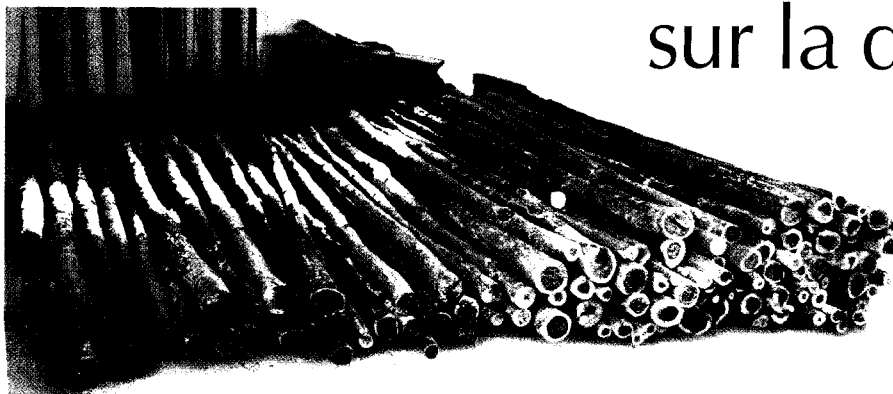


BÉLI NEYA
IRBETGÉRARD DÉON
CIRAD-ForêtBERNARD LOUBINOUX
Université Nancy I

Conséquences de la torréfaction sur la durabilité naturelle du bois de hêtre



Des essais de torréfaction sur du bois de hêtre, *Fagus sylvatica* L., ont été effectués en France dans les laboratoires du CIRAD-Forêt en vue de lutter contre les termites qui sont nombreux au Burkina Faso.

La préservation chimique des bois, bien qu'efficace, pose encore, à l'heure actuelle, des problèmes. On peut citer en particulier :

Sur le plan technique

- Une résistance à l'imprégnation de certains bois, même en autoclave.
- Une répartition inadéquate des produits de protection dans la masse du bois (macrodistribution et microdistribution).
- Une mauvaise fixation des produits aux macromolécules qui constituent le bois.
- Une non disponibilité des produits de protection dans certains pays.

Sur le plan écologique

- La toxicité des produits, facteur de pollution. La protection de l'environnement préoccupe de plus en plus l'opinion publique dans les pays industrialisés. De ce fait, de nouvelles législations de plus en plus contraignantes voient le jour.

La torréfaction est un moyen non polluant d'accroître la durabilité naturelle des bois. Elle provoque une décomposition partielle de la matière et conduit à un matériau roux intermédiaire entre le bois et le charbon de bois appelé bois torréfié.

Lors de la torréfaction, des transformations thermo-chimiques se produisent avec les conséquences suivantes :

- Élimination des hémicelluloses (taux résiduel environ 2 %).
- Transformation partielle de la cellulose (taux résiduel environ 35 %).

Le but de nos essais est de voir si ces transformations peuvent avoir une conséquence sur l'attaque des agents de dégradations du bois comme les champignons ou les termites.

Cet article décrit les résultats obtenus.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Le bois de hêtre (*Fagus sylvatica* L.) de faible durabilité naturelle a été utilisé. Les éprouvettes usinées pour les essais ont les dimensions normalisées suivantes :

Essais champignons (NF EN 113)
50 mm × 25 mm × 15 mm

Essais termites (NF EN 118)
200 mm × 50 mm × 10 mm

En raison de la faible quantité de bois à torrifier et de la taille des éprouvettes d'essai, la torrification a été réalisée dans une cornue de laboratoire. Des tests préliminaires ont été réalisés dans le but de déterminer les paramètres qui permettent d'obtenir des bois torrifiés ayant les caractéristiques d'une production industrielle.

Après un étuvage à 105 °C pendant 48 heures (des études préliminaires ayant montré qu'un séchage direct dans le four des éprouvettes stabilisées à l'air libre provoquait des déformations importantes), la torrification s'effectue de la façon suivante :

- Montée de 20 °C jusqu'à 120 °C, puis maintien à 120 °C pendant 60 min.
- Montée de 120 °C jusqu'à la température de torrification (210 °C, 230 °C, 250 °C), puis maintien pendant 180 min.
- Refroidissement naturel jusqu'à 50 °C avant l'ouverture du four.

