



Définition d'une grille de classement pour les bois modifiés thermiquement

Date :

27 juin 2016

Par :

Carl Tremblay, ing., chercheur, seconde transformation
Manon Gignac, chercheure, Fabrication de bois de sciage

CONFIDENTIEL

CÉCOBOIS

1175, avenue Lavigerie, bur. 200
Québec (Québec) G1V 4P1

FPIinnovations est un chef de file mondial sans but lucratif qui se spécialise dans la création de solutions à vocation scientifique soutenant la compétitivité à l'échelle mondiale du secteur forestier canadien et qui répond aux besoins prioritaires de ses membres industriels et de ses partenaires gouvernementaux. Il bénéficie d'un positionnement idéal pour faire de la recherche, innover et livrer des solutions d'avant-garde qui touchent à tous les éléments de la chaîne de valeur forestière, des opérations forestières aux produits de consommation et industriels. FPIinnovations compte plus de 525 personnes incluant des laboratoires de recherche situés à Québec, Montréal, Thunder Bay, Hinton et Vancouver et des bureaux de transfert de technologie à travers le pays. Pour de plus amples renseignements sur FPIinnovations, veuillez visiter : www.fpinnovations.ca.

Suivez-



AVIS DE CONFIDENTIALITÉ

Le présent rapport est strictement réservé à votre usage et toute citation intégrale ou partielle est interdite sans notre consentement écrit.

FPIinnovations n'assumera aucune responsabilité à l'égard de tiers dans la mesure où le rapport n'a pas été rédigé à d'autres fins. Les résultats présentés ne se rapportent qu'aux échantillons / matériaux soumis à l'essai ou à l'étalonnage.

Titre du projet: Définition d'une grille de classement des bois modifiés thermiquement
No du projet : 301010530

NOM ET ADRESSE DU LABORATOIRE

FPIinnovations – Laboratoire de Québec
319, rue Franquet
Québec (Québec) G1P 4R4

REMERCIEMENTS

Cette étude a été financée par le Conseil National de Recherches du Canada dans le cadre du Programme d'Aide à la recherche industrielle.

CHARGÉ DE PROJET

Carl Tremblay, ing., chercheur



Signature

Date

27 juin 2016

RÉVISEUR

Manon Gignac, chercheure



Signature

Date

3 mai 2016

NOM ET FONCTION DE LA PERSONNE AUTORISANT LE RAPPORT

Louis Poliquin, directeur



Signature

Date

27 juin 2016

CONTACT

Carl Tremblay
Chercheur
Transformation secondaire
Téléphone : 418-781-6806
carl.tremblay@fpinnovations.ca

Table des matières

1. INTRODUCTION.....	5
1.1 Mise en contexte	5
1.2 Le bois modifié thermiquement.....	6
1.3 Rencontre des producteurs canadiens	7
1.4 La grille de classement.....	8
2. OBJECTIFS	9
3. ÉQUIPE TECHNIQUE.....	9
4. MATÉRIELS ET MÉTHODES	10
4.1 Bois modifiés thermiquement à classifier.....	10
4.2 Essais réalisés en laboratoire pour la classification et la caractérisation	12
4.2.1 Résistance à la dégradation fongique.....	12
4.2.2 Couleur	13
4.2.3 Stabilité dimensionnelle.....	15
4.2.4 Résistance à l'abrasion	16
4.3 Identification d'un paramètre de contrôle de la qualité basé sur les hémicelluloses.....	16
5. RÉSULTATS	17
5.1 Résistance à la dégradation fongique.....	17
5.2 Couleur	26
5.3 Stabilité dimensionnelle.....	27
5.3.1 Valeurs de retrait et de gonflement.....	27
5.3.2 Teneur en humidité du bois modifié thermiquement	29
5.4 Résistance à l'abrasion	30
5.5 Classement des bois modifiés thermiquement	32
6. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	35
7. RÉFÉRENCES.....	36

Liste des figures

Figure 1 - Production de bois ThermoWood depuis 2001	5
Figure 2 - Bâtiment avec parements en bois modifié thermiquement.....	7
Figure 3 - Partie du matériel livré au laboratoire de FPInnovations à Québec.....	11
Figure 4 - Préparation des éprouvettes à l'atelier de menuiserie	11
Figure 5 - Essais de dégradation fongique selon la norme AWPA E10.....	12
Figure 6 - Coordonnées chromatiques L* a* b*.....	14
Figure 7 - Colorimètre BYK Gardner utilisé pour les mesures de couleur	14
Figure 8 - Mesure des dimensions d'un cube	15
Figure 9 - Éprouvettes cubiques en cours de conditionnement à 20°C – 65% HR	15
Figure 10 - Abrasimètre Taber 5130.....	16
Figure 11 - Roulettes de caoutchouc CS-0 avec bandes abrasives S-42 assemblées.....	16
Figure 12 - Perte de masse moyenne des échantillons traités par Producteur 1 après 20 semaines d'incubation	19
Figure 13 - Perte de masse moyenne des échantillons traités par Producteur 2 après 20 semaines d'incubation	20
Figure 14 - Perte de masse moyenne des échantillons traités par Producteur 3 après 20 semaines d'incubation	20
Figure 15 - Perte de masse moyenne des échantillons traités par Producteur 4 après 20 semaines d'incubation	21
Figure 16 - Échantillons de bois témoins et thermo modifiés hautement résistants	24
Figure 17 - Échantillons de bois thermo modifiés résistants	24
Figure 18 - Échantillons de bois thermo modifiés moyennement résistants	25
Figure 19 - Échantillons de bois thermo modifiés légèrement à non-résistants.....	26
Figure 20 - État d'une éprouvette après 500 révolutions de roulette abrasive.....	32
Figure 21 - Profondeur d'une rainure laissée par la roulette abrasive	32

Liste des tableaux

Tableau 1 - Grille de classement des bois modifiés thermiquement	9
Tableau 2 - Groupes de bois modifiés thermiquement en provenance des quatre producteurs canadiens.....	10
Tableau 3 - Champignons de pourriture utilisés pour la dégradation	12
Tableau 4 - Indicateur de classe de résistance selon ASTM D2017-05	13
Tableau 5 - Taux de dégradation après 20 semaines d'incubation (25°C, 75% HR)	18
Tableau 6 - Classes de résistance à la pourriture	22
Tableau 7 - Mesures de couleur des groupes de bois modifiés thermiquement.....	26
Tableau 8 - Valeurs de retrait en directions radiale et tangentielle.....	28
Tableau 9 - Valeurs de gonflement en directions radiale et tangentielle	28
Tableau 10 - TH à l'équilibre des différents groupes de BMT en adsorption	30
Tableau 11 - Valeurs pertes de masse à l'abrasion	31
Tableau 12 - Densités basales des essences de bois à l'étude à l'état non modifié.....	32
Tableau 13 - Résumé des résultats des essais menés en laboratoire	33
Tableau 14 - Classement des bois feuillus modifiés thermiquement.....	34
Tableau 15 - Classement des bois résineux modifiés thermiquement	34
Tableau 16 - Classement des bois de cèdre rouge de l'Ouest et de pin rouge traité à l'ACQ	35

1. INTRODUCTION

1.1 Mise en contexte

Depuis son introduction au Québec il y a une quinzaine d'années environ, le développement de la filière des bois modifiés thermiquement (bois torréfiés) se retrouve aujourd'hui à un point tournant de son évolution. Malgré un intérêt marqué pour ce produit dès son arrivée sur le marché, les performances attendues de celui-ci n'ont pas toujours été au rendez-vous. Conséquemment, la demande stagne et la survie de cette industrie est aujourd'hui fragilisée, particulièrement dans le contexte où plusieurs réalisations ont fait l'objet de réclamations.

La modification thermique du bois à haute température est une technologie utilisée commercialement depuis le début des années 90 en Europe. Au Québec, la production commerciale de ce produit remonte à un peu moins d'une quinzaine d'années. Cinq des sept usines canadiennes de fabrication de bois modifiés thermiquement sont situées au Québec. Ces dernières ont produit en 2014 à environ 50% de leur capacité de production qui est de l'ordre de 16 à 18 millions de pmp par année.

Les fabricants québécois ont pratiquement tous recours à des technologies et paramètres de traitement différents ainsi qu'à des essences de bois variées. De surcroît, certains fabricants ont pris plus de temps que d'autres à maîtriser leur technologie. Conséquemment, des produits aux différentes caractéristiques, propriétés ou performances ont été mis en marché ce qui a contribué à alimenter une certaine confusion dans le marché voire des réclamations.

Les producteurs de l'Europe du Nord ont connu des problèmes similaires au début des années 1990 jusqu'à la mise en place d'une norme de classement et d'un programme de contrôle de la qualité dans les usines. Depuis, les fabricants ne cessent de voir leur production augmenter. Par exemple, les fabricants européens, qui utilisent la technologie finlandaise « ThermoWood », la plus répandue, ont vu leur production passer de 18799 m³ à 159333 m³ entre 2001 et 2015 (Figure 1).

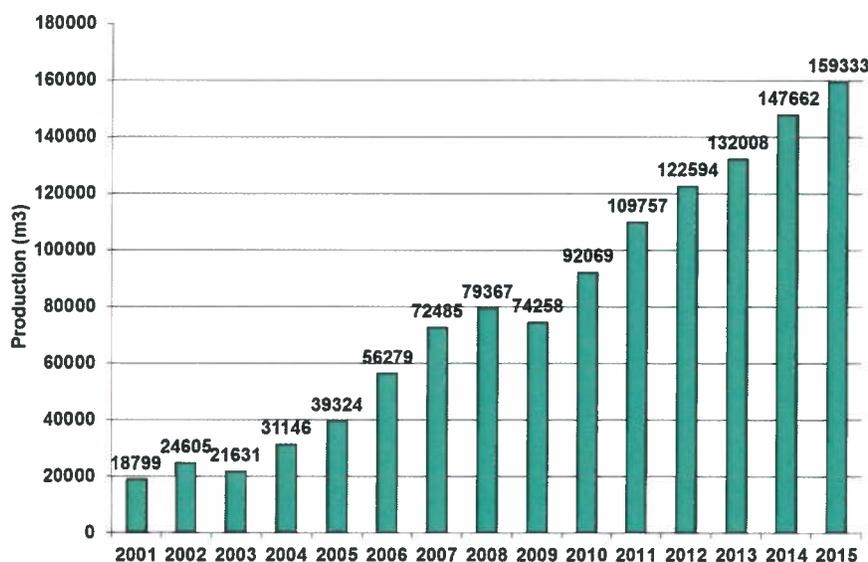


Figure 1 - Production de bois ThermoWood depuis 2001

Malgré les difficultés rencontrées par l'industrie québécoise, le produit continue de susciter beaucoup d'engouement et de présenter un fort potentiel de croissance, tant sur le marché local qu'à l'exportation. Afin de redresser la situation actuelle, les fabricants ont récemment convenu, de concert avec FPIinnovations et Cecobois, de la nécessité de mettre en place un programme de classification et

de contrôle de la qualité dans l'industrie des bois modifiés à haute température. La présente proposition vise à élaborer et à mettre en place ce même programme en collaboration avec les cinq producteurs québécois de bois modifiés thermiquement.

1.2 Le bois modifié thermiquement

Le bois modifié thermiquement se définit comme du bois chauffé entre 180 et 230°C sous une atmosphère contrôlée pauvre en oxygène. Le chauffage du bois dans cette gamme de température se traduit par des modifications chimiques de la structure des parois cellulaires du matériau : dégradation des hémicelluloses qui possèdent des propriétés hydrophiles et réticulation des lignines signifiant la formation de liaisons chimiques entre les molécules. La structure cristalline de la cellulose pourrait être également modifiée. Ces modifications des composants chimiques du bois interviennent sur ses propriétés physiques et mécaniques.

Suite aux résultats des travaux réalisés dans le cadre de différents projets de recherche menés entre autres aux laboratoires du VTT en Finlande, du FCBA en France et de FPInnovations à Québec, les principaux avantages du bois modifié thermiquement comparativement au bois non modifié peuvent se résumer ainsi : amélioration de la stabilité dimensionnelle du bois, augmentation de la résistance à la dégradation fongique et nouvelles couleurs attrayantes du bois suite au traitement. De plus, selon les résultats des études, il n'y a pas de réduction du module d'élasticité (MOE) du matériau signifiant ainsi que le bois conserve sa rigidité suite au traitement. Certaines références font mention d'une amélioration plus ou moins prononcée de la dureté du matériau. Finalement, de façon générale, il est connu que la variation des propriétés du bois modifié thermiquement est proportionnelle à la température de traitement. Par exemple, plus la température atteinte est élevée lors du traitement, plus la résistance à la dégradation fongique et la stabilité dimensionnelle du produit sont améliorées.

Une meilleure résistance à la dégradation fongique et une stabilité dimensionnelle améliorée sont des propriétés permettant l'usage du bois modifié thermiquement en applications extérieures comme pour des parements, des patios ou des menuiseries de portes et fenêtres (Figure 2). Toutefois, les bois modifiés thermiquement ne deviennent pas pour autant inertes et ils continuent de réagir, bien que dans une moindre mesure, aux variations d'humidité. Conséquemment, certains produits en bois modifié à haute température ont été installés sans prévoir les tolérances requises pour le retrait ou le gonflement. L'Association provinciale des constructions d'habitation du Québec (APCHQ) rapporte d'ailleurs qu'il s'agit là d'une des premières causes de réclamation entourant les bois modifiés thermiquement.



