

**Zeitschrift:** Tracés : bulletin technique de la Suisse romande  
**Herausgeber:** Société suisse des ingénieurs et des architectes  
**Band:** 133 (2007)  
**Heft:** 17: Technologie du bois

**Artikel:** Contrôler la durabilité du bois de hêtre traité thermiquement  
**Autor:** Pétrissans, Mathieu / Pétrissans, Amélie / Gérardin, Philippe  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-99600>

#### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 11.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Contrôler la durabilité du bois de hêtre traité thermiquement

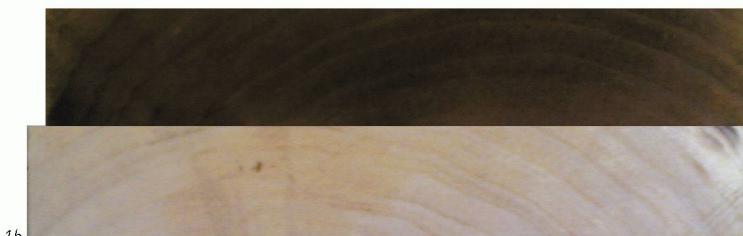
**Le traitement thermique du bois de hêtre par pyrolyse ménagée (rétification®, torréfaction) augmente de façon notable sa résistance à l'attaque du *Coriolus versicolor*, un champignon normalement virulent pour cette essence. La découverte d'un nouveau paramètre de contrôle – associant température de chauffe et durée de traitement – simplifie grandement l'évaluation de la résistance fongique, ouvrant ainsi la voie à des méthodes de production optimales.**

Le hêtre est une essence ligneuse européenne largement utilisée dans l'industrie du bois. Sa durabilité à l'état naturel étant insuffisante à l'obtention de la certification de classe 3, des biocides sont généralement employés pour permettre son utilisation à l'extérieur. En effet, les systèmes conventionnels de conservation du bois impliquent en général le recours à des biocides à large spectre d'activité imprégnés au cœur du bois [1]<sup>1</sup>. De tels procédés sont de plus en plus

<sup>1</sup> Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie placée en fin d'article..



1a



1b

surveillés quant à leur impact sur l'environnement et leur usage pourrait bientôt être considérablement restreint [2]. De plus, la pression environnementale s'étant considérablement accrue ces dernières années dans la plupart des pays européens, on observe un changement d'attitude important dans le domaine du traitement du bois, où de nouvelles alternatives sans biocides sont développées.

## Corrélation

Parmi ces alternatives, le bois traité thermiquement par pyrolyse ménagée a fait l'objet de nombreuses recherches afin d'accroître la durabilité du matériau [3]. Plus durable, le bois traité thermiquement devient aussi stable dimensionnellement, de couleur foncée (fig. 1). Il voit en revanche ses propriétés mécaniques (résistance et module élastique) s'affaiblir. La durabilité accrue du bois traité thermiquement est généralement attribuée aux facteurs suivants [4]: mouillabilité (hydrophobicité), génération de produits toxiques lors du traitement, dégradation des nutriments et modifications des réseaux polymères. Les résultats d'une précédente étude de ces facteurs [5] ont montré une importante corrélation entre l'intensité du traitement – variation de température pour un temps de traitement donné – et la durabilité du bois en matière de résistance au champignon lignivore de la pourriture blanche *Coriolus versicolor*. Par ailleurs, les preuves supportant l'hypothèse d'une résistance accrue due à la production d'un composé fongicide, ou encore au caractère hydrophobique du bois, se sont avérées insuffisantes. Les explications les plus plausibles de cette durabilité accrue du matériau résident donc soit dans sa modification chimique, notamment dans la dégradation des hémicelluloses, ou encore dans la modification du réseau polymère de la lignine.

La forte corrélation observée entre la résistance à la décomposition et la perte de masse du bois mesurée juste après le traitement thermique, laisse entrevoir la possibilité d'utiliser la perte de masse liée au traitement thermique pour prévoir la durabilité du bois exposé au champignon, ce qui permettrait de développer une méthode simple de contrôle dans le cadre de la production.