Plusieurs fournées sont effectuées pour traiter le nombre d'éprouvettes nécessaires aux essais biologiques. L'affectation des éprouvettes aux différents essais se fait de façon aléatoire parmi l'ensemble des éprouvettes des différentes fournées.

ESSAIS MYCOLOGIQUES

Dans la conduite des essais, nous avons suivi une procédure dérivée de la norme EN 113 en remplaçant les éprouvettes imprégnées de produit de préservation mentionnées dans la norme par des éprouvettes de bois torrifié*.

Nous nous sommes écartés de la méthode normalisée sur deux points :

- Utilisation de la vermiculite réhumidifiée et enrichie comme milieu de culture pour *Gloeophyllum trabeum*. Des essais effectués au CIRAD-Forêt ont en effet montré que,

pour ce champignon, ce milieu est préférable au Malt-Agar traditionnel qui peut provoquer une sursaturation en eau des bois défavorable à l'attaque du champignon.

- Réduction de 16 à 9 semaines du temps d'exposition aux champignons.

□ Choix des champignons

Pour tenir compte de la préoccupation principale de l'étude, qui est l'utilisation ultérieure des résultats aussi bien en zone tropicale qu'en zone tempérée, nous avons utilisé des champignons disponibles au laboratoire du CIRAD-Forêt qui se développent dans ces régions (cf. tableau I).

□ Milieu de culture

Sous une hotte à flux laminaire, les champignons ont été repiqués sur deux milieux de culture en tubes à essais :

- Milieu Malt-agar traditionnel (EN 113) pour *Coriolum versicolor*, *Lentinus squarrosulus*, *Antrodia sp.*
- Milieu vermiculite pour *Gloeophyllum trabeum*.

Les éprouvettes ont été exposées à l'action des champignons dès que le mycélium a recouvert la plage du milieu de culture. Pour chaque champignon et degré de torrification, dix éprouvettes ont été testées.

□ Evaluation des attaques

L'importance de l'attaque a été évaluée par la mesure de la perte de masse après exposition aux champignons pendant 9 semaines ; le tableau II, p. ci-contre, donne une base d'interprétation des résultats.

TABLEAU I

LISTE DES CHAMPIGNONS TESTÉS SUR LE BOIS DE HÊTRE

Nom scientifique	Type de pourriture provoquée
<i>Coriolum versicolor</i> (Linnaeus) Guelet souche C.T.B.A. 863A	Fibreuse (zone tempérée)
<i>Lentinus squarrosulus</i> souche C.T.F.T. 55A	Fibreuse (zone tropicale)
<i>Gloeophyllum trabeum</i> (Person ex Fries) Murill souche BAM EbW 109	Cubique (zone tempérée)
<i>Antrodia sp.</i> souche C.T.F.T. 57	Cubique (zone tropicale)

* Cette adaptation est précisée dans le paragraphe 6-2-3 du projet de norme européenne PR EN 350 partie 1, intitulée « Principes d'essai et de classification de la durabilité naturelle du bois ».

Essai en flacon clos : une illustration de types de pourriture. A droite, attaque de champignons de pourriture cubique ou brune et, à gauche, champignons de pourriture fibreuse ou blanche. Eprouvettes de même essence de bois altérable.

Closed flash test : illustration of types of rot with, on the right, a cubic or brown rot fungus and, on the left, a fibrous or white rot fungus attack. Specimens of the same alterable wood species.