Figure 2 - Bâtiment avec parements en bois modifié thermiquement

La modification thermique du bois résulte aussi en la diminution de certaines propriétés du matériau. Il est connu que le bois modifié thermiquement est moins résistant à l'impact que le bois non modifié; il est donc plus cassant. Il n'est donc pas recommandé pour des éléments structuraux. Le bois modifié thermiquement est aussi propice à un vieillissement relativement accéléré lorsque soumis aux intempéries (rayons UV et pluie). L'attrayante coloration foncée obtenue suite au traitement change ainsi graduellement en une couleur grisâtre. Bien que cette couleur grise vieillie puisse être attrayante aux yeux de certaines personnes, elle doit être considérée comme un inconvénient étant donné que la couleur foncée du bois obtenue par la modification thermique a bien souvent servi d'argument de vente dans le passé, sans mise en garde à ce niveau. D'autre part, le manque d'expérience quant aux produits de finition et à l'entretien appropriés a également contribué à alimenter la confusion dans le marché.

1.3 Rencontre des producteurs canadiens

En février 2014, Cecobois a organisé un séminaire sur le bois modifié thermiquement auquel des fabricants, des distributeurs, des fournisseurs et des utilisateurs ont participé. Ce séminaire a permis de dresser un portrait des connaissances actuelles, de l'expérience acquise et de l'état du marché. À cette occasion, un représentant du fournisseur de technologie « Thermowood » de Finlande a partagé l'expérience des producteurs européens. Au sortir de ce séminaire, l'ensemble des participants, incluant un fabricant du Nouveau-Brunswick, ont conclu que la mise en place d'un programme de classification et de contrôle de la qualité était devenue nécessaire après plus de dix ans d'efforts de mise en marché. Les producteurs concernés sont les suivants :

- Groupe Lebel, Cacouna, Québec (Technologie Perdure)
- Kisis Technologies - Dolbeau-Mistassini, Québec (Technologie Perdure)
- Les Industries ISA – Normandin, Québec (Technologie Thermowood)
- Superior ThermoWood – Kakabeka Falls Ontario, Ontario (Technologie Superior Thermowood)
- ThermalWood Canada – Bathurst, Nouveau Brunswick (Technologie Thermowood)

- Torrification Plus, Sainte-Élisabeth, Québec (Technologie Torrification Plus)
- Torrexpert, Ripon, Québec (Technologie mec Torrification)

Après trois autres rencontres entre Cecobois, FPIinnovations et les producteurs de bois modifiés thermiquement, un programme de classification a été ébauché. Celui-ci s'inspire du programme «Thermowood» instauré en Finlande (classes Thermo-S et Thermo-D) ainsi que d'un document d'orientation qui est présentement en développement auprès de l'American Wood Protection Association (AWPA).

Compte tenu de la singularité des essences canadiennes et des différentes technologies utilisées dans l'Est du Canada, le programme de classification et de qualité québécois ne peut être exactement le même que celui utilisé en Europe. De plus, le projet de l'AWPA est en fait un document d'orientation qui ne vise pas nécessairement le contrôle de la qualité, mais indique plutôt les données requises pour ajouter le bois modifié thermiquement à la liste des produits ayant une durabilité accrue selon les standards de l'AWPA.

1.4 La grille de classement

Le programme de classification des bois modifiés thermiquement repose sur des mesures en laboratoire de propriétés sélectionnées et ensuite, en fonction des résultats, en la classification des bois selon une grille de classement comprenant quatre classes. Cette grille s'avèrera utile au consommateur afin de faire un choix judicieux, i.e. en s'assurant que le bois modifié thermiquement a reçu le traitement approprié en fonction de son usage final prévu. Les essais requis en laboratoire pour qualifier la production des différents producteurs selon les quatre classes de la grille sont les suivants :

- Résistance à la dégradation fongique
- Couleur
- Stabilité dimensionnelle (retrait et gonflement tangentiel)
- Résistance à l'abrasion

Les mesures de ces propriétés sur des échantillons de bois traité par chacun des producteurs permettront de classer leur production en fonction des valeurs de références établies pour chacune des quatre classes du système. Cet échantillonnage servira également à établir des valeurs cibles ou moyennes de référence (limites inférieure et supérieure) pour chacune des caractéristiques du système de classification.

La propriété fondamentale ou déterminante de cette grille de classement est la résistance à la dégradation fongique, les quatre catégories de la grille reposant sur le résultat de ce test mené en laboratoire. Quant aux autres caractéristiques (stabilité dimensionnelle, couleur, résistance à l'abrasion), elles seront conséquentes ou correspondantes aux caractéristiques obtenues en fonction des conditions de traitement utilisées pour atteindre les différentes classes de dégradation fongique. Par exemple, le bois rencontrant la classe D1 (meilleure résistance à la dégradation fongique) sera normalement plus foncé et aura une meilleure stabilité dimensionnelle. Finalement, des exemples d'applications des bois modifiés thermiquement selon chaque classe seront indiqués afin d'éclairer le bon choix du matériau en fonction de l'usage final prévu.

Tableau 1 - Grille de classement des bois modifiés thermiquement

Classe	Résistance carie	Usages	Propriétés		
			Couleur (L, a, b)	Stabilité dimensionnelle	Résistance abrasion
D1	Highly resistant	Usage extérieur soumis aux intempéries sévères. (ex. Clôture, Patio, ...)			
D2	Resistant	Usage extérieur soumis aux intempéries. (ex. ...)			
S3	Moderately resistant	Usage extérieur protégé des intempéries. (ex. ...) Usage intérieur. (ex. plancher, lambris...)			
S4	Slightly or nonresistant	Usage intérieur. (ex. plancher, lambris ...)			

2. OBJECTIFS

L'objectif général du projet consiste en la définition d'une grille de classement des bois modifiés thermiquement. Les objectifs spécifiques sont les suivants :

- Réaliser un échantillonnage de bois modifiés thermiquement par les producteurs canadiens correspondant à environ 15 groupes de bois à caractériser en laboratoire.
- Procéder aux mesures de résistance à la dégradation fongique, de stabilité dimensionnelle, de résistance à l'abrasion et de la couleur des échantillons issus des groupes de bois modifiés thermiquement.
- Classifier chacun des groupes de bois modifiés thermiquement dans la grille en fonction du résultat du test de résistance à la dégradation fongique.
- Utiliser les résultats des autres essais pour établir les valeurs cibles de la grille de classement.
- Réaliser en parallèle une analyse chimique du bois traité préalablement aux essais afin de déterminer un potentiel de corrélation entre la dégradation des hémicelluloses et la résistance à la dégradation fongique. Cette corrélation, si elle s'avère significative, servira éventuellement de mesure dans le cadre du contrôle de la qualité en remplacement du test de dégradation fongique qui est plus long et coûteux.

3. ÉQUIPE TECHNIQUE

- Carl Tremblay, ing., chercheur, Seconde transformation
- Guillaume Nolin, technicien, Seconde transformation
- Manon Gignac, scientifique, Fabrication de bois de sciage
- Stéphanie Houde, technicienne, Environnement et durabilité

4. MATÉRIELS ET MÉTHODES

4.1 Bois modifiés thermiquement à classifier

Une rencontre a eu lieu aux locaux de Cecobois en avril 2015 afin de planifier les bois modifiés thermiquement à classifier selon la grille du Tableau 1. Quatre producteurs étaient alors présents à la réunion : Groupe Lebel, ThermalWood Canada, Torrifications Plus et Torrexpert. De la liste des producteurs actifs à l'hiver 2014 (section 1.3), il faut noter malheureusement la cessation des activités industrielles chez Les Industries ISA et Superior ThermoWood. Finalement, Kisis Technologies était absent en n'ayant pas donné suite aux invitations répétées à son attention.

Au cours de la réunion, les quatre producteurs ont été invités à identifier leur matériel le plus intéressant à classifier en termes d'essence de bois et de température de traitement, tout en considérant bien sûr les volumes de ventes de chaque groupe sur le marché de façon à prioriser les bois modifiés thermiquement les plus populaires. Ainsi, 17 groupes de bois modifiés thermiquement en provenance des producteurs ont été identifiés, en plus de l'addition du bois de cèdre rouge de l'Ouest et du bois de pin rouge traité à l'ACQ, pour un grand total de 19 groupes de bois à classifier selon la grille. Les bois de cèdre rouge de l'Ouest et de pin rouge traité à l'ACQ ont été ajoutés à titre de références suite à l'intérêt des producteurs pour ces deux derniers groupes pour fins de comparaison avec les bois modifiés thermiquement. Le cèdre rouge de l'Ouest possède une durabilité naturelle élevée. Le bois de pin rouge a été traité par imprégnation en laboratoire à une rétention moyenne de 9,3 kg/m³.

Le Tableau 2 indique les 17 groupes de bois modifiés thermiquement en provenance des quatre sites de production industrielle qui ont été inclus dans le processus de classification. Pour chaque groupe, le producteur devait fournir un échantillon de 15 planches de bois modifié thermiquement de 12 à 15 cm de largeur et 1,2 m de longueur, épaisseur minimale de 25,4 mm (4/4 po.). Le grade de qualité de l'échantillon devait être représentatif de celui de la production normale. En plus des 15 planches en bois modifié, le producteur devait fournir un échantillon de dix planches similaires, mais non modifiées thermiquement. La Figure 3 illustre une partie du matériel reçu au laboratoire de FPInnovations à Québec.

Tableau 2 - Groupes de bois modifiés thermiquement en provenance des quatre producteurs canadiens

Producteur	Essence	Traitement	épaisseur	Grade qualité
Producteur 1				
	Frêne blanc	220°C	4/4	Sélect/Fas
	Chêne rouge	215°C	4/4	Sélect/Fas
	Merisier	215°C	4/4	Sélect/Fas
	Tremble	218°C	4/4	Sélect/Fas
	Pin jaune	220°C	4/4	Sélect/Fas
Producteur 2				
	Pin rouge	215°C	5/4	Maison revêtement
	Tremble	215°C	4/4	Sélect
	Pin gris	215°C	3/4	Maison revêtement
Producteur 3				
	Pin rouge	206°C	4/4	Prime
	Pin rouge	212°C	4/4	Prime
	Chêne rouge	206°C	4/4	2 & 3 com
	Chêne rouge	212°C	4/4	2 & 3 com
	Frêne blanc	206°C	4/4	Sélect

Producteur	Essence	Traitement	épaisseur	Grade qualité
	Frêne blanc	212°C	4/4	Sélect
Producteur 4				
	Pin blanc	212°C	4/4	Sélect
	Érable rouge	200°C	4/4	Sélect
	Frêne blanc	200°C	4/4	Sélect



Figure 3 - Partie du matériel livré au laboratoire de FPInnovations à Québec

Suite à la réception du matériel au laboratoire de FPInnovations à Québec, des travaux ont été entrepris dans l'atelier de menuiserie afin de procéder à la découpe finale des éprouvettes nécessaires à la réalisation des essais décrits en section 4.2 (Figure 4).



Figure 4 - Préparation des éprouvettes à l'atelier de menuiserie

4.2 Essais réalisés en laboratoire pour la classification et la caractérisation

4.2.1 Résistance à la dégradation fongique

L'évaluation de la résistance à la dégradation fongique a été effectuée conformément à la norme AWPA E10-15 s'intitulant « *Standard method of testing wood preservatives by laboratory Soil-Block cultures* » (Figure 5). Les essais se sont déroulés entre le 2 octobre 2015 et le 14 avril 2016.

Ces tests ont été effectués pour l'ensemble des traitements, soit 17 groupes de bois modifiés thermiquement, leur équivalent non modifié thermiquement et deux témoins résistants à la dégradation fongique (cèdre rouge de l'Ouest et le pin rouge traité à l'ACQ). Le suivi de cette norme exige aussi comme référence une évaluation de la dégradation fongique d'essences non-résistantes à la pourriture, soit dans le cas présent le pin rouge pour les résineux et le peuplier faux-tremble pour les feuillus. Selon l'essence, les éprouvettes ont été infectées artificiellement par trois champignons provoquant la pourriture brune dans le cas des résineux (*Gloeophyllum trabeum*, *Postia placenta* et *Coniophora puteana*) ou trois champignons de pourriture blanche dans le cas des feuillus (*Trametes versicolor*, *Irpex lacteus* et *Xylobolus frustulatus*) (Tableau 3). Le Tableau 3 indique les champignons utilisés avec le numéro de la souche de référence de l'American Type Culture Collection (ATCC). Les essais ont été réalisés sur 10 échantillons/traitement, soit un total de 1190 éprouvettes de dimension de 19 mm x 19 mm x 19 mm.



Figure 5 - Essais de dégradation fongique selon la norme AWPA E10

Tableau 3 - Champignons de pourriture utilisés pour la dégradation

Champignons	No ATCC
<i>Gloeophyllum trabeum</i>	11539
<i>Postia placenta</i>	11538

Champignons	No ATCC
<i>Coniophara puteana</i>	36336
<i>Trametes versicolor</i>	42462
<i>Irpex lacteus</i>	11245
<i>Xylobolus frustulatus</i>	12682

La dégradation du bois a été évaluée par la mesure de la perte de masse des éprouvettes obtenue après 20 semaines d'incubation à 25°C et 75% d'humidité relative (HR).

En complément à la norme AWPA E10-15, la norme ASTM D2017-05 définit un indicateur de classe de résistance selon un certain intervalle de perte de masse mesurée en laboratoire (Tableau 4). À partir du Tableau 4, les échantillons ont pu être regroupés en quatre classes de résistance.

Tableau 4 - Indicateur de classe de résistance selon ASTM D2017-05

Perte de masse	Indicateur de classe de résistance (pour un champignon spécifique)
0 à 10%	Hautement résistant
11 à 24%	Résistant
25 à 44%	Moyennement résistant
> 45%	Légèrement résistant à non-résistant

En Europe, Thermowood indique la performance de son produit en fonction de deux classes de traitements : Thermo-S et Thermo-D. Thermo-S (S pour stabilité) représente un produit qui est relativement durable selon la norme européenne EN113, soit une résistance naturelle à la pourriture qui rencontre la Classe 3. Thermo-D (D=Durabilité) représente un produit qui est classé durable selon la norme européenne EN113, soit une résistance naturelle à la pourriture qui rencontre la classe 2.