Fig. 1 : Bois avant et après traitement thermique. a) planche vue du dessus.  
b) planche vue de coupe.

Fig. 2 : Schéma de fonctionnement du four

## Trouver un moyen de contrôle

Notre étude visait à établir une corrélation entre la dégradation polymérique et l'augmentation de la résistance fongique du bois. La procédure suivante a été observée: la perte de masse (WL) liée à l'exposition au champignon *Coriolus versicolor* a été comparée au degré de dégradation ( $\tau$ ) estimé par rapport à la perte de masse liée au chauffage.

Si l'on observe une relation entre la perte de masse due au traitement thermique (degré de dégradation) et la perte de masse générée par l'attaque fongique (WL), on peut retenir le degré de dégradation comme paramètre de contrôle de la durabilité. En effet il est assez facile, dans certaines configurations technologiques (*Prodeo SA*, Suisse), de suivre en direct la masse de la charge de bois traité et d'arrêter la cuisson pour une valeur critique ( $\tau_c$ ) du degré de dégradation déterminée expérimentalement. Nous avons aussi souhaité savoir si ce paramètre dépendait de la température de traitement. On a donc testé biologiquement différents échantillons, traités pour un même taux de dégradation critique ( $\tau_c$ ), mais obtenus en faisant varier le couple temps-température. Les résultats sont surprenants: pour une plage de température comprise entre 240°C et 280°C, et pour des temps de cuisson compris entre 50 minutes et 34 heures, la durabilité conférée par le traitement est identique.

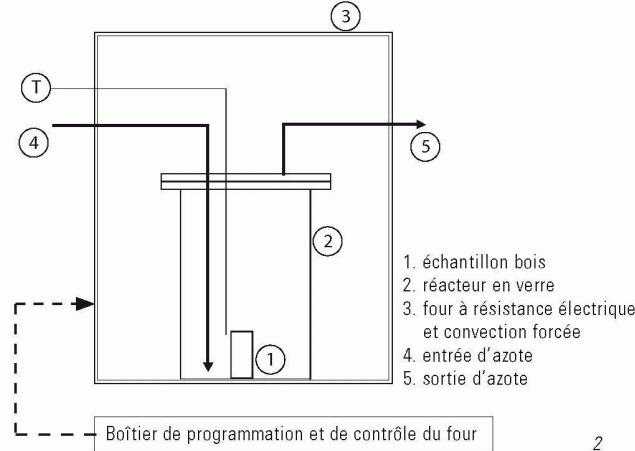
Il est bon de noter que l'ensemble de ces travaux ont été réalisés à l'échelle du laboratoire pour des niveaux de température et des montées en température élevées en comparaison de ce qui est pratiqué dans le monde industriel. Notre objectif était d'accentuer les phénomènes et de limiter le nombre de variables.

## Matériaux et méthodes

L'expérience a été menée sur du bois de cœur de hêtre (*Fagus sylvatica*). Les pièces ont préalablement été séchées au four à 103°C, jusqu'à stabilisation de leur masse (env. 48 heures), afin de déterminer leur masse anhydre ( $m_0$ ).

### Degré de dégradation dû au traitement thermique

Le traitement thermique – par convection dans une atmosphère d'azote – a été réalisé sur des blocs (20mm/10mm/30mm, en direction tangentielle, radiale, et longitudinale) placés dans un réacteur à l'intérieur d'un four (fig. 2). Diverses conditions de température et de durée ont été produites. La vitesse de montée en température du four est de 20°C/min. à partir de la température ambiante, jusqu'à la température opérationnelle choisie. Après traitement, la température redescend par programmation à 20°C. Le degré



de dégradation ( $\tau$ ) résultant du traitement thermique a été calculé selon la formule:

$$\tau (\%) = 100 \times (m_0 - m_1) / m_0$$

où  $m_0$  correspond à la masse anhydre initiale de l'échantillon et  $m_1$  sa masse anhydre mesurée après traitement thermique.