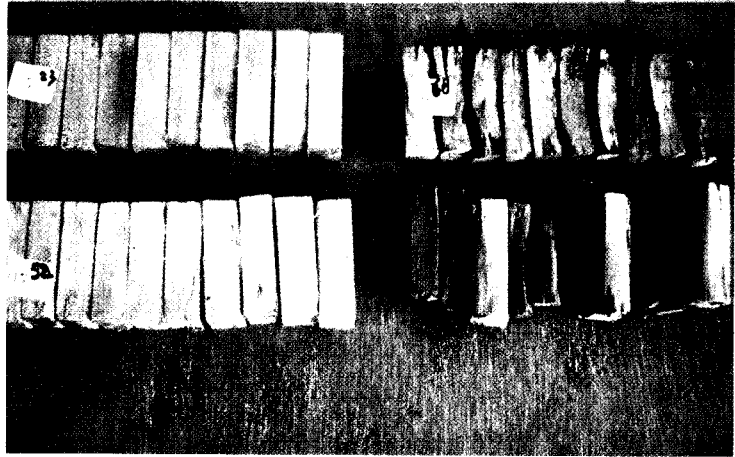


TABLEAU II

CLASSES DE DURABILITÉ NATURELLE DU BOIS VIS-À-VIS D'ATTAQUE FONGIQUE
EN ESSAI DE LABORATOIRE SUIVANT LA NORME EN 113

Classe de durabilité	Qualification du bois	Perte de masse en %
1	Très durable	< 5
2	Durable	5 < 100 Δ m/m < 10
3	Moyennement durable	10 < 100 Δ m/m < 20
4	Faiblement durable	20 < 100 Δ m/m < 30
5	Non durable	> 30

ESSAIS DE RÉSISTANCE AUX TERMITES

Nous avons utilisé une méthode dérivée de la norme EN 118 (qui permet de déterminer l'efficacité préventive d'un produit de préservation contre les termites), comme le prévoit le projet de norme européenne PR EN 350 partie 1.

Nous avons utilisé *Reticulitermes santonensis* (de Feytaud) et *Heterotermes indicolor* (Wasnann), de la famille des Rhinotermitidae, qui sont généralement utilisés pour ce type d'essais. Les premiers sont originaires des zones tempérées et les seconds viennent de l'Inde.

□ Protocole suivi pour les essais (selon la norme EN 118)

Trois tubes sont fixés sur une face des éprouvettes ; pour cela, l'extrémité rodée est trempée quelques secondes



Ces rondins de bois d'*Eucalyptus camaldulensis* ont été sévèrement dégradés par les termites environ un an après leur mise en contact avec le sol.

These logs of Eucalyptus camaldulensis were severely damaged by termites about one year after being placed in contact with the ground.



Exemple d'attaque de termites couramment rencontrée au Burkina Faso.
An example of termite damage in Burkina Faso.

dans du lut préalablement rendu liquide par chauffage et appliqué sur l'éprouvette.

Ensuite, on verse le sable préalablement réhumidifié à l'eau distillée (un volume d'eau pour quatre volumes de sable) ; la quantité introduite doit occuper les 2/3 du volume du tube, soit environ 7 cm de hauteur.

Dans l'axe de chaque tube on enfonce, jusqu'à mi-hauteur du sable, un petit fragment de bois qui favorise l'installation des termites : 250 ouvriers, 3 soldats et 3 nymphes sont introduits dans chaque tube à l'aide d'un aspirateur relié à un appareil de comptage automatique. Les planchettes sont ensuite transportées dans l'enceinte d'essai réglée à une température de $24\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ et maintenue à une humidité relative de $85\% \pm 5\%$.

□ Evaluation des attaques

Le degré d'attaque est évalué visuellement selon le système de cotation suivant :

- 0 Aucune attaque
- 1 Tentative d'attaque
- 2 Attaque légère
- 3 Attaque moyenne
- 4 Attaque forte

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

ESSAIS MYCOLOGIQUES

Le tableau III récapitule les résultats obtenus pour chaque combinaison : température de torréfaction / champignon d'essai.

A l'évidence, la torréfaction conduit à une amélioration de la résistance du bois aux agents de pourriture utilisés, cette amélioration étant d'autant plus nette que la température de torréfaction est élevée.

On constate que, dans une même série, des écarts importants peuvent être observés. Par exemple pour le hêtre torréfié à $230\text{ }^{\circ}\text{C}$, les pertes de masse après exposition à *Antrodia sp.* s'échelonnent entre 0 % et 25,5 %. C'est seulement pour une torréfaction à $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ que les résultats deviennent plus homogènes et que le bois torréfié peut être globalement qualifié de résistant à très résistant.

On remarque, enfin, que l'humidité finale des éprouvettes est suffisamment élevée pour permettre le développement d'une attaque fongique.

Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour expliquer l'influence constatée de la torréfaction.

□ 1^{re} hypothèse

Le bois torréfié est hydrophobe et son hydrophobie est rompue en fin d'essai. Les champignons ne trouvent les conditions d'humidité nécessaires à leur développement que pendant un laps de temps très court. Un temps d'exposition plus long pourrait conduire à une dégradation plus importante du matériau.