En Amérique, la norme américaine AWPA E10 s'intitulant « *Standard Method of Testing Wood Preservatives by Laboratory Soil-Block Cultures* » est utilisée pour l'évaluation en laboratoire de la résistance d'un produit à la dégradation fongique. Les normes AWPA E10 et EN113 visent le même objectif de déterminer la résistance à la dégradation fongique d'un matériau. Toutefois, ces deux normes se distinguent entre autres au niveau des champignons utilisés, du substrat d'incubation, de la dimension des éprouvettes et de la technique de calcul de la résistance à la dégradation fongique. Ces différences font en sorte que les résultats des essais obtenus selon chaque norme ne peuvent être interreliés ou associés directement. Par exemple, un bois de classe 2 selon la norme EN113 (Thermo-D) ne correspond pas à un bois classé « résistant » selon la norme AWPA E10-15 et l'indicateur de classe ASTM D2017.

4.2.2 Couleur

Suite à leur réception au laboratoire, les pièces de bois modifiés thermiquement ont été légèrement rabotées ou poncées afin de nettoyer leurs surfaces des résidus déposés suite au traitement à haute température. La couleur des bois de chaque groupe de pièces a ensuite été mesurée à l'aide d'un colorimètre qui permet de quantifier la couleur du bois selon trois échelles de valeurs (Figure 6). Le principe de fonctionnement de l'appareil repose sur la définition des couleurs selon trois valeurs

numériques appelées « coordonnées chromatiques ». Ainsi, chaque couleur mesurée peut être caractérisée par trois valeurs faisant parties d'un système de représentation tridimensionnelle établi par la Commission Internationale de l'Énergie CIE : L^* a^* b^* . L^* représente la clarté ($L^* = 0$ pour le noir et 100 pour le blanc), a^* est la composante chromatique rouge-vert ($a^* = +60$ pour le rouge et -60 pour le vert) et b^* est la composante chromatique jaune-bleu ($b^* = +60$ pour le jaune et -60 pour le bleu) (Figure 6).

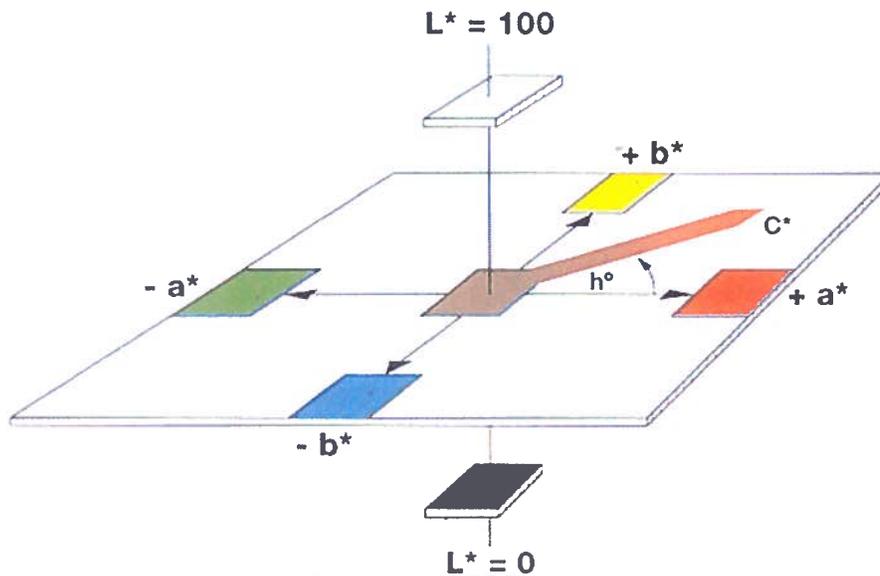


Figure 6 - Coordonnées chromatiques L^* a^* b^*

Les mesures de colorimétrie ont été réalisées sur la face large des pièces à raison de six lectures par planche : trois lectures côté écorce à $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ et $\frac{3}{4}$ de la longueur de la planche, trois lectures côté moelle à $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ et $\frac{3}{4}$ de la longueur de la planche. Les lectures ont été prises sur un échantillon de dix planches par groupe pour un grand total de 60 lectures de couleur pour chaque groupe de bois modifiés thermiquement.

La couleur du bois modifié thermiquement est très dépendante de la température utilisée pour le traitement. Les mesures de couleur permettront ainsi de caractériser les traitements effectués sur chaque essence de bois. Ces mesures de couleur pourront probablement aussi être utilisées aux fins de contrôle de qualité.



Figure 7 - Colorimètre BYK Gardner utilisé pour les mesures de couleur

4.2.3 Stabilité dimensionnelle

La stabilité dimensionnelle du bois modifié thermiquement est un autre paramètre dépendant de la température de traitement. En effet, la stabilité dimensionnelle du matériau s'accroît avec la température au four. La technologie utilisée pour le traitement peut aussi influencer cette propriété.

La stabilité dimensionnelle des bois de chaque groupe de pièces a été évaluée selon les normes internationales ISO 4859 s'intitulant « Bois – Détermination du gonflement radial et tangentiel » et ISO 4469 s'intitulant « Bois – Détermination des retraits radial et tangentiel » où les variations des dimensions d'un échantillon de 20 cubes de 20 mm d'arête soumise à une immersion dans l'eau à un conditionnement à 20°C/65% HR et à l'étuve à 103°C sont mesurées.

Les mesures ont eu lieu en directions parallèles (tangentiel) et perpendiculaires (radial) aux cernes annuels de croissance du bois (Figure 8). Les mesures de dimension étaient effectuées suite à l'atteinte de l'équilibre du matériau (masse constante) selon chaque condition. L'ordre de conditionnement des cubes correspondait bien sûr à des variations de dimensions en gonflement (étuve à 103°C - chambre à 20°C/65% HR - immersion dans l'eau) ou en retrait (immersion dans l'eau - chambre à 20°C/65% HR - étuve à 103°C). Deux échantillons différents de cubes étaient utilisés pour les mesures en gonflement et en retrait pour chaque groupe.



Figure 8 - Mesure des dimensions d'un cube



Figure 9 - Éprouvettes cubiques en cours de conditionnement à 20°C – 65% HR

4.2.4 Résistance à l'abrasion

La mesure de la résistance à l'abrasion a été effectuée à l'aide de l'abrasimètre Taber 5130 muni de roulettes de caoutchouc CS-0 avec bandes autocollantes abrasives S-42, masse de 500 g sur chaque roulette. Pour chaque groupe, un échantillon de 10 éprouvettes de dimensions 10 cm x 10 cm x 2 cm ont été soumises à l'essai. La méthode consiste à mesurer la masse des pièces à l'état initial et suite à 100 révolutions de roulette abrasive en surface, 500 révolutions au total (Figure 10). Les bandes abrasives S-42 étaient changées après chaque éprouvette mesurée.

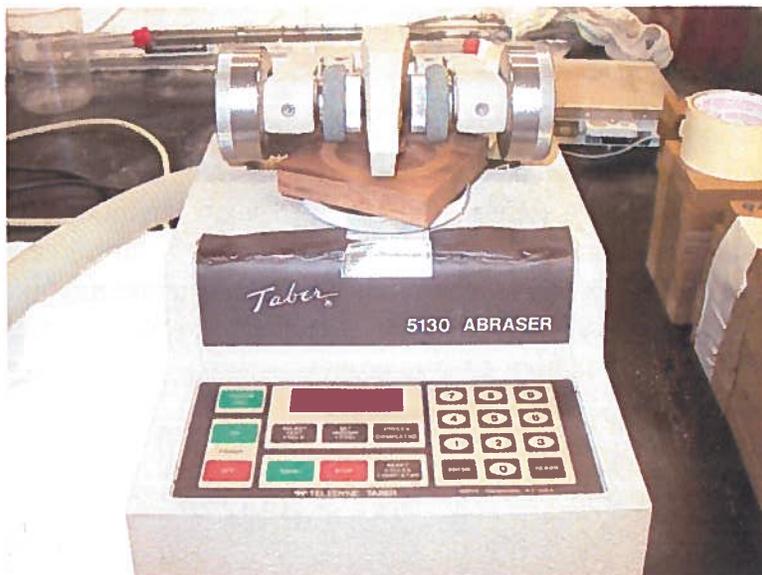


Figure 10 - Abrasimètre Taber 5130



Figure 11 - Roulettes de caoutchouc CS-0 avec bandes abrasives S-42 assemblées

4.3 Identification d'un paramètre de contrôle de la qualité basé sur les hémicelluloses

Un objectif du projet consistait en la réalisation d'une analyse chimique du bois modifié thermiquement à différents niveaux de température afin de déterminer un potentiel de corrélation entre la dégradation des hémicelluloses et la résistance à la dégradation fongique. Cette corrélation serait utile dans le cadre d'un programme de contrôle de la qualité des traitements en usines. Toutefois, cette partie du mandat a été annulée. En contrepartie, le budget prévu pour cette analyse a été utilisé afin d'évaluer la résistance à la dégradation fongique de quatre groupes supplémentaires de pièces. Ainsi, suite à

l'approbation du CNRC, il a été convenu avec les fabricants de mesurer la résistance à la dégradation fongique de deux groupes additionnels de bois modifiés thermiquement afin de mieux compléter la grille de classement. Les résistances à la dégradation fongique du bois de pin rouge traité à l'ACQ et du cèdre rouge de l'Ouest ont aussi été évaluées en laboratoire afin d'avoir un comparatif avec des produits reconnus comme résistants. Le nombre total de groupes de bois évalués est donc passé de 15, nombre initialement prévu, à 19.

5. RÉSULTATS

5.1 Résistance à la dégradation fongique

Le Tableau 5 présente les pertes de masse moyennes des blocs après 20 semaines d'incubation pour chaque groupe de bois modifiés thermiquement. Les résultats sont présentés en fonction du champignon inoculé pour chacun des traitements.

Le taux de dégradation d'essences témoins sert de référence quant à l'efficacité des souches utilisées pour les essais de dégradation fongique. Historiquement dans notre laboratoire, après 20 semaines d'incubation, le taux de dégradation atteint pour le pin rouge se situe au-delà de 58% en présence de *G. trabeum* et de 43% en présence de *P. placenta*. Dans le cas d'essences feuillues, les données obtenues pour le taux de dégradation du peuplier faux-tremble après 16 semaines en présence de *T. versicolor* et *I. lacteus* se situent à près de 50% de perte de masse. Nous n'avons pas de données pour *C. puteana* et *X. frustulatus* à ce jour. Ces deux souches ont été ajoutées aux essais afin d'obtenir davantage de données sur la performance des divers produits thermo modifiés envers une plus grande variété d'agents de dégradation.

Lors des essais, les échantillons de pin rouge non traités (témoin résineux) ont atteint une perte de masse moyenne de 65,4% en présence de *G. trabeum*, de 61,9% avec *P. placenta* et de 12,4% en présence de *Coniophora puteana*. Dans le cas du peuplier faux-tremble non traité (témoin feuillu), les échantillons ont atteint une perte de masse moyenne de 59,9% en présence de *Trametes versicolor*, de 86,4% avec *Irpex lacteus* et de 24,7% en présence de *Xylobolus frustulatus*. L'ensemble des échantillons témoins non traités, pin rouge et peuplier faux-tremble, a donc atteint le pourcentage minimum de perte de masse requis validant ainsi l'efficacité du taux de dégradation obtenu lors de ces essais.

Les résultats obtenus pour chacun des producteurs en fonction de la température de traitement appliquée sont présentés aux Figures 12 à 15. Ces graphiques permettent de bien visualiser l'impact du traitement de thermo modification sur le taux de dégradation (% de perte de masse) comparativement aux mêmes essences sans traitement. Ainsi, pour l'ensemble des producteurs, on observe les effets suivants :

- Une augmentation de la résistance à la dégradation fongique par le traitement de thermo modification.
- Une résistance à la dégradation variable selon le procédé de thermo modification.
- Une résistance à la dégradation variable selon l'essence traitée.
- Pour les producteurs réalisant le traitement d'une essence à deux températures différentes, le taux de dégradation fongique (% perte de masse) est inférieur à une température de traitement plus élevée.
 - Un bon exemple est le chêne rouge, le frêne blanc et le pin rouge traités à 206°C vs 212°C (Figure 14).

- Pour une même essence, la ressource utilisée a aussi un impact sur la durabilité naturelle; une même essence utilisée par différents producteurs (soit des approvisionnements différents) peut présenter des taux de dégradation différents.
 - Un bon exemple est le pin rouge non traité de Producteur 2 (Figure 13) et de Producteur 3 (Figure 14).

