N., Boisse P. (2018) A prismatic solid-shell finite element based on a DKT approach with efficient calculation of through the thickness deformation, Finite Elements in Analysis and Design, 151 18–33, <https://doi.org/10.1016/j.finel.2018.08.003>.

Bassa B., Sabourin F., Brune M. (2012) A new nine-node solid-shell finite element using complete 3D constitutive laws, *Int. J. Numer. Meth. Eng.* 92 (7) 589–636.
<https://doi.org/10.1002/nme.4318>