□ 2^e hypothèse

La reprise d'humidité des éprouvettes est sélective. Elle s'effectue par capillarité, l'eau reste dans les cavités cellulaires et la paroi cellulaire est insuffisamment humide pour être attaquée par les champignons.

□ 3^e hypothèse

La torréfaction a modifié la constitution chimique du bois et a perturbé les actions enzymatiques des champignons. Un phénomène de « non reconnaissance » du substrat aurait lieu.

Parmi ces trois hypothèses, les hypothèses 2 et 3 paraissent les plus plausibles. En effet, les essais de reprise d'humidité ont mis en évidence :

- d'une part, que durant quinze jours le taux d'humidité des bois torréfiés placés dans la vermiculite réhumidi-

TABLEAU III

PERTE DE MASSE ET DEGRÉ D'HUMIDITÉ FINALE DU BOIS DE HÊTRE TORRÉFIÉ
EXPOSÉ AUX CHAMPIGNONS DE POURRITURE

			<i>Coriolus versicolor</i>	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	<i>Lentinus squarrosulus</i>	<i>Antrrodia sp.</i>
Bois non torréfié	perte de masse en %	maximale	26,8	27,1	28,7	43,7
		moyenne	21,8	16,4	22,6	38,3
		minimale	18,3	4,9	16,2	33,8
	taux d'humidité moyen en % en fin d'essai		56	38	75	50
Bois torréfié à 210 °C	perte de masse en %	maximale	15,0	11,3	26,6	41,0
		moyenne	6,0	3,8	13,0	24,1
		minimale	0,5	0,2	5,7	1,1
	taux d'humidité moyen en % en fin d'essai		33	26	58	41
Bois torréfié à 230 °C	perte de masse en %	maximale	17,2		15,6	25,5
		moyenne	4,4	0	6,4	2,6
		minimale	0,1		1,7	0
	taux d'humidité moyen en % en fin d'essai		36	0	48	48
Bois torréfié à 250 °C	perte de masse en %	maximale	2,8		9,7	
		moyenne	0,3	0	2,6	0
		minimale	0		0,8	
	taux d'humidité moyen en % en fin d'essai		30	20	48	49

fiée passe de 27 à 69 % ; ceci montre une certaine hydrophilie du bois torréfié ;

- d'autre part, que le gonflement des bois torréfiés, à la suite de la reprise d'eau, est de 4 à 5 % dans le sens tangentiel et de 2 à 2,5 % dans le sens radial alors qu'il est, pour les bois non torréfiés, de 13 % dans le sens tangentiel et 5 % dans le sens radial (NEYA, 1993) ; les parois cellulaires sont donc devenues très hydrophobes à la suite de la torréfaction.

ESSAIS TERMITES

Les éprouvettes torréfiées, que ce soit à 210 °C, 230 °C ou 250 °C, n'ont montré aucune résistance vis-à-vis des termites utilisés (*Reticulitermes santonensis* et *Heterotermes indicola*). Les attaques sont toutes du niveau 4 après huit semaines d'exposition.

Dans tous les cas, le taux de survie des insectes a été supérieur à 70 %, indiquant que le bois torréfié n'a été ni répulsif, ni toxique pour ces derniers.

CONCLUSION

Le procédé de torréfaction améliore la résistance du bois vis-à-vis des champignons. Par contre, l'action des termites n'est pas inhibée.

Il convient d'effectuer la torréfaction à une température supérieure à 210 °C, car les bois torréfiés à cette température sont dégradés par des champignons très virulents, tel *Antrrodia sp.*

Notre recherche a été menée en France dans l'optique d'un développement ultérieur au Burkina Faso ; au regard des résultats obtenus, la torréfaction n'ap-

paraît pas comme un moyen efficace de préservation du bois dans ce pays en raison de l'abondance des termites.

En région tempérée où les champignons sont les principaux agents de dégradation des bois, l'utilisation du procédé de torréfaction peut convenir. □

► Béli NEYA
IRBET
03 B.P. 7047
OUAGADOUGOU
Burkina Faso

► Gérard DÉON
CIRAD-Forêt
Maison de la Technologie
B.P. 5035
34032 MONTPELLIER CEDEX 1
France

► Bernard LOUBINOX
LERMAB
Université Nancy I
B.P. 239
54506 VANDŒUVRE-LES-NANCY CEDEX
France

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AFNOR, 1986.