Tableau 5 - Taux de dégradation après 20 semaines d'incubation (25°C, 75% HR)

Producteur / Essence	Traitement	Perte de masse % (écart-type)					
		Pourriture brune			Pourriture blanche		
		<i>Gloeophyllum trabeum</i>	<i>Postia placenta</i>	<i>Coniophora puteana</i>	<i>Trametes versicolor</i>	<i>Irpex lacteus</i>	<i>Xylobolus frustulatus</i>
Producteur 1							
Frêne	220°C				-0,2 (0,5)	1,7 (1,9)	0,1 (0,2)
Chêne rouge	215°C				1,5 (3,4)	10,3 (7,2)	1,1 (0,8)
Merisier	215°C				1,1 (0,3)	48,7 (16,4)	5,6 (1,8)
Tremble	218°C				1,8 (0,5)	44,6 (19,7)	6,0 (2,7)
Pin jaune	220°C	31,0 (22,6)	41,5 (24,7)	2,2 (1,1)			
Producteur 2							
Pin rouge	215°C	22,6 (17,6)	56,4 (10,4)	2,7 (1,9)			
Tremble	215°C				5,8 (5,3)	41,0 (14,8)	2,4 (0,3)
Pin gris	215°C	6,6 (4,4)	35,5 (15,3)	2,0 (0,3)			
Producteur 3							
Pin rouge	206°C	7,7 (9,2)	52,5 (24,2)	3,7 (4,1)			
	212°C	7,8 (10,5)	14,8 (15,7)	1,0 (0,3)			
Chêne rouge	206°C				1,9 (5,6)	6,5 (3,2)	0,7 (0,2)
	212°C				0,4 (0,3)	2,4 (1,9)	0,6 (0,2)
Frêne blanc	206°C				0,4 (8,8)	10,7 (11,7)	0,5 (0,8)
	212°C				-0,7 (0,6)	1,0 (2,2)	0,0 (0,2)
Producteur 4							
Pin blanc	212°C	2,7 (1,6)	22,2 (20,3)	1,7 (0,9)			
Érable rouge	200°C				1,7 (0,9)	43,0 (19,2)	7,6 (6,4)
Frêne	200°C				0,6 (0,7)	4,2 (2,8)	0,8 (0,3)

Producteur / Essence	Traitement	Perte de masse % (écart-type)					
		Pourriture brune			Pourriture blanche		
		<i>Gloeophyllum trabeum</i>	<i>Postia placenta</i>	<i>Coniophora puteana</i>	<i>Trametes versicolor</i>	<i>Irpex lacteus</i>	<i>Xylobolus frustulatus</i>
Témoins							
Cèdre rouge de l'Ouest	Non traité (Essence naturellement résistante)	5,0 (9,7)	1,9 (0,4)	1,4 (0,3)			
Pin rouge	ACQ	3,0 (0,8)	4,9 (7,0)	2,3 (0,9)			
Pin rouge	Non traité Témoin résineux	65,4 (11,0)	61,9 (7,6)	12,4 (11,6)			
Peuplier faux-tremble	Non traité Témoin feuillus				59,9 (16,9)	86,4 (11,8)	24,7 (8,5)

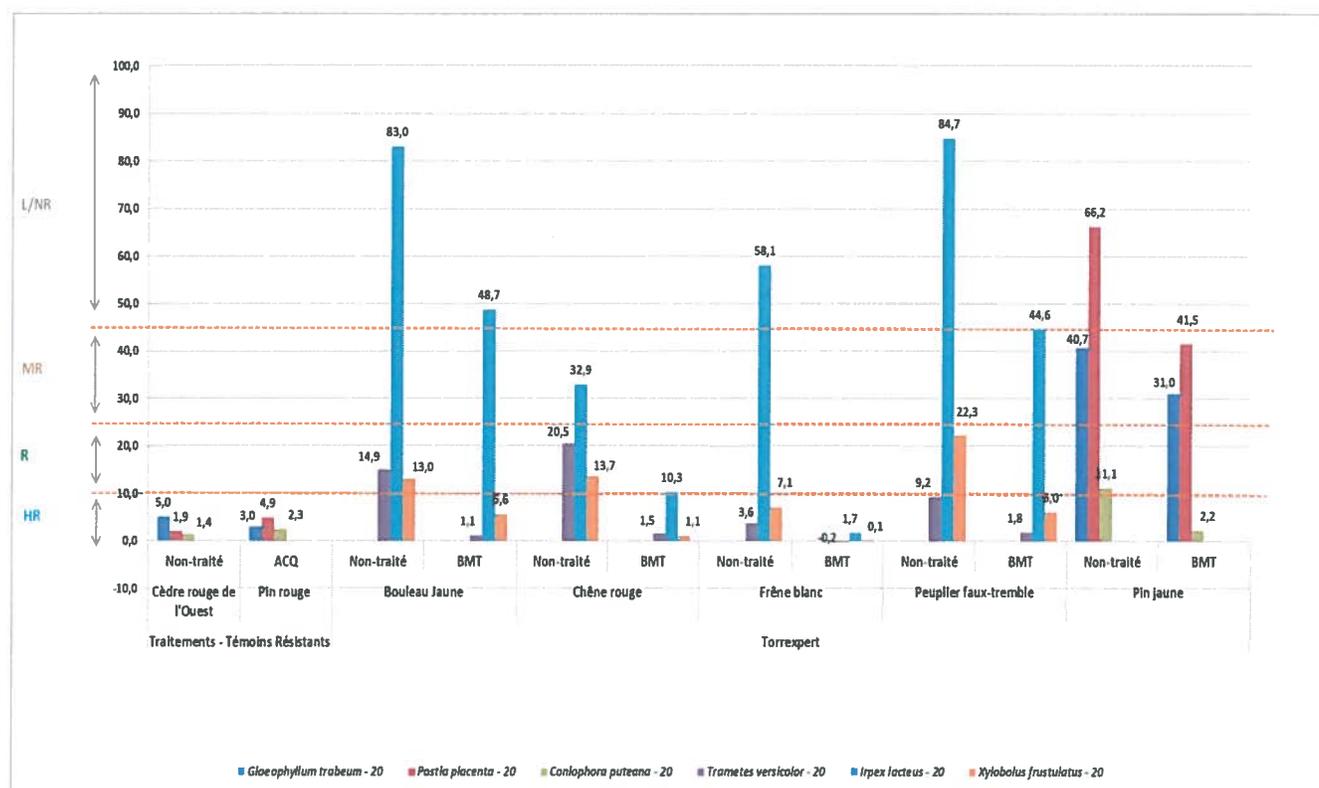


Figure 12 - Perte de masse moyenne des échantillons traités par Producteur 1 après 20 semaines d'incubation

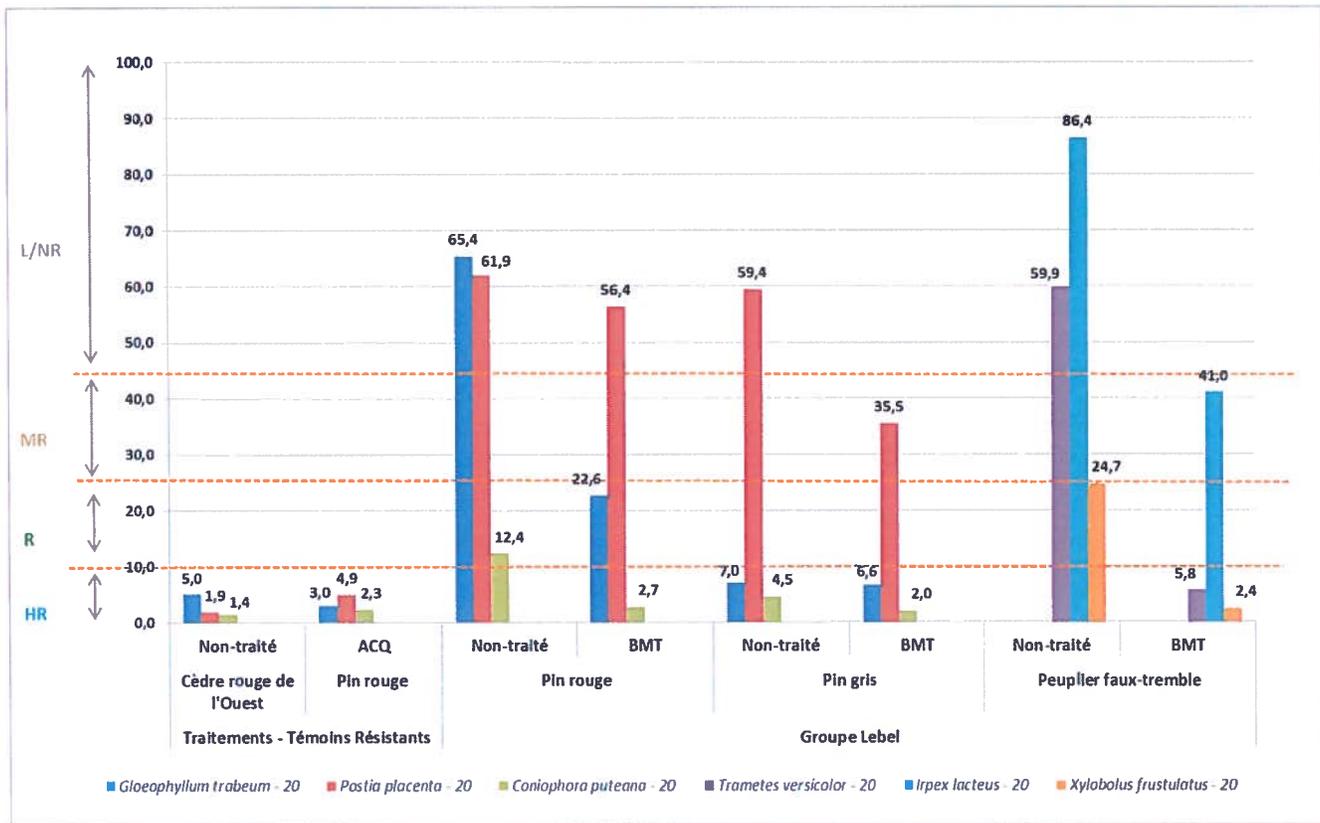


Figure 13 - Perte de masse moyenne des échantillons traités par Producteur 2 après 20 semaines d'incubation

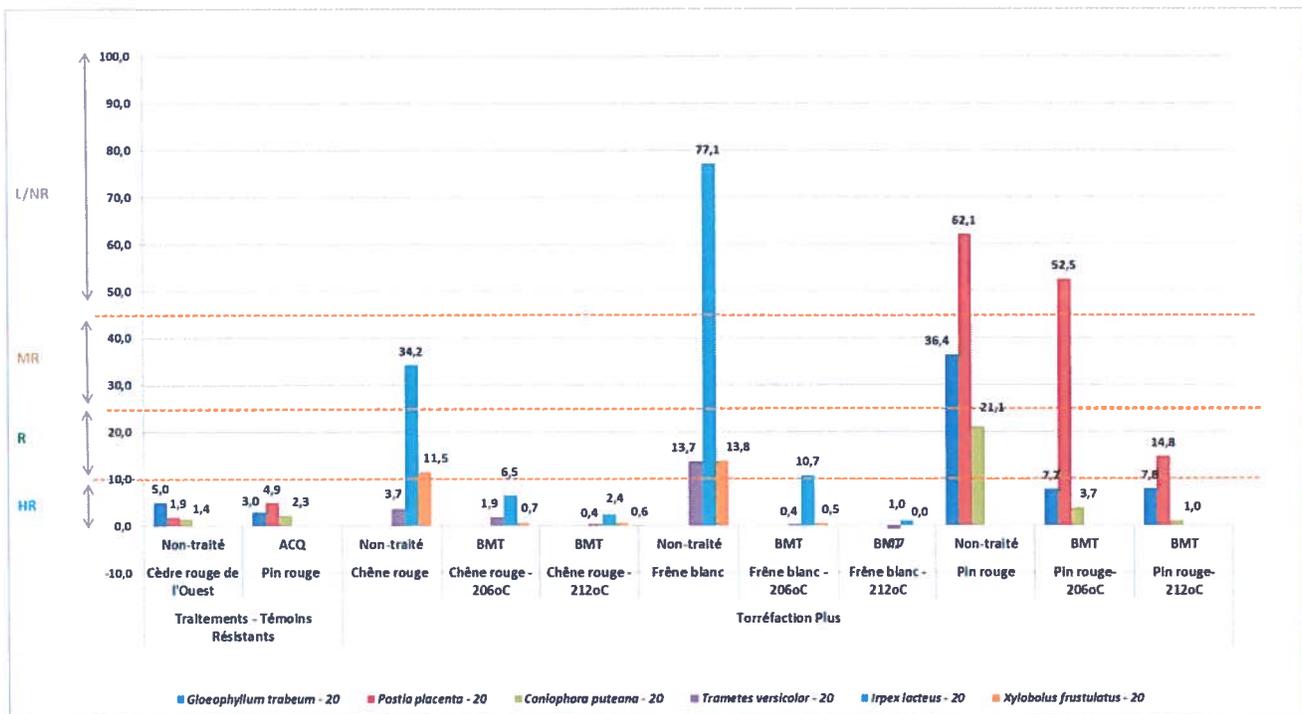


Figure 14 - Perte de masse moyenne des échantillons traités par Producteur 3 après 20 semaines d'incubation

