
**DÉVELOPPEMENT DE TRAITEMENTS À FAIBLE IMPACT ENVIRONNEMENTAL
DESTINÉS A LA PROTECTION DU BOIS ISSU DE PRATIQUES SYLVICOLES
À COURTES ROTATIONS**

Thèse de **Resa MARTHA**¹

Analysée par **Bernard THIBAUT**²

Directeur de thèse en France : Philippe **GERARDIN**, Professeur, Université de Lorraine, Nancy

Directeur de thèse en Indonésie : Wayan **DARMAWAN**, Professeur, IPB University, Bogor

~ ~ ~

Il s'agit d'une thèse en cotutelle France - Indonésie, en partie financée par le programme de Bourse France Excellence Eiffel, associant l'Université de Lorraine à Nancy et l'Institut agronomique de Bogor (IPB University). Resa MARTHA est préalablement diplômée de l'Institut agronomique de Bogor (« *Bachelor of Science* » et « *Master of Science* ») dans la discipline « Produits forestiers ». Le manuscrit (214 pages) est écrit en anglais avec un résumé long et une conclusion générale en français (six pages au total). Il se présente sous la forme de six publications pour des revues scientifiques (trois étaient déjà publiées au moment de la soutenance), encadrées par un long chapitre de bibliographie (trente pages) et un petit chapitre de discussion finale (cinq pages).

La thématique concerne l'utilisation du teck issu de plantations à courtes révolutions (huit ans et quinze ans). Les conditions de production des bois de teck sont essentiellement décrites par cette durée entre coupes, sans indication particulière sur la densité de plantations, la géométrie des arbres, les règles de sélection et le nombre d'arbres utilisés. L'idée de s'intéresser à la production de teck à courtes révolutions s'explique par le besoin de répondre à une forte demande locale et mondiale en bois de cette espèce. Celle-ci est en effet considérée comme précieuse, en raison notamment de sa bonne résistance aux agents biologiques de dégradation (champignons et termites), des faibles variations dimensionnelles hygroscopiques (retrait et gonflement) et de la perception (esthétique) des produits finaux. Ces qualités recherchées ne concernent que le bois de cœur (duramen) du teck et la proportion d'aubier non désiré est souvent bien plus grande dans les jeunes arbres. C'est une problématique que l'on rencontre aussi en foresterie tempérée pour les bois dits précieux (noyer, merisier, alisier, ...).

¹ Thèse de doctorat de l'Université de Lorraine, Ecole Doctorale ED 608 SIMPPE, Spécialité : Science du bois et des fibres, Unité de recherche LERMAB, INRAE/Université de Lorraine, présentée et soutenue à l'Université de Lorraine (Nancy), le 4 octobre 2024

² Membre de l'Académie d'agriculture de France, section 2 « Forêts et filière bois »

La thèse se consacre à tester la possibilité d'homogénéiser les propriétés du bois de cœur et de l'aubier par différents traitements thermiques ou chimiques considérés comme impactant peu l'environnement.

La partie bibliographique est appuyée par une impressionnante liste de références, à la manière d'un manuel généraliste sur le bois et les traitements employés. Cette liste va donc bien au-delà des spécificités du bois de teck et de la sylviculture à courte rotation.

Le premier article (chapitre 2) pose le décor en analysant les différences de propriétés de l'aubier et du duramen dans les deux conditions (récolte à huit ans et quinze ans pour un même diamètre moyen de 25 cm à 1,3 m de hauteur). La liste de paramètres mesurés est impressionnante et requiert un large panel de dispositifs expérimentaux bien décrits et maîtrisés : analyse chimique globale (proportion des polymères pariétaux et des extractibles) ; analyses plus détaillées par chromatographie en phase gazeuse et spectromètre de masse (GC/MS) des molécules organiques dans les extractibles ; densité ; gonflement volumétrique et reprise d'humidité ; analyse dynamique de la sorption de vapeur (DVS) ; module d'élasticité et module de rupture en flexion ; résistance aux champignons et aux termites ; caractéristiques des surfaces ; résistance aux intempéries ; analyse statistique des données. Ces techniques sont reprises pour l'aubier et le duramen après chaque protocole de traitement dans les articles 2 à 6.