Détermination du seuil d'efficacité contre les champignons lignivores cultivés sur milieu gélosé. Norme française NF X 41-552 homologuée EN 113.

AFNOR, 1981.

Détermination de l'efficacité préventive contre *Reticulitermes santonensis* de Feytaud. Norme française NF X 41-539 homologuée EN 118, 14 p.

BARTHOLIN (M.-C.) *et al.*, 1986.

Le bois torréfié : Etude du mécanisme réactionnel en vue d'une meilleure spécification du produit. A.F.M.E., 81 p.

BOURGEOIS (J.-P.), 1984.

Intérêt et perspectives d'une filière bois torréfié. Biomasse actualité n° spécial 5.

DEGLISE (X.), 1982.

Les conversions thermo-chimiques du bois. Revue forestière française, vol. 34(4), pp. 249-270.

NEYA (B.), 1993.

Etude des conséquences de la torréfaction sur les propriétés physico-chimiques, mécaniques et sur la durabilité biologique du bois de hêtre *Fagus Sylvatica* L. Mém. D.E.A. Sciences du bois. Université de Nancy 1, 49 p.

SCHWOB (Y.), BOURGEOIS (J.-P.), 1982.

Le bois torréfié, réducteur d'avenir ? Revue forestière française n° 131, vol. 34(16), pp. 419-427.

R É S U M É

CONSÉQUENCES DE LA TORRÉFACTION SUR LA DURABILITÉ NATURELLE DU BOIS DE HÊTRE

Au Burkina Faso, la dégradation biologique des bois pose de gros problèmes ; les termites, en particulier, provoquent beaucoup de dégâts.

Dans la recherche d'une alternative au traitement chimique, nous avons mesuré expérimentalement la durabilité conférée au bois de hêtre par la torréfaction.

Des éprouvettes de bois torréfiés à 210 °C, 230 °C et 250 °C et des éprouvettes-témoins ont été soumises à l'action des champignons (4 espèces) et des termites (2 espèces).

Les résultats ont montré que les attaques de champignons sont inhibées à certaines températures : *Antrodia* sp., champignon très virulent, arrive à dégrader les bois torréfiés à 210 °C. Par contre, nous n'avons pas observé d'influence particulière sur l'action des termites aux températures de torréfaction expérimentées.

Mots-clés : Bois. Préservation du bois. Torréfaction. Méthode d'essai. Termitidae. Basidiomycotina.

A B S T R A C T

CONSEQUENCES OF TORREFACTION ON THE NATURAL DURABILITY OF BEECH WOOD

In Burkina Faso, the biological degradation of wood raises major problems ; termites, in particular, cause much damage.

In seeking an alternative to chemical treatment, we measured experimentally the durability conferred on beechwood by torrefaction.

Specimens of wood torrefied at 210 °C, 230 °C and 250 °C and control specimens were subjected to the action of fungi (4 species) and termites (2 species).

The results showed that fungus attacks are inhibited at certain temperatures : *Antrodia* sp., a highly virulent fungus, is able to degrade wood torrefied at 210 °C. On the other hand, we did not observe any particular influence on the action of termites at the experimented torrefaction temperatures.

Key words : Wood. Wood preservation. Torrefaction. Trial methods. Termitidae. Basidiomycotina.

R E S U M E N

CONSECUENCIAS DE LA TORREFACCIÓN SOBRE LA DURABILIDAD NATURAL DE LA MADERA DE HAYA

En Burkina Faso, la degradación de la madera plantea graves problemas : en particular, las termitas provocan cuantiosos daños.

Al tratar de encontrar una alternativa del tratamiento químico, hemos evaluado experimentalmente la durabilidad conferida a la madera de haya por medio de la torrefacción.

Las probetas de madera torrefactadas a 210 °C, 230 °C y 250 °C y las probetas testigo se han sometido a la acción de los hongos (cuatro especies) y de las termitas (dos especies).

Los resultados han permitido demostrar que los ataques de los hongos quedan inhibidos a ciertas temperaturas : *Antrodia* sp., hongo sumamente violento, llega a degradar las maderas torrefactadas a 210 °C. En cambio, no se ha observado ninguna influencia particular respecto a la acción de las termitas a las temperaturas de torrefacción experimentadas.

Palabras clave : Madera. Conservación de la madera. Torrefacción. Métodos de ensayo. Termitidae. Basidiomycotina.