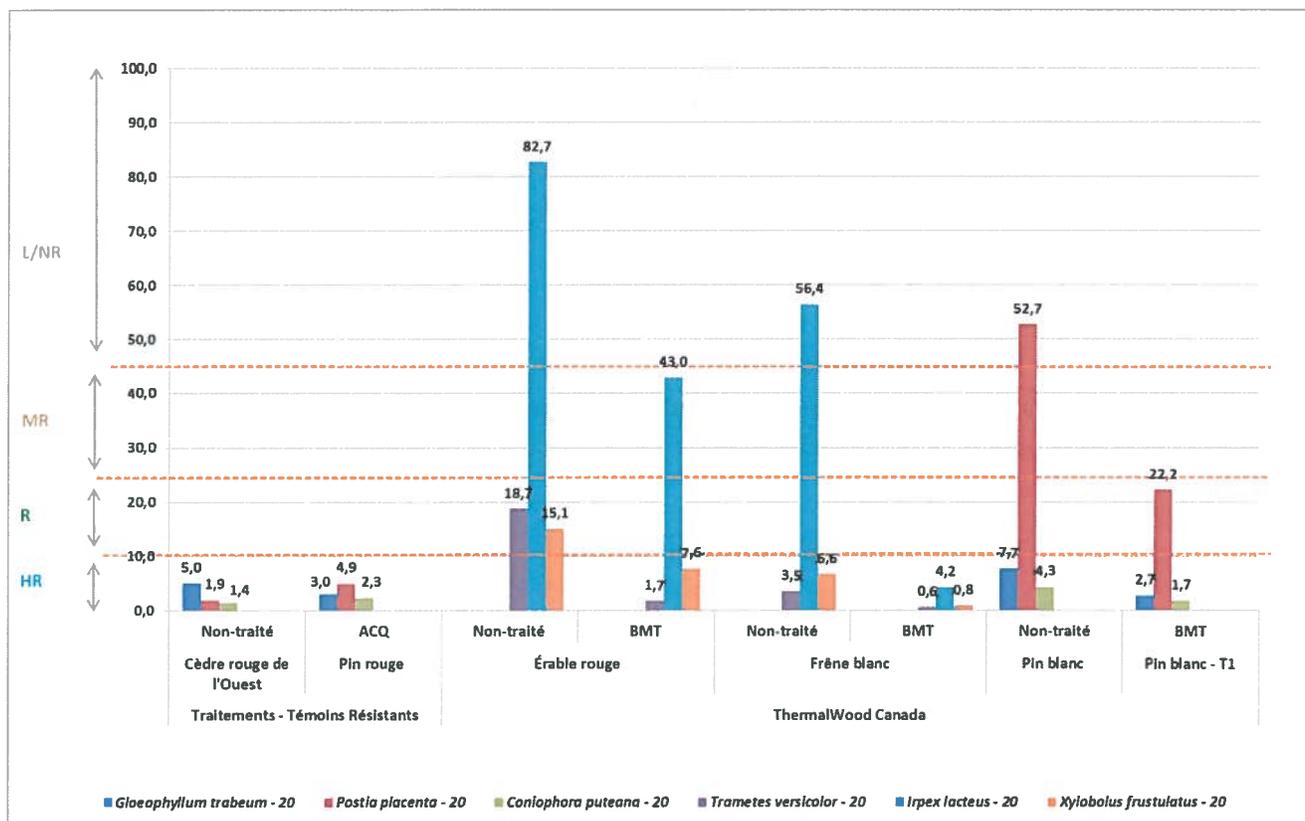


Figure 15 - Perte de masse moyenne des échantillons traités par Producteur 4 après 20 semaines d'incubation

Le Tableau 6 résume la résistance à la dégradation fongique en fonction de 4 classes de résistance : a) hautement résistant ($\leq 10\%$ de perte de masse), b) résistant (perte de masse entre 11 et 24%), c) moyennement résistant (25 à 44% de perte de masse), d) légèrement à non-résistant (perte de masse $\geq 45\%$). La classe de résistance est attribuée selon le taux de dégradation maximale atteint parmi les champignons de pourriture évalués.

Suite au traitement de modification thermique, on a surclassé l'ensemble des essences en termes de résistance. Par ailleurs, celle-ci varie selon le procédé de thermo modification utilisé et la température de traitement. Les classes de résistance obtenues suite à la thermo modification sont les suivantes:

- Hautement résistants
 - Chêne rouge
 - ✓ Producteur 3 à 206°C et 212°C
 - Frêne blanc
 - ✓ Producteur 1 à 220°C,
 - ✓ Producteur 3 à 212°C,
 - ✓ Producteur 4 à 200°C
- Résistants
 - Chêne rouge
 - ✓ Producteur 1 à 215°C
 - Frêne blanc
 - ✓ Producteur 3 à 206°C
 - Pin blanc
 - ✓ Producteur 4 à 212°C
 - Pin rouge
 - ✓ Producteur 3 à 212°C

- Moyennement résistants
 - Peuplier faux-tremble
 - ✓ Producteur 2 à 215°C
 - ✓ Producteur 1 à 218°C
 - Érable rouge
 - ✓ Producteur 4 à 200°C
 - Pin gris
 - ✓ Producteur 2 à 215°C
 - Pin jaune
 - ✓ Producteur 1 à 220°C

Toutefois, certaines technologies, pour une température de traitement de thermo modification donnée, n'ont eu aucun impact sur la classe de résistance de certaines essences telles que :

- Merisier
 - Procédé Producteur 1 à 215°C
- Pin rouge
 - Producteur 2 à 215°C
 - Producteur 3 à 206°C

Tableau 6 - Classes de résistance à la pourriture

Producteur / Essence	Traitement	Classe de résistance Naturelle		Classe de résistance Après thermo modification
		Table de référence Wood Handbook (1)	Fabricant Avant traitement (2)	Fabricant Après traitement (2)
Producteur 1				
Frêne blanc	220°C	L/NR	L/NR	HR
Chêne rouge	215°C	HR	MR	R
Merisier	215°C	L/NR	L/NR	L/NR
Tremble	218°C	L/NR	L/NR	MR
Pin jaune	220°C	L/NR	L/NR	MR
Producteur 2				
Tremble	215°C	L/NR	L/NR	MR
Pin rouge	215°C	L/NR	L/NR	L/NR
Pin gris	215°C	L/NR	L/NR	MR
Producteur 3				
Chêne rouge	206°C	HR	MR	HR
	212°C			HR
Frêne blanc	206°C	L/NR	L/NR	R
	212°C			HR
Pin rouge	206°C	L/NR	L/NR	L/NR

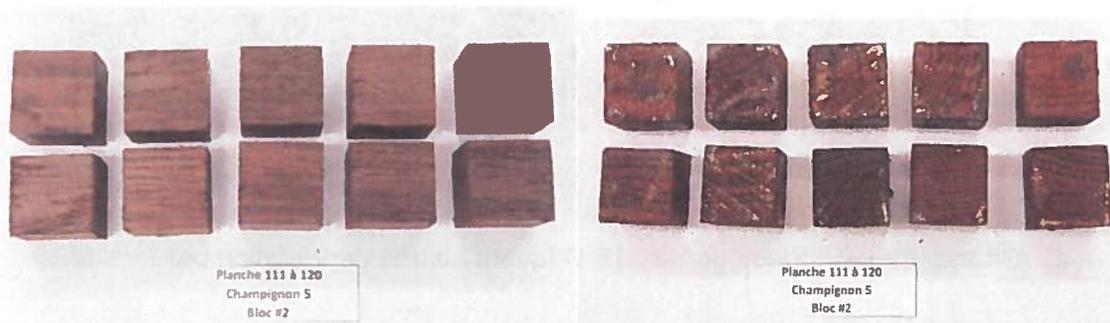
Producteur / Essence	Traitement	Classe de résistance Naturelle		Classe de résistance Après thermo modification
		Table de référence Wood Handbook (1)	Fabricant Avant traitement (2)	Fabricant Après traitement (2)
	212°C			R
Producteur 4				
Érable rouge	200°C	L/NR	L/NR	MR
Frêne	200°C	L/NR	L/NR	HR
Pin blanc	212°C	MR	L/NR	R
Témoins				
Cèdre rouge de l'Ouest	Non traité	HR	HR	
Pin rouge	ACQ	L/NR	L/NR	HR

(1) Wood Handbook (http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fpl_gtr190.pdf)

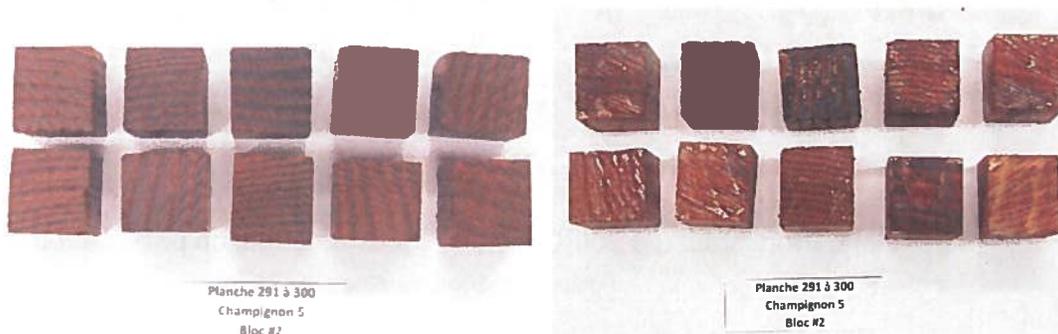
(2) Classe de résistance en fonction du % de perte de masse (x) :

HR : $x \leq 10\%$; R : $10\% < x < 25\%$; MR : $25\% \leq x \leq 45\%$; L/NR : $x > 45\%$

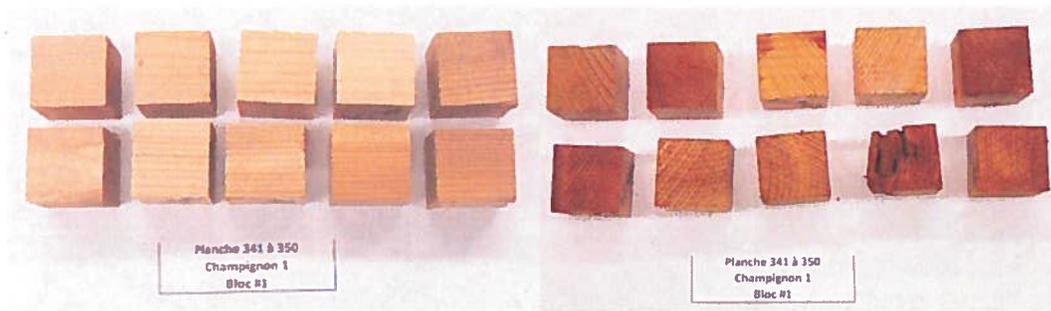
Les Figures 16 à 19 donnent un aperçu de l'apparence des blocs (état des échantillons après 20 semaines de dégradation) en fonction de la classe de résistance correspondante.



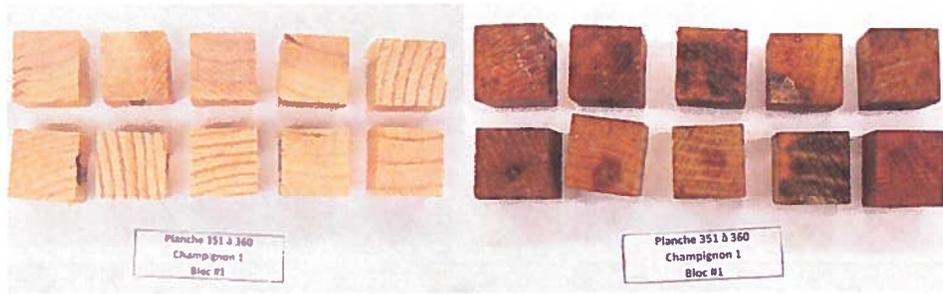
a) Chêne rouge, Producteur 3, 206°C (avant / après dégradation par *I. lacteus*)



b) Frêne blanc, Producteur 4 (avant / après dégradation par *I. lacteus*)

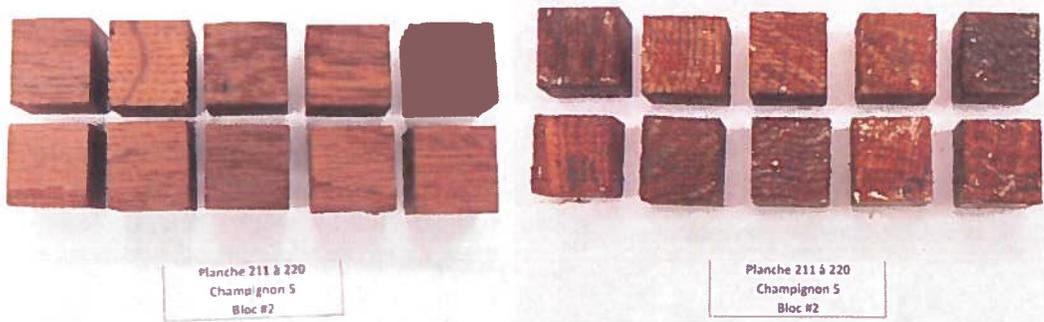


c) Cèdre rouge de l'Ouest (avant / après dégradation par *G. trabeum*)

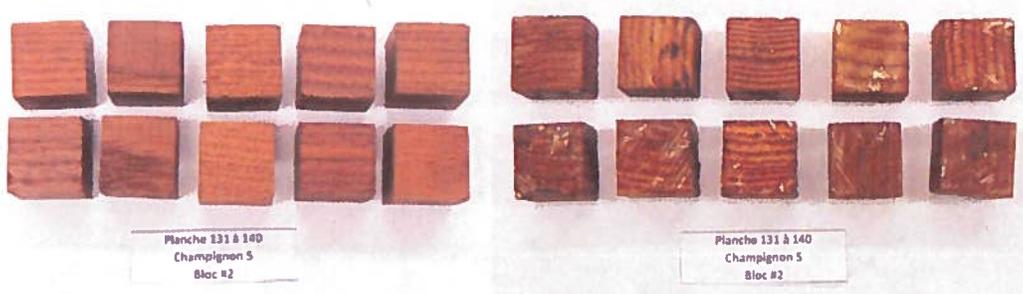


d) Pin rouge traité à l'ACQ (avant / après dégradation par *G. trabeum*)

Figure 16 - Échantillons de bois témoins et thermo modifiés hautement résistants

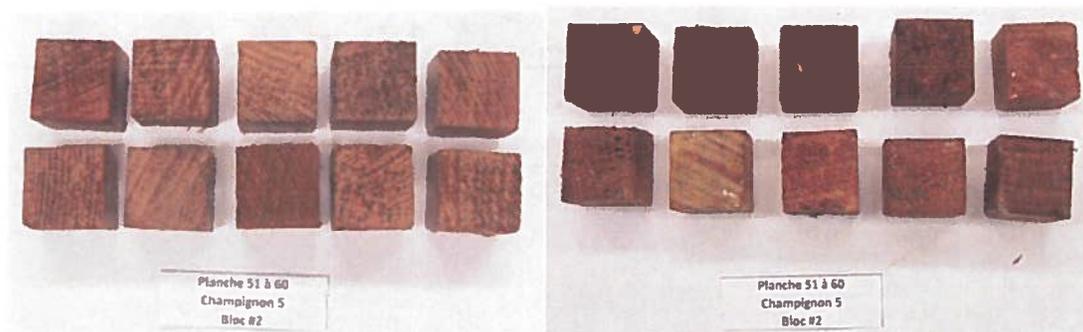


a) Chêne rouge Producteur 1 à 215°C (avant / après dégradation par *I. lacteus*)