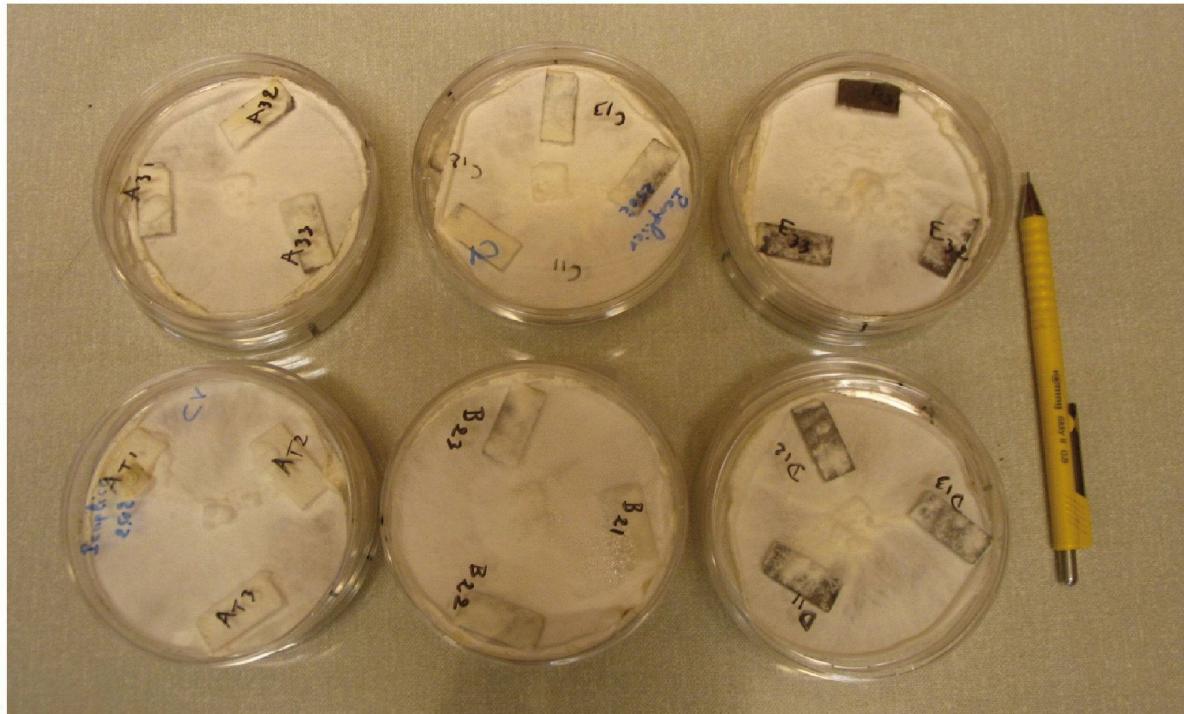
### Perte de masse due au *Coriolus versicolor*

Des blocs de bois non traité et traité thermiquement (20mm/10mm/5mm, en direction tangentielle, radiale, et longitudinale) ont été utilisés afin d'évaluer la résistance au champignon. Des boîtes de Pétri (diamètre 9cm) ont été remplies avec un substrat de culture stérile (20ml) préparé à partir de malt (20g), d'agar (40g) et d'eau distillée (1l). *Coriolus versicolor* ainsi que les échantillons de bois ont été déposés sur ce substrat et incubés à 22°C et 70% d'humidité relative pendant 16 semaines (fig. 3). Pour chaque expérience (niveau de température ou taux de dégradation), trois boîtes contenant chacune trois échantillons ont été réalisées. La virulence de *Coriolus versicolor* a ainsi été testée sur du bois de hêtre traité ou non. Après cette période, les micelles ont été retirées mécaniquement (séchage, brossage) et les blocs pesés ( $m_3$ ) après avoir été séché à 103°C jusqu'à stabilisation complète de leur masse. On a ainsi pu déterminer la perte de masse (WL) imputable à l'attaque du champignon selon l'équation suivante:

$$WL (\%) = 100 \times (m_2 - m_3) / m_2$$

où  $m_2$  correspond à la masse initiale anhydre du bloc avant attaque du champignon, tandis que  $m_3$  représente la masse anhydre de l'échantillon après attaque fongique.