En l'absence d'analyse de la largeur des cernes et de l'aubier, il apparaît étonnant que la proportion de duramen soit de 82% pour les arbres récoltés à huit ans et de 70% pour les arbres récoltés à quinze ans. A part ce cas qui mériterait quelques commentaires, les résultats sont globalement conformes, compte-tenu de la variabilité, à ceux qui sont trouvés sur le teck dans des plantations plus âgées (60 ans). Le duramen a des propriétés qui justifient le statut de bois précieux (de faible diamètre), alors que l'aubier a des propriétés tout à fait honorables pour un bois de cette gamme de densité.

L'article 2 (chapitre 3), est consacré aux différents traitements (homogénéisation) effectués sur l'ensemble des types de « bois de teck à rotation courte », y compris la prise en compte de la zone de transition entre aubier et duramen) : la furfurylation (injection dans le bois de résines furfuryliques qui durcissent sous l'effet de la chaleur), le traitement thermique à 150 et 220 °C, et une combinaison d'un traitement à base de glycérol et anhydride maléique (GMA) et de traitements thermiques à 150 et 220 °C. Ces traitements sont bien décrits dans la partie matériel et méthodes qui explique également la façon de documenter l'évolution entre le bois traité et le bois non-traité. Dans cet article, tous les paramètres pris en compte dans le premier article sont analysés jusqu'à la résistance aux champignons (hormis les propriétés mécaniques). Les autres paramètres sont destinés à faire l'objet d'articles spécifiques.

Tous les traitements augmentent sensiblement la résistance aux champignons, diminuent le gonflement hygroscopique et intensifient la couleur de l'aubier qui devient équivalent au duramen pour ces propriétés, après traitement. L'impact sur le comportement mécanique de l'aubier et du duramen n'est pas documenté, mais la littérature signale leur influence négative, notamment à la rupture. Il y a donc bien une homogénéisation entre les différentes parties, qui s'avère positive pour la stabilité dimensionnelle et la résistance aux champignons, probablement négative pour la résistance aux chocs.

L'article 3 (chapitre 4) est consacré exclusivement à la résistance aux termites tropicaux ou tempérés. L'impact des différents traitements est moins uniforme. Les traitements thermiques à haute température, efficaces pour la résistance aux champignons de l'aubier sans affecter

le duramen, sont inefficaces face aux termites pour l'aubier et diminuent fortement la résistance du duramen. Il y a homogénéisation par le bas. En revanche, les traitements chimiques (furfurylation et GMA avec traitement thermique à 220°C) sont efficaces pour l'aubier sans dégrader le duramen.

L'article 4 (chapitre 5) relate l'utilisation, à l'Université de Gand, de la tomographie de rayons X pour examiner, à l'échelle microscopique, les effets des traitements. Cela permet de visualiser, sur les dimensions de cellules de vaisseau, le gonflement ou le rétrécissement associés respectivement à la fufurylation et au traitement GMA avec traitement thermique à 220°C, ainsi que la présence de dépôts bruns d'alcool furfurylique dans les lumens de cellules, aussi bien dans l'aubier que dans le duramen.

L'article 5 (chapitre 6) est consacré à l'analyse des effets des traitements sur les surfaces et la tenue des peintures sur le bois traité. Les traitements thermiques (avec ou sans GMA) diminuent un peu la rugosité des surfaces alors que la fururylation l'augmente fortement. Quant à leur mouillabilité du bois, elle diminue dans tous les cas. La faible accroche des peintures hydrosolubles sur les bois traités ne permet pas leur utilisation.

