



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-memoires-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>



UNIVERSITÉ
DE LORRAINE

2011 – 2012



MASTER FAGE

*Biologie et Ecologie pour la Forêt,
l’Agronomie et l’Environnement*

Spécialité BF2E

*Optimisation des performances du bois traité
thermiquement vis-à-vis des termites*

Solafa SALMAN

Sous la direction

Philippe GERARDIN, Professeur, Université de Lorraine

Stéphane DUMARCAZ, Maître de Conférences, Université de Lorraine

Marie France THEVENON, CIRAD Montpellier

*Laboratoire d’Etude et de Recherche sur le Matériaux Bois, Faculté des Sciences et
Technologies, Boulevard des Aiguillettes, B.P. 70239, 54506 Vandoeuvre lès Nancy
<http://www.lermab.uhp-nancy.fr>*

Remerciements

Je tiens à présenter mes sincères remerciements à Monsieur le professeur *Philippe GERARDIN* et à Monsieur *Stéphane DUMARCAY* qui m'ont donnée l'opportunité de réaliser mon stage au sein du *Laboratoire d'Etude et de Recherche sur le Matériaux Bois (LERMAB)*. Leur disponibilité et leur patience pendant les six mois de stage m'ont permis de faire évoluer mes connaissances dans le monde de la recherche scientifique.

Je tiens également à remercier Madame Marie-France Thévenon, Docteur au