Fig. 3: Boîtes de Pétri contenant les échantillons de bois de hêtre traité thermiquement ou non, exposés 16 semaines au *Coriolus versicolor*



### Identification du paramètre de contrôle

La figure 4 montre le degré de dégradation thermique ( $\tau$ ) et la perte de masse (WL) due à l'attaque fongique en fonction du niveau de température du traitement. L'ensemble des mesures ont été effectuées pour une durée de traitement constante de huit heures et pour des températures comprises entre 20 °C et 280°C. Pour les basses températures (de 20°C à 180°C), les échantillons de hêtre ne subissent pas une réelle dégradation,  $\tau$  reste constant. Pour des températures comprises entre 20°C et 200°C, le champignon est particulièrement virulent. Après 16 semaines d'exposition, le bois a perdu 35% de sa masse – le bois de hêtre ainsi traité n'est pas durable. A partir de 200°C, la perte de masse et par conséquent le taux de dégradation ( $\tau$ ) augmentent considérablement pour atteindre 32% à 280°C (pour 8h de traitement). De précédentes études ont révélé que cette plage de températures est aussi celle pour laquelle on observe une importante dégradation des hémicelluloses et, dans une moindre mesure, de la cellulose amorphe [6, 7, 8 et 9]. Dans cette seconde partie du graphe (de 200°C à 280°C), l'attaque fongique diminue très fortement, passant de 35% à 0% (280°C, 8h). Le bois de hêtre traité dans ces conditions sévères peut donc devenir très durable.

Les deux courbes de la figure 4 – perte de masse due à

l'attaque du champignon et degré de dégradation thermique – offrent des similarités importantes. En effet, la perte de masse du bois traité thermiquement commence à diminuer à 200°C, lorsque que  $\tau$  se met à augmenter. Pour les températures de traitement supérieures, la durabilité devient inversement proportionnelle au degré de dégradation  $\tau$ . Ces résultats laissent apparaître que la durabilité du bois traité thermiquement est en forte corrélation avec la dégradation polymérique causée par la chaleur. La figure 5 montre l'évolution de la perte de masse (WL) attribuable à l'attaque du champignon en fonction du degré de dégradation ( $\tau$ ). Dans ce graphique, trois zones sont facilement identifiables :

- Zone A: « zone d'inactivité du traitement », dans cette portion du graphique, le degré de dégradation ( $\tau$ ) n'a pas d'incidence sur la durabilité du bois et, par conséquent, sur sa perte de masse. Le bois traité thermiquement ainsi produit n'est pas durable.
- Zone B: « zone d'inhibition », pour cette portion, l'effet produit par le degré de dégradation ( $\tau$ ) sur la perte de masse (WL) augmente progressivement. Le bois traité thermiquement devient de plus en plus durable au fur et à mesure que le degré de dégradation ( $\tau$ ) augmente.
- Zone C: « zone durable », dans cette portion, WL baisse considérablement et l'influence de  $\tau$  sur WL reste impor-

Fig. 4 : Perte de masse du à l'attaque fongique (WL) et degré de dégradation thermique ( $\tau$ ) en fonction de la température de traitement ( $T$ ), pour une même durée de traitement de 8h

Fig. 5 : Variation de la perte de masse fongique (WL) en fonction du degré de dégradation ( $\tau$ )

Fig. 6 : Degré de dégradation  $\tau$  en fonction de la durée de traitement ( $t$ )

tante. Ce bois thermiquement traité est durable. La zone C est délimitée par une perte de masse causée par l'attaque fongique inférieure à 3%.

Ces résultats suggèrent qu'il est possible d'utiliser le degré de dégradation ( $\tau$ ) comme paramètre afin de prévoir la durabilité conférée au bois à la suite d'un traitement thermique. La zone C est ainsi délimitée par une valeur critique du taux de dégradation en dessous de laquelle le bois de hêtre n'est pas considéré comme étant durable.