L'article 6 (chapitre 7), enfin, est consacré au vieillissement climatique de finitions utilisant des peintures à base d'huiles de lin, de tung, du mélange des deux et d'une huile de synthèse, déposées sur les bois traités. Les finitions à l'huile de tung ont une meilleure accroche qu'avec l'huile de lin, mais seuls le mélange et l'huile de synthèse ne sont pas perturbés par les traitements du bois.

La discussion finale et la conclusion générale résument les résultats obtenus dans l'ensemble des six articles ou projets d'article : il est possible d'améliorer la stabilité dimensionnelle et la durabilité du matériau en soumettant le bois à des traitements parmi lesquels ressortent les traitements thermiques à 220 °C en présence de GMA, ou encore les traitements par furfurylation si l'on vise la préservation à la fois vis-à-vis des agents de pourriture et des termites. En outre, une protection efficace du matériau modifié passe par des traitements à base d'huile plutôt qu'en phase aqueuse. Il restera à étudier dans d'autres travaux le coût des traitements sélectionnés et leur impact potentiel sur l'environnement, qui sont également des questions importantes mais non traitées à l'occasion de cette thèse.

Au total, cette thèse s'appuie sur une bibliographie remarquable et rassemble un travail expérimental très important, avec de nombreuses techniques de mesure des propriétés d'un bois traité. Elle constitue une première étape indispensable pour traiter la question posée de la valorisation du bois de teck récolté très jeune dans des plantations à croissance rapide. Son contenu riche d'enseignements justifie que le document soit mis à disposition sur le site de l'Académie d'agriculture de France et dans le Mensuel, pour l'information des lecteurs et la valorisation de ces travaux.

Publications des résultats dans les revues³

Hanifah NP, Martha R, Rahayu IS, Darmawan W, George B, Gérardin P (2022) Surface characterization and paint bonding quality on chemically and thermally modified short rotation teak wood. *International Wood Products Journal*. 14(1): 13–20. DOI: 10.1080/20426445.2022.2138908.

Martha R, Basri E, Setiono L, Batubara I, Rahayu IS, Gérardin P, Darmawan W (2021a) The effect of heat treatment on the characteristics of the short rotation teak. *International Wood Products Journal*. 12(3): 218-227. DOI: 10.1080/20426445.2021.1953723.

Martha R, Dirna FC, Hasanusi A, Rahayu IS, Darmawan W (2020) Surface free energy of 10 tropical woods species and their acrylic paint wettability. *Journal of Adhesion Science and Technology*. DOI: 10.1080/01694243.2019.1663009.

Martha R, George B, Rahayu IS, Gérardin P, Darmawan W (2024) Technological properties homogenization on sapwood and heartwood of short rotation teak wood by non biocide method based on chemical and thermal treatments. *European Journal of Wood and Wood Product*. 82: 371–386. DOI: 10.1007/s00107-023-01997-6.

Martha R, Mubarak M, Batubara I, Rahayu IS, Setiono L, Darmawan W, Akong FO, George B, Gérardin C, Gérardin P (2021b) Effect of furfurylation treatment on technological properties of short rotation teak wood. *Journal of Material and Research Technology*. 12: 1689-1699. DOI: 10.1016/j.jmrt.2021.03.092.

Martha R, Mubarak M, Batubara I, Rahayu IS, Setiono L, Darmawan W, Akong FO, George B, Gérardin C, Gérardin P (2021c) Effect of glycerol-maleic anhydride treatment on technological properties of short rotation teak wood. *Wood Science and Technology*. 55: 1795-1819.

Martha R, Mubarak M, Obounou Akong F, George B, Rahayu IS, Gérardin C, Dumarçay S, Darmawan W, Gérardin P (2023) Differences of technological properties on sapwood and heartwood of short rotation teak wood. *Wood Material Science and Engineering*. 19(1): 6–18. DOI: 10.1080/17480272.2023.2221678.