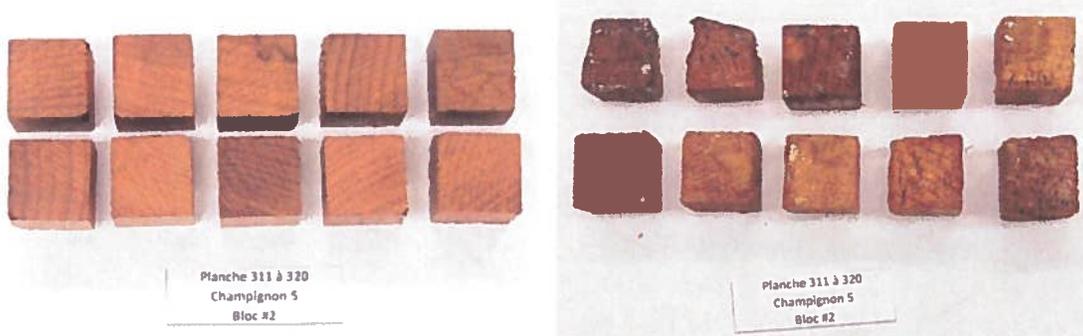


b) Frêne blanc Producteur 3 à 206°C (avant / après dégradation par *I. lacteus*)

Figure 17 - Échantillons de bois thermo modifiés résistants

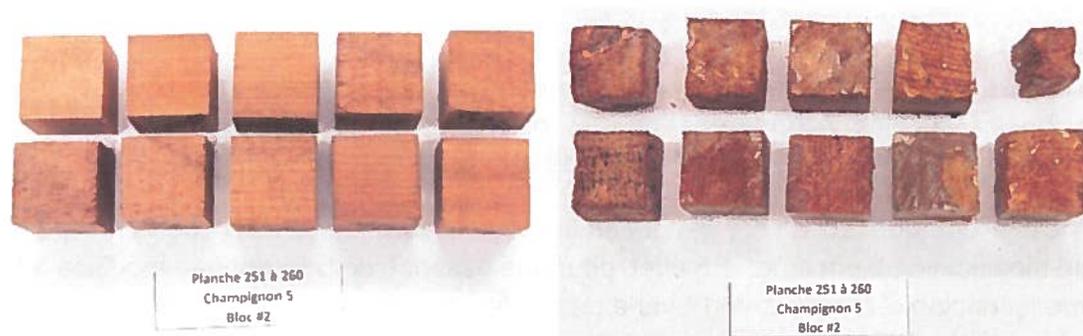


a) Peuplier faux-tremble, Producteur 2 215°C (avant / après dégradation par *I. lacteus*)

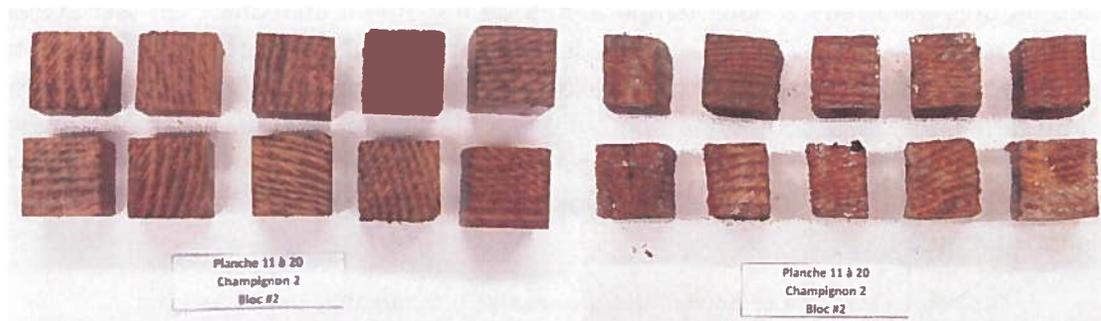


b) Érable rouge, Producteur 4 200°C (avant/après dégradation par *I. lacteus*)

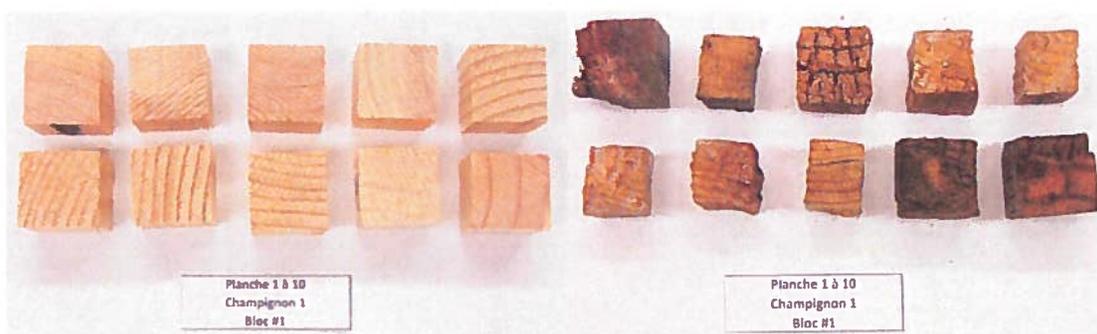
Figure 18 - Échantillons de bois thermo modifiés moyennement résistants



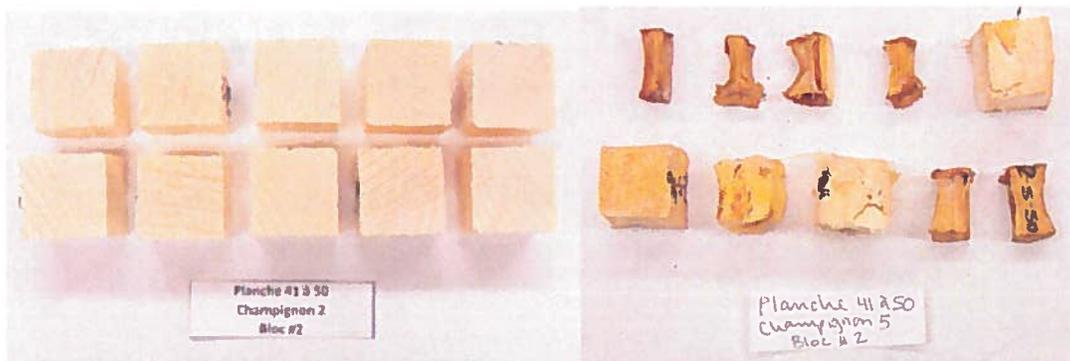
a) Merisier, Producteur 1 215°C (avant / après dégradation par *I. lacteus*)



b) Pin rouge, Producteur 2 215°C (avant / après dégradation par *P. placenta*)



c) Témoin résineux – Pin rouge non traité (avant / après dégradation par *G. trabeum*)



d) Témoin feuillu – Peuplier faux-tremble non traité (avant / après dégradation par *I. lacteus*)

Figure 19 - Échantillons de bois thermo modifiés légèrement à non-résistants

5.2 Couleur

Le Tableau 7 présente les valeurs moyennes des coordonnées chromatiques L* a* et b* suite aux 60 lectures prises sur les échantillons de dix planches de chaque groupe de bois modifiés thermiquement. Le tableau indique aussi l'écart-type associé à chaque moyenne.

La variation de la coordonnée L* est généralement significative en fonction de la température d'un traitement de modification thermique. En effet, pour une essence de bois donnée modifiée à l'aide d'un four de même technologie, la valeur de L* varie passablement avec la température de traitement. Plus la température est élevée, plus la valeur de L* sera faible indiquant ainsi un bois plus foncé. Cette observation peut s'appliquer plus particulièrement ici aux bois fournis par Producteur 3 consistant en trois essences de bois modifiées à deux températures de traitement chacune. Un test statistique de différence de moyenne (Test z) révèle en effet que la simple augmentation de 6°C de la température de traitement s'est traduite par un écart significatif de la valeur de L* pour chacune des trois essences de bois à l'étude. La mesure de la coordonnée chromatique L* s'avère ainsi un paramètre intéressant à considérer en vue d'un éventuel contrôle de la qualité de la production en usine. Les coordonnées a* et b* sont aussi appelées à varier en cours de modification thermique du bois, mais dans une gamme de variations moindre que L*.

Tableau 7 - Mesures de couleur des groupes de bois modifiés thermiquement

Producteur / Essence	Traitement	L*	a*	b*
Producteur 1				
Frêne blanc	220°C	39,3 (2,39)	8,5 (0,68)	16,5 (1,91)
Chêne rouge	215°C	38,5 (2,28)	7,8 (0,64)	14,5 (1,50)
Merisier	215°C	50,0 (2,79)	9,3 (0,70)	19,2 (1,53)
Tremble	218°C	43,5 (2,33)	9,4 (0,68)	19,2 (1,53)

Producteur / Essence	Traitement	L*	a*	b*
Pin jaune	220°C	51,0 (3,40)	11,5 (0,52)	25,9 (2,28)
Producteur 2				
Pin rouge	215°C	46,6 (4,10)	10,5 (0,54)	21,5 (2,19)
Tremble	215°C	48,6 (1,44)	10,5 (0,46)	22,9 (1,03)
Pin gris	215°C	55,1 (3,56)	11,0 (0,34)	27,4 (1,84)
Producteur 3				
Pin rouge	206°C	53,4 (1,53)	11,3 (0,34)	26,8 (1,35)
Pin rouge	212°C	43,1 (1,42)	10,7 (0,56)	21,2 (1,49)
Chêne rouge	206°C	36,2 (1,57)	6,9 (0,53)	12,5 (1,24)
Chêne rouge	212°C	31,8 (1,41)	5,8 (0,48)	9,1 (0,91)
Frêne blanc	206°C	39,6 (1,46)	8,8 (0,52)	16,9 (1,45)
Frêne blanc	212°C	33,1 (1,36)	6,6 (0,37)	11,2 (1,00)
Producteur 4				
Pin blanc	212°C	46,9 (2,00)	10,8 (0,65)	24,2 (1,60)
Érable rouge	200°C	44,8 (2,62)	9,9 (0,53)	19,6 (1,50)
Frêne blanc	200°C	38,7 (2,73)	8,9 (0,85)	16,8 (2,32)

(écart-type)

5.3 Stabilité dimensionnelle

5.3.1 Valeurs de retrait et de gonflement

Le Tableau 8 présente les valeurs de retrait mesurées à 12% TH et à l'état anhydre (max) à partir d'un conditionnement initial des éprouvettes submergées dans l'eau. Les retraits ont été mesurés en directions radiale et tangentielle.

Les résultats démontrent, en premier lieu, que le BMT n'est pas un matériau inerte et que ses dimensions à l'emploi sont appelées à varier en fonction des conditions climatiques auxquelles il est exposé.

En considérant les valeurs de retrait maximal (de l'état vert à anhydre) en direction tangentielle des bois à l'état non-modifié des essences suivantes (Cech et Pfaff, 1980) :

- Chêne rouge : 6,7%
- Frêne blanc : 7,0%
- Merisier : 7,1%
- Pin gris : 5,9%
- Pin rouge : 6,3%
- Tremble : 6,6%

Les résultats obtenus démontrent une réduction du retrait tangential maximal des bois modifiés thermiquement de l'ordre de :

- 13 à 39% chez le chêne rouge
- 30 à 49% chez le frêne blanc
- 11% chez le merisier
- 37% chez le pin gris
- 6 à 25% chez le pin rouge
- 21 à 36% chez le tremble

Suite aux traitements de modification thermique réalisés par les différents producteurs participants au projet.

Tableau 8 - Valeurs de retrait en directions radiale et tangentielle

Producteur / Essence	Traitement	Retrait radial (%)		Retrait tangential (%)	
		à 12% TH	max	à 12% TH	max
Producteur 1					
Frêne blanc	220°C	1,1	2,4	1,8	3,8
Chêne rouge	215°C	1,3	2,7	3,0	5,8
Merisier	215°C	2,0	3,9	3,7	6,3
Tremble	218°C	0,9	2,0	3,0	5,2
Pin jaune	220°C	2,2	4,3	2,7	5,3
Producteur 2					
Pin rouge	215°C	1,8	3,5	3,0	5,7
Tremble	215°C	1,0	2,1	2,2	4,2
Pin gris	215°C	0,9	1,9	1,6	3,7
Producteur 3					
Pin rouge	206°C	1,7	3,4	3,2	5,9
Pin rouge	212°C	1,3	2,7	2,5	4,7
Chêne rouge	206°C	1,2	2,5	2,2	4,8
Chêne rouge	212°C	0,9	2,2	1,7	4,1
Frêne blanc	206°C	1,2	2,6	2,4	4,9
Frêne blanc	212°C	0,8	1,9	1,6	3,6
Producteur 4					
Pin blanc	212°C	0,7	1,6	1,5	3,4
Érable rouge	200°C	1,2	2,5	2,6	5,2
Frêne blanc	200°C	1,1	2,5	1,9	4,2
Cèdre rouge de l'Ouest		1,0	2,7	2,4	5,4
Pin traité ACQ		1,3	2,7	3,6	6,4

Le Tableau 9 présente les valeurs de gonflement mesurées à 12% TH et suite à une immersion dans l'eau des éprouvettes (max) à partir d'un conditionnement initial des éprouvettes à l'état anhydre (au four à 103°C). Les gonflements ont été mesurés en directions radiale et tangentielle. Les résultats démontrent que le BMT demeure propice à un gonflement de ses dimensions en directions radiale et tangentielle malgré le traitement reçu. Néanmoins, les gonflements observés demeurent inférieurs à ceux du bois non modifié.

Tableau 9 - Valeurs de gonflement en directions radiale et tangentielle

Producteur / Essence	Traitement	Gonflement radial (%)		Gonflement tangential (%)	
		à 12% TH	max	à 12% TH	max
Producteur 1					
Frêne blanc	220°C	0,9	2,9	1,2	4,7
Chêne rouge	215°C	0,9	2,9	1,6	6,4
Merisier	215°C	1,2	4,2	1,4	6,4
Tremble	218°C	0,7	2,3	1,1	5,1

Producteur / Essence	Traitement	Gonflement radial (%)		Gonflement tangentiel (%)	
		à 12% TH	max	à 12% TH	max
Pin jaune	220°C	1,2	4,6	1,6	5,5
Producteur 2					
Pin rouge	215°C	1,5	4,2	2,2	6,2
Tremble	215°C	0,8	2,4	1,1	4,4
Pin gris	215°C	0,8	2,3	1,4	3,9
Producteur 3					
Pin rouge	206°C	1,2	3,6	2,0	6,4
Pin rouge	212°C	1,0	2,8	1,5	5,1
Chêne rouge	206°C	0,9	2,8	1,3	5,7
Chêne rouge	212°C	0,9	2,3	1,5	4,9
Frêne blanc	206°C	0,9	3,1	1,4	5,7
Frêne blanc	212°C	0,8	2,3	1,3	4,3
Producteur 4					
Pin blanc	212°C	0,7	2,3	1,3	3,1
Érable rouge	200°C	0,8	2,6	1,4	5,9
Frêne blanc	200°C	0,9	3,1	1,4	5,5
Cèdre rouge de l'Ouest		1,5	2,7	2,2	5,9
Pin traité ACQ		1,0	2,8	2,1	7,0

Comme pour les bois non modifiés, il est attendu d'observer une variation des valeurs de retrait et de gonflement en fonction des essences de bois modifiés thermiquement. Pour une essence de bois modifiée par une même technologie, les valeurs de retrait et de gonflement en directions radiale et tangentielle diminuent avec l'augmentation de la température de traitement. Finalement, la technologie utilisée pour le traitement thermique influence aussi les valeurs de retrait et de gonflement mesurées.

Les valeurs de retrait et de gonflement étant dépendantes de la technologie et surtout de la température de traitement, ce paramètre s'avère intéressant à considérer afin de caractériser le matériau et aussi, pour fins de contrôle de la qualité.

5.3.2 Teneur en humidité du bois modifié thermiquement

L'évaluation de la stabilité dimensionnelle du bois modifié thermiquement en provenance des différents producteurs a permis la mesure de la teneur en humidité (TH) du matériau suite à la période de conditionnement à 20°C et 65% HR. Selon le manuel de séchage de Cech et Pfaff (1980), la teneur en humidité d'équilibre d'un bois (non-modifié) en désorption à ces conditions climatiques est d'environ 12,5%, cette valeur pouvant varier quelque peu avec l'essence de bois. La TH mesurée du bois de cèdre rouge de l'Ouest avec conditionnement initial des éprouvettes dans l'eau suivi du conditionnement à 20°C et 65% HR (en désorption) était de 13,1%.

Un bois non-modifié thermiquement, simplement séché au séchoir, atteindra sa TH d'équilibre en désorption à une valeur dictée par les conditions climatiques environnantes. Le traitement de modification thermique a la particularité d'amener la TH du matériau à l'état anhydre (0% TH) en cours de traitement. Le BMT atteindra ainsi un état d'équilibre propre aux conditions climatiques en adsorption, non pas en désorption. L'atteinte d'un état d'équilibre en désorption ou en adsorption a un impact sur la valeur atteinte pour un bois donné, ce phénomène étant connu sous l'hystérèse de

sorption. La TH à l'équilibre atteinte par un bois en adsorption est inférieure à celle atteinte par un bois en désorption. Par exemple ici, la TH mesurée du bois de cèdre rouge de l'Ouest avec conditionnement initial des éprouvettes à l'état anhydre (0% TH) suivi du conditionnement à 20°C et 65% HR (en adsorption) a été de 10,0%.

Le Tableau 10 illustre les valeurs de TH à l'équilibre des différents groupes de BMT avec conditionnement initial des éprouvettes à l'état anhydre (0% TH) suivi du conditionnement à 20°C et 65% HR (en adsorption). De façon générale, les valeurs indiquées corroborent l'observation bien souvent entendue que la TH à l'équilibre d'un BMT correspond à environ 50% de celle d'un bois non-modifié, en comprenant ici que le BMT atteint généralement son équilibre en adsorption et le bois non-modifié en désorption, ce qui explique en partie l'écart observé.

Tableau 10 - TH à l'équilibre des différents groupes de BMT en adsorption

Producteur	Essence	Traitement	TH équilibre (%)
Producteur 1			
	Frêne blanc	220°C	4,6
	Chêne rouge	215°C	4,8
	Merisier	215°C	5,5
	Tremble	218°C	4,2
	Pin jaune	220°C	7,0
Producteur 2			
	Pin rouge	215°C	8,7
	Tremble	215°C	4,7
	Pin gris	215°C	7,1
Producteur 3			
	Pin rouge	206°C	7,0
	Pin rouge	212°C	6,0
	Chêne rouge	206°C	4,8
	Chêne rouge	212°C	4,8
	Frêne blanc	206°C	4,9
	Frêne blanc	212°C	4,2
Producteur 4			
	Pin blanc	212°C	4,9
	Érable rouge	200°C	5,3
	Frêne blanc	200°C	4,7

5.4 Résistance à l'abrasion

Le Tableau 11 présente les résultats des essais de résistance à l'abrasion réalisés en laboratoire sur les différents groupes de bois modifiés à l'étude. Le Tableau 11 présente, plus précisément pour chaque groupe, les valeurs moyennes de masse initiale, de masse après 500 révolutions de roulette abrasive (masse finale) et de perte de masse résultante exprimée en gramme et en proportion de masse initiale (%). Les résultats sont présentés aussi pour les bois de cèdre rouge de l'Ouest et de pin rouge traité à l'ACQ.

D'un groupe à l'autre, les pertes de masse mesurées suite à 500 révolutions de roulette abrasive varient en fonction des différents paramètres comme l'essence de bois (la densité), la température et la technologie de traitement. Le Tableau 12 présente les valeurs de densité basale des essences de bois à l'étude, à l'état non modifié thermiquement (Cech et Pfaff, 1980). De façon générale, une essence de plus grande densité offre une meilleure résistance à l'abrasion. Il est connu que le traitement de modification thermique altère quelque peu la densité du matériau. Par exemple, une réduction

d'environ 7% de la densité du bois de pin a été mesurée par le centre de recherche finlandais VTT suite à un traitement par le procédé ThermoWood à 210°C (ITWA 2003). La réduction de la densité du matériau s'avère proportionnelle à la température de traitement.

La résistance à l'abrasion du bois modifié thermiquement s'avère inversement proportionnelle à la température de traitement, plus un bois est traité haut en température, plus sa résistance à l'abrasion diminue. Cette observation s'explique en partie par l'effet du traitement sur la densité du bois. Toutefois, au contraire de la coordonnée L* de la couleur qui présentait une différence significative de sa moyenne (Test z), il est difficile de conclure ici à une différence significative de la perte moyenne de masse à l'abrasion avec une simple augmentation de 6°C de la température du traitement Producteur 3 pour les essences de pin rouge, de chêne rouge et de frêne blanc respectivement.

Pour une essence de bois donnée et une température de traitement relativement similaire, la résistance à l'abrasion peut varier aussi d'une technologie à l'autre. Dans ce dernier cas, le temps de traitement peut expliquer en partie cette observation.

Les valeurs de perte de masse présentées au Tableau 11 peuvent sembler faibles, mais l'empreinte laissée par la roulette abrasive s'avère bien visible après 500 révolutions. Les Figures 20 et 21 illustrent l'empreinte laissée suite à 500 révolutions de roulette abrasive sur le bois de pin blanc modifié thermiquement à 212°C.

Tableau 11 - Valeurs pertes de masse à l'abrasion

Producteur / Essence	Traitement	Masse initiale (g)	Masse finale 500 révolutions (g)	Perte de masse (g)	Perte de masse (%)
Producteur 1					
Frêne blanc	220°C	125,157	124,843	0,314	0,25 (0,05)
Chêne rouge	215°C	135,177	134,867	0,310	0,23 (0,04)
Merisier	215°C	130,495	130,114	0,381	0,30 (0,08)
Tremble	218°C	97,605	97,081	0,524	0,54 (0,14)
Pin jaune	220°C	112,994	112,409	0,585	0,53 (0,20)
Producteur 2					
Pin rouge	215°C	87,497	87,117	0,380	0,45 (0,13)
Tremble	215°C	79,784	79,226	0,558	0,71 (0,22)
Pin gris	215°C	71,710	71,275	0,434	0,61 (0,09)
Producteur 3					
Pin rouge	206°C	99,155	98,619	0,536	0,56 (0,18)
Pin rouge	212°C	93,890	93,328	0,562	0,61 (0,15)
Chêne rouge	206°C	128,500	128,177	0,323	0,26 (0,06)
Chêne rouge	212°C	122,838	122,480	0,358	0,29 (0,05)
Frêne blanc	206°C	126,808	126,488	0,320	0,26 (0,05)
Frêne blanc	212°C	118,778	118,405	0,373	0,34 (0,18)
Producteur 4					
Pin blanc	212°C	80,312	79,324	0,988	1,26 (0,32)
Érable rouge	200°C	118,140	117,885	0,255	0,22 (0,03)
Frêne blanc	200°C	132,472	132,184	0,288	0,22 (0,04)
Cèdre rouge de l'Ouest		86,991	86,705	0,286	0,34 (0,09)
Pin rouge traité ACQ		84,848	84,416	0,432	0,51 (0,10)

(écart-type)

Tableau 12 - Densités basales des essences de bois à l'étude à l'état non modifié

Essence de bois	Densité basale (kg/m ³)	Essence de bois	Densité basale (kg/m ³)
Bouleau jaune	560	Pin gris	420
Chêne rouge	580	Pin jaune	
Érable rouge	520	Pin rouge	390
Frêne blanc	570	Tremble	370
Pin blanc	360		

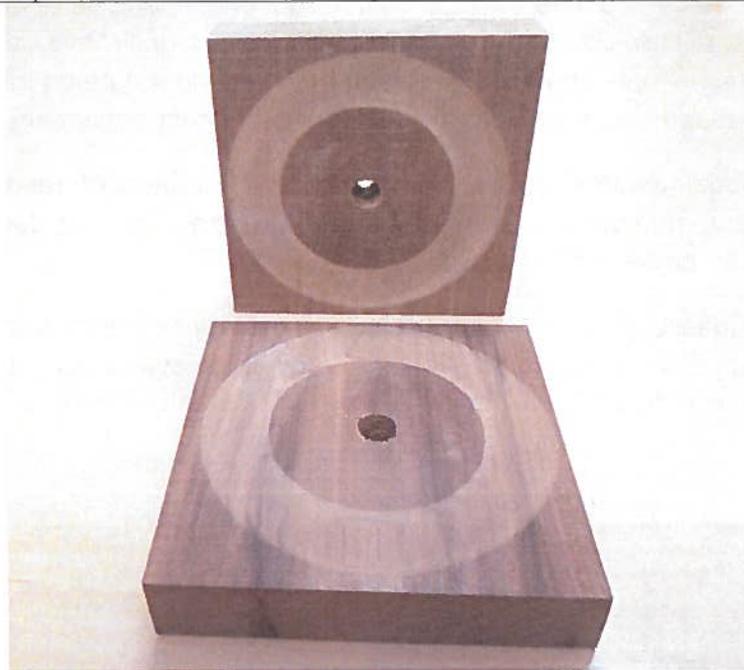


Figure 20 - État d'une éprouvette après 500 révolutions de roulette abrasive

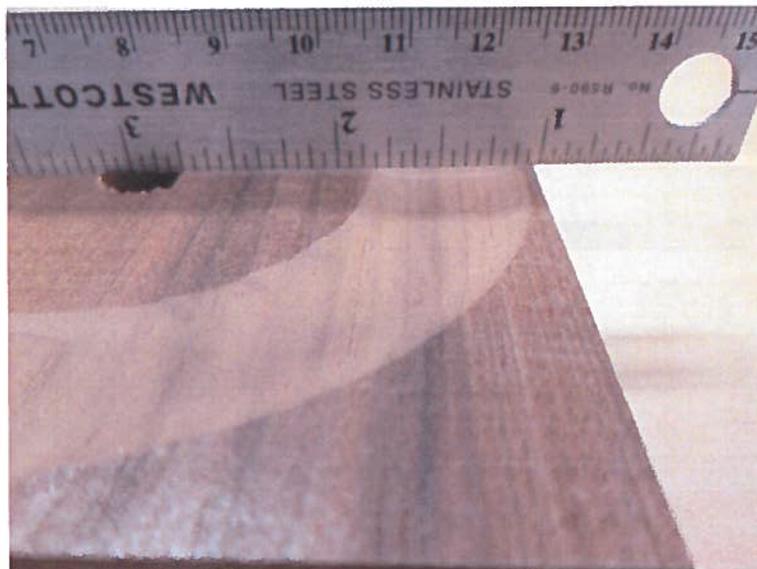


Figure 21 - Profondeur d'une rainure laissée par la roulette abrasive

5.5 Classement des bois modifiés thermiquement

Le Tableau 13 présente un résumé des résultats de toutes les mesures réalisées en laboratoire, i.e. couleur, stabilité dimensionnelle et résistance à l'abrasion, incluant aussi la classe de traitement propre au résultat de l'évaluation de la résistance à la dégradation fongique. Ce tableau s'avère utile à un usage interne comme pour fins de recueil de données propres à chaque bois modifié thermiquement.

Ce tableau pourra servir comme référence dans le processus de contrôle de la qualité des traitements. Il n'est pas prévu pour une diffusion au public.

Tableau 13 - Résumé des résultats des essais menés en laboratoire

Producteur/ Essence	Traitement	Classe	Couleur			Stabilité dimensionnelle								Abrasion Perte de masse (%)
			L*	a*	b*	Retrait rad. (%)		Retrait tang. (%)		Gonfl. rad. (%)		Gonfl. tang. (%)		
						à 12%	max.	à 12%	max.	à 12%	max.	à 12%	max.	
Producteur 1														
Frêne blanc	220°C	D1	39,3 (2,39)	8,5 (0,68)	16,5 (1,91)	1,1	2,4	1,8	3,8	0,9	2,9	1,2	4,7	0,25 (0,05)
Chêne rouge	215°C	D2	38,5 (2,28)	7,8 (0,64)	14,5 (1,50)	1,3	2,7	3,0	5,8	0,9	2,9	1,6	6,4	0,23 (0,04)
Merisier	215°C	S4	50,0 (2,79)	9,3 (0,70)	19,2 (1,53)	2,0	3,9	3,7	6,3	1,2	4,2	1,4	6,4	0,30 (0,08)
Tremble	218°C	S3	43,5 (2,33)	9,4 (0,68)	19,2 (1,53)	0,9	2,0	3,0	5,2	0,7	2,3	1,1	5,1	0,54 (0,14)
Pin jaune	220°C	S3	51,0 (3,40)	11,5 (0,52)	25,9 (2,28)	2,2	4,3	2,7	5,3	1,2	4,6	1,6	5,5	0,53 (0,20)
Producteur 2														
Pin rouge	215°C	S4	46,6 (4,10)	10,5 (0,54)	21,5 (2,19)	1,8	3,5	3,0	5,7	1,5	4,2	2,2	6,2	0,45 (0,13)
Tremble	215°C	S3	48,6 (1,44)	10,5 (0,46)	22,9 (1,03)	1,0	2,1	2,2	4,2	0,8	2,4	1,1	4,4	0,71 (0,22)
Pin gris	215°C	S3	55,1 (3,56)	11,0 (0,34)	27,4 (1,84)	0,9	1,9	1,6	3,7	0,8	2,3	1,4	3,9	0,61 (0,09)
Producteur 3														
Pin rouge	206°C	S4	53,4 (1,53)	11,3 (0,34)	26,8 (1,35)	1,7	3,4	3,2	5,9	1,2	3,6	2,0	6,4	0,56 (0,18)
Pin rouge	212°C	D2	43,1 (1,42)	10,7 (0,56)	21,2 (1,49)	1,3	2,7	2,5	4,7	1,0	2,8	1,5	5,1	0,61 (0,15)
Chêne rouge	206°C	D1	36,2 (1,57)	6,9 (0,53)	12,5 (1,24)	1,2	2,5	2,2	4,8	0,9	2,8	1,3	5,7	0,26 (0,06)
Chêne rouge	212°C	D1	31,8 (1,41)	5,8 (0,48)	9,1 (0,91)	0,9	2,2	1,7	4,1	0,9	2,3	1,5	4,9	0,29 (0,05)
Frêne blanc	206°C	D2	39,6 (1,46)	8,8 (0,52)	16,9 (1,45)	1,2	2,6	2,4	4,9	0,9	3,1	1,4	5,7	0,26 (0,05)
Frêne blanc	212°C	D1	33,1 (1,36)	6,6 (0,37)	11,2 (1,00)	0,8	1,9	1,6	3,6	0,8	2,3	1,3	4,3	0,34 (0,18)
Producteur 4														
Pin blanc	212°C	D2	46,9 (2,00)	10,8 (0,65)	24,2 (1,60)	0,7	1,6	1,5	3,4	0,7	2,3	1,3	3,1	1,26 (0,32)
Érable rouge	200°C	S3	44,8 (2,62)	9,9 (0,53)	19,6 (1,50)	1,2	2,5	2,6	5,2	0,8	2,6	1,4	5,9	0,22 (0,03)
Frêne blanc	200°C	D1	38,7 (2,73)	8,9 (0,85)	16,8 (2,32)	1,1	2,5	1,9	4,2	0,9	3,1	1,4	5,5	0,22 (0,04)
Cèdre rouge de l'Ouest		D1				1,0	2,7	2,4	5,4	1,5	2,7	2,2	5,9	0,34 (0,09)
Pin traité ACQ		D1				1,3	2,7	3,6	6,4	1,0	2,8	2,1	7,0	0,51 (0,10)

(écart-type)

Afin d'éclairer le consommateur dans le bon choix d'un bois d'une essence donnée modifié thermiquement, en fonction de l'utilisation finale prévue du produit, les Tableaux 14 et 15 s'avèrent utiles. Ces tableaux consistent en fait au Tableau 1 adapté aux essences de bois résineux et aux essences de bois feuillus modifiés thermiquement.

Tableau 14 - Classement des bois feuillus modifiés thermiquement

Classe	Résistance carie	Usages	Essence	Propriétés		
				Clarté couleur (L*)	Stabilité dimensionnelle	Résistance abrasion
D1	Hautement résistant	Usage extérieur soumis aux intempéries (ex. clôture, patio...)	Chêne rouge	32 - 36	4,1-4,8%, 4,9-5,7%	++
			Frêne blanc	33 - 39	3,6-4,2%, 4,3-5,5%	++/+++
D2	Résistant	Usage extérieur soumis aux intempéries (ex...)	Chêne rouge	39	5,8%, 6,4%	+++
			Frêne blanc	40	4,9%, 5,7%	++
S3	Moyennement résistant	Usage extérieur protégé des intempéries (ex. ...)	Érable rouge	45	5,2%, 5,9%	+++
		Usage intérieur (ex. planchers, lambris...)	Tremble	44 - 49	4,2-5,2%, 4,4-5,1%	+
S4	Légèrement à non-résistant	Usage intérieur (ex. planchers, lambris...)	Merisier	50	6,3%, 6,4%	++

Tableau 15 - Classement des bois résineux modifiés thermiquement

Classe	Résistance carie	Usages	Essence	Propriétés		
				Clarté couleur (L*)	Stabilité dimensionnelle	Résistance abrasion
D1	Hautement résistant	Usage extérieur soumis aux intempéries (ex. clôture, patio...)				
D2	Résistant	Usage extérieur soumis aux intempéries (ex...)	Pin blanc	47	3,4%, 3,1%	--
			Pin rouge	43	4,7%, 5,1%	+

Classe	Résistance carie	Usages	Essence	Propriétés		
				Clarté couleur (L*)	Stabilité dimensionnelle	Résistance abrasion
S3	Moyennement résistant	Usage extérieur protégé des intempéries (ex. ...)	Pin gris	55	3,7%, 3,9%	+
		Usage intérieur (ex. planchers, lambris...)	Pin jaune	51	5,3%, 5,5%	+
S4	Légèrement à non-résistant	Usage intérieur (ex. planchers, lambris...)	Pin rouge	47 - 53	5,7-5,9%, 6,2-6,4%	+ / ++

Clarté de la couleur L* : mesures au colorimètre, échelle de 0 à 100, 0 = noir, 100 = blanc.

Stabilité dimensionnelle : a) Retrait tangentiel max, b) Gonflement tangentiel max : (a, b).

Résistance abrasion : perte de masse après 500 révolutions de roulette abrasive. +++ : perte de 0 à 0,25% de la masse initiale, ++ : perte de 0,26 à 0,50%, + : perte de 0,51 à 0,75%, - : perte de 0,76 à 1,0%, -- : perte supérieure à 1,0%.

Pour fins de comparaison, les bois de cèdre rouge de l'Ouest et de pin rouge traité à l'ACQ ont tous les deux été classés D1 suite aux mesures de résistance à la dégradation fongique réalisées dans le cadre du projet (Tableau 16).

Tableau 16 - Classement des bois de cèdre rouge de l'Ouest et de pin rouge traité à l'ACQ

Classe	Résistance carie	Usages	Essence	Propriétés		
				Clarté couleur (L*)	Stabilité dimensionnelle	Résistance abrasion
D1	Hautement résistant	Usage extérieur soumis aux intempéries (ex. clôture, patio...)	Cèdre rouge de l'Ouest		5,4%, 5,9%	++
			Pin rouge traité ACQ		6,4%, 7,0%	+

6. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Dans le cadre de ce projet, une grille de classement des bois modifiés thermiquement par des producteurs de l'Est du Canada a été définie. Dix-sept groupes de bois modifiés thermiquement en provenance de quatre producteurs canadiens ont été classés en fonction du résultat du test de résistance à la dégradation fongique réalisé en laboratoire selon la norme AWPA E10-15. À titre de références, les essais ont aussi inclus les bois de cèdre rouge de l'Ouest et de pin rouge traité à l'ACQ. Selon les résultats obtenus, cinq groupes de bois feuillus modifiés thermiquement ont été classés dans la grille comme étant hautement résistants à la dégradation fongique (classe D1), deux groupes de bois feuillus et deux groupes de bois résineux modifiés thermiquement ont été classés comme résistants à la dégradation fongique (classe D2), trois groupes de bois feuillus et deux groupes de bois résineux modifiés thermiquement ont été classés comme moyennement résistants (classe S3) et un groupe de

bois feuillus et deux groupes de bois résineux modifiés thermiquement ont obtenu une note de légèrement à non-résistants à la carie (classe S4). La résistance à la dégradation fongique d'un bois modifié thermiquement est influencée par différents facteurs comme la température du traitement, la résistance naturelle de l'essence de bois à la carie, le programme et la technologie utilisés pour le traitement et autres facteurs possibles. Pour fins de comparaison, les bois de cèdre rouge de l'Ouest et de pin rouge traité à l'ACQ ont été classés comme hautement résistants (classe D1).

Des mesures de couleur, de stabilité dimensionnelle et de résistance à l'abrasion ont aussi été réalisées en laboratoire selon les normes en vigueur afin de caractériser davantage chaque groupe de bois modifiés thermiquement. Les résultats démontrent de façon générale que les bois sont davantage de couleur foncée avec l'augmentation de la température de traitement. La stabilité dimensionnelle des bois modifiés thermiquement s'améliore avec l'augmentation de la température au four. Finalement, la résistance à l'abrasion peut aussi être affectée par le traitement thermique bien que cette propriété soit influencée aussi par l'essence de bois. Les résultats des mesures de couleur, de stabilité dimensionnelle et de résistance à l'abrasion pourront s'avérer utiles comme paramètres de contrôle de la qualité des traitements en usines.

Un objectif du projet portait sur la réalisation d'une analyse chimique des bois modifiés thermiquement afin de déterminer le potentiel de corrélation entre la dégradation des hémicelluloses et la résistance à la dégradation fongique. Cette corrélation aurait pu s'avérer utile dans le cadre d'un processus de contrôle de la qualité des traitements. Toutefois, cette partie du mandat a été annulée afin d'évaluer la résistance à la dégradation fongique de quatre groupes supplémentaires de pièces (19 au total), le budget initial du projet étant prévu pour 15 groupes de bois modifiés thermiquement.

La mise en place d'une grille de classement des bois modifiés thermiquement par les producteurs canadiens sera utile au processus de contrôle de la qualité en développement. Les mesures des différentes propriétés réalisées sur les groupes de bois modifiés permettront de s'assurer de la constance des traitements réalisés dans le temps. La classification des traitements repose sur le test de résistance à la dégradation fongique réalisé conformément à la norme AWPA E10. Ainsi, la portée de cette classification se limite au territoire nord-américain et ne peut être directement applicable par exemple au pays finlandais qui utilise des classes de traitement reposant sur la norme EN113.

7. RÉFÉRENCES

ASTMD-2017-05 (2005). Standard Test Method of Accelerated Laboratory Test of Natural Decay Resistance of Woods. ASTM Standards 2005: 5 pp. PA, USA.

AWPA E10-15. 2015. American Wood Protection Association Standard. Standard Method of Testing Wood Preservatives by Laboratory Soil-Block Cultures. AWPA Standards 2015. 11 pp.

Cech, M.Y. et F. Pfaff. 1980. Manuel de l'opérateur de séchoir à bois pour l'Est du Canada. Forintek Canada Corp., SP504FR, 209 p.

Guidance Document N: Data Requirements for Listing Thermally Modified Wood with Enhanced durability in the AWPA standards. <https://www.awpa.com/regulations/GDN.pdf>

European Standards CSN EN 113. 1996. Wood preservatives - Test method for determining the protective effectiveness against wood destroying basidiomycetes - Determination of the toxic values. Comité Européen de Normalisation, Bruxelles.

International ThermoWood Association. 2003. ThermoWood handbook. www.thermowood.fi , 66 p.

Tremblay, C. 2006. Contrôle de la qualité et certification du bois modifié thermiquement. Rapport de projet no. 685-4019. FPInnovations – Division Forintek, 50 p.



Siège social

Pointe-Claire

570, boul. Saint-Jean

Pointe-Claire, QC

Canada H9R 3J9

T 514 630-4100

Vancouver

2665, East Mall

Vancouver, C.-B.

Canada V6T 1Z4

T 604 224-3221

Québec

319, rue Franquet

Québec, QC

Canada G1P 4R4

T 418 659-2647



NOTRE NOM EST INNOVATION