Dans notre cas  $\tau_c = 25\%$  (fig. 5). Cette valeur très élevée n'est représentative que des essais de laboratoire, elle ne tient pas compte du fort affaiblissement mécanique probablement engendré pour un niveau de dégradation aussi élevé. Néanmoins, il apparaît que pour rendre le bois de hêtre (essence peu durable) fongiquement résistante, il faut envisager un traitement thermique sévère. D'autres essences de bois exposé à d'autres espèces de champignons sont actuellement en cours de test. Les premiers résultats semblent également montrer la nécessité d'atteindre 15 à 20% de degré de dégradation pour une amélioration significative de la durabilité.

#### Validation du paramètre de contrôle

Dans un four industriel il est difficile de maintenir une température constante en tout point du dispositif. Des zones chaudes et froides apparaissent – on observe des écarts de température de plusieurs dizaines de degrés dans une pile de bois chauffée à de telles températures. Il nous est donc apparu nécessaire de valider la pertinence du niveau de dégradation ( $\tau$ ) comme paramètre de contrôle du procédé vis-à-vis de la température atteinte durant le traitement. Pour cela, nous avons traité du bois de hêtre à un même niveau de dégradation :  $\tau_c = 25\%$  (précédemment déterminé sur la figure 5) en faisant varier le couple temps-température. Pour obtenir ces couples nous avons déterminé les cinétiques de dégradation du bois de hêtre traité thermiquement pour différentes températures (240, 260, 270, 280°C). Les résultats sont présentés sur la figure 6. Ces valeurs ont permis de déterminer les différents temps de cuisson requis pour obtenir  $\tau_c = 25\%$ . Les couples ainsi identifiés sont présentés dans le tableau A. Les quatre séries d'échantillons traités thermiquement ont ensuite été exposés au *Coriolus versicolor* pendant 16 semaines afin de déterminer leur perte de masse causée par l'attaque fongique (fig. 3). Une série supplémentaire d'échantillons de bois non traité, également exposée à *Coriolus versicolor*, a servi de témoin. Pour cette série témoin, la perte de masse WL s'est avérée importante

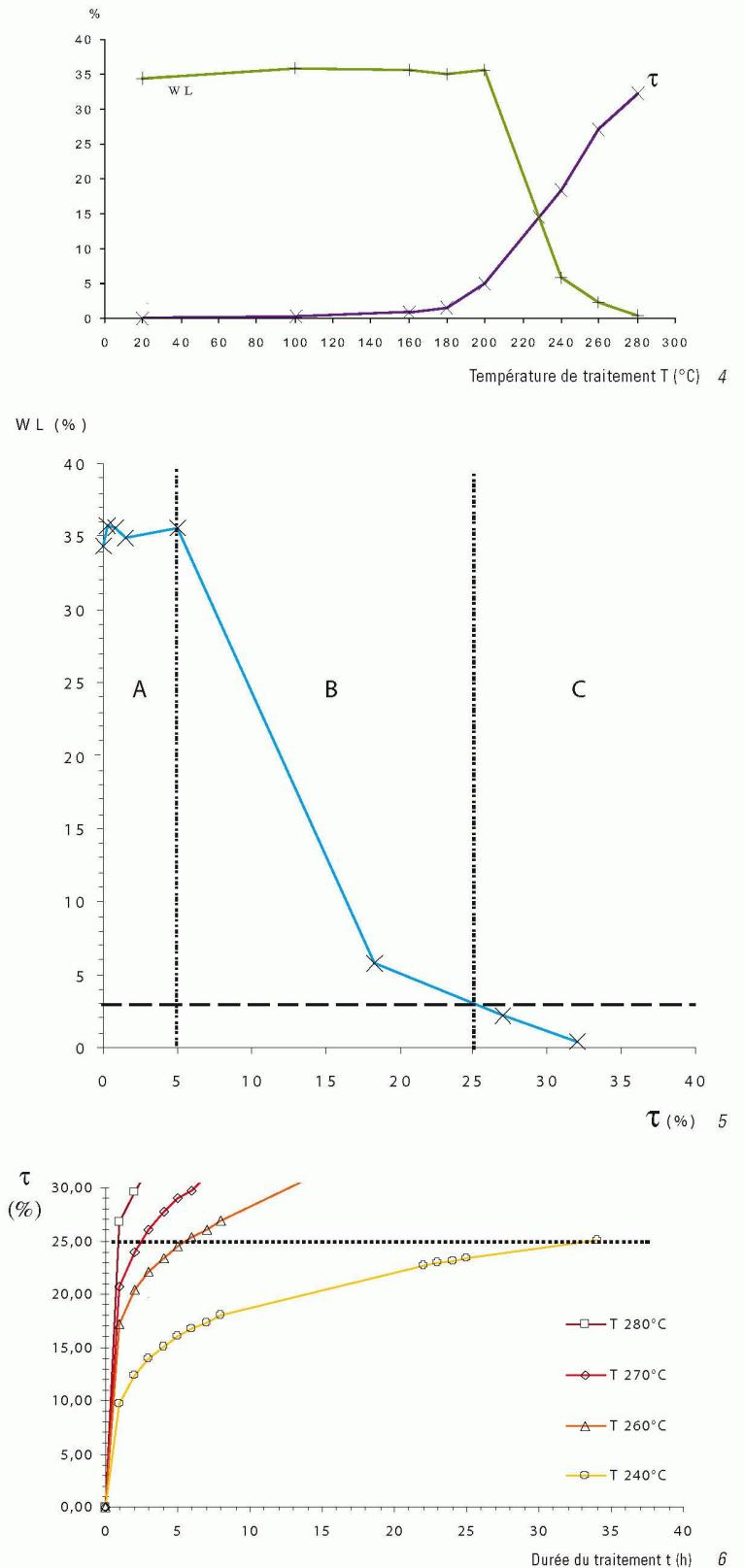
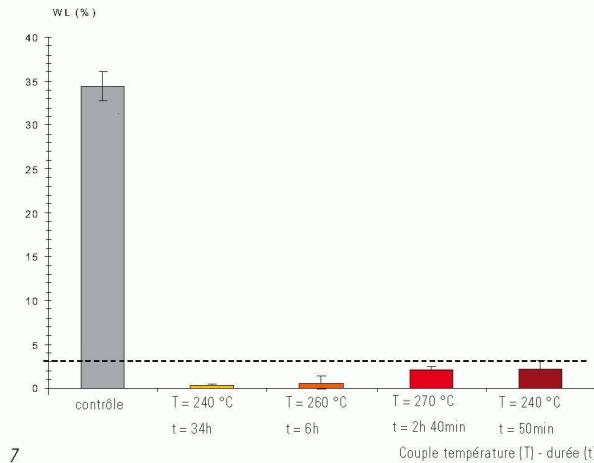


Fig. 7: Perte de masse fongique (WL) après 16 semaines d'exposition au *Coriolus versicolor* pour des échantillons de bois de hêtre montrant un degré de dégradation identique ( $\tau = 25\%$ ), mais ayant subi des traitements thermiques différents

Tab. A: Couples températures-temps ( $T-t$ ) et degré de dégradation ( $\tau$ ) pour le traitement thermique du bois de hêtre

(Tout les documents illustrant cet article ont été fournis par les auteurs.)



7

Temperature (°C)	Durée (minutes)	$\tau$ (%)
240	2040	25.3
260	360	25.3
270	160	26.0
280	50	26.1

A

(34%), montrant bien la virulence du champignon utilisé. À l'opposé, tous les échantillons de bois traité thermiquement, pour un même niveau de dégradation  $\tau_c = 25\%$  réalisé pour des couples temps-température différents, présentent de faibles pertes de masse, preuve de l'efficacité du traitement qui confirme le choix du degré critique de dégradation comme paramètre de contrôle. Il serait donc possible, à l'échelle industrielle, de contrôler la durabilité d'un bois en arrêtant la cuisson lorsque le degré de dégradation désiré est atteint (par suivi de la masse de la charge de bois). D'autre part, ces résultats laissent à l'industriel un degré de liberté lui permettant de choisir le niveau de température et le temps de traitement afin d'optimiser sa production. Il importe de garder à l'esprit que toute augmentation du degré de dégradation affecte les propriétés mécaniques du bois. Ici encore, le traitement optimal peut être déterminé en fonction de l'usage du produit. Une résistance mécanique à la rupture n'est pas forcément nécessaire pour une utilisation en bardage ou en parement. Cependant, un traitement thermique fort ( $15 < \tau < 20\%$ ) reste nécessaire si l'amélioration de la durabilité est l'objectif visé.

## Conclusion

Le traitement thermique augmente la durabilité du bois en terme de résistance au champignon de la pourriture blanche

*Coriolus versicolor*. Cette amélioration de la durabilité est en corrélation directe avec le degré de dégradation ( $\tau$ ) causé par le traitement thermique. D'après les résultats de cette étude, il semble possible de produire un bois traité thermiquement qui soit durable pour un degré critique de dégradation de 25%, obtenu pour différents couples température-temps. Le degré de dégradation peut servir de paramètre de contrôle afin de prévoir la durabilité du bois traité thermiquement mis en présence du *Coriolus versicolor*. Ces expériences ont été menées dans des conditions de laboratoire et doivent être validées à une échelle industrielle. Un degré de dégradation approprié peut être choisi selon la fonctionnalité du bois traité (utilisation sous forme de bardage ou de parement, augmentation des sections, etc.). Il n'est pas inutile de rappeler que le but premier visant à produire un bois durable et compatible avec l'environnement est atteint: ne contenant pas d'adjutants, il est très facilement recyclable.

Mathieu Pétrissans, Anélie Pétrissans, Philippe Gérardin  
Laboratoire d'Etudes et de Recherche sur le Matériau Bois  
UMR INRA/ENGREF/UHP 1093, Université Henri Poincaré Nancy 1  
Faculté des Sciences et Techniques, BP 239  
F – 54506 Vandoeuvre lès Nancy

## Références bibliographiques

- [1] BARNES H. M., MURPHY R. J., (1995) « Wood preservation. The classics and the new age », *For Prod J* 45(9):16-23
- [2] SUTTIE E., (1997) « Novel wood preservatives », *Chem. Ind.* 18:720-724
- [3] PATZELT M., STINGL R., TEISCHINGER A., (2002) « Termische Modifikation von Holz und deren Einfluss auf ausgewählte Holzeigenschaften » in « Modifizierte Holz Eigenschaften und Märkte », *LIGNOVISIONEN* Band 3, ISSN 1681-2808, 101-149
- [4] WEILAND J. J., GUYONNET R., (2003) « Study of chemical modifications and fungi degradation of thermally modified wood using DRIFT spectroscopy », *Holz als Roh- und Werkstoff* 61:216-220
- [5] HAKKOU M., PÉTRISSANS M., GÉRARDIN P., ZOULALIAN A., (2006) « Investigations of the reasons for fungal durability of heat-treated beech wood », *Polymer degradation and stability* 91:393-397
- [6] SIVONEN H., MAUNU S. L., SUNDHOLM F., JÄMSÄ S., VIITANIEMI P., (2002) « Magnetic resonance studies of thermally modified wood », *Holzforschung* 56:648-654
- [7] TJEERDSMA B.F., BOONSTRA M., PIZZI A., TEKELY P., MILITZ H., (1998) « Characterisation of the thermally modified wood: molecular reasons for wood performance improvement », *Holz als Roh- und Werkstoff* 56:149-153
- [8] ALÉN R., KOTILAINEN R., ZAMAN A., (2002) « Thermochemical behaviour of Norway spruce (*Picea abies*) at 180-225°C », *Wood Science and Technology* 36:163-171
- [9] HAKKOU M., PÉTRISSANS M., ZOULALIAN A., GÉRARDIN P., (under press) « Investigation of wood wettability changes during heat treatment on the basis of chemical analysis » *Polymer Stability and Degradation* 89(1):1-5
- [10] KAMDEM D. P., PIZZI A., JERMANNAUD A., (2002) « Durability of heat-treated wood », *Holz als Roh- und Werkstoff* 60:1-6
- [11] MILITZ H., (2002) « Thermal treatment of wood : European processes and their background », The 33<sup>rd</sup> Annual meeting on the International Research Group on Wood Preservation, Cardiff, UK, IRG/WP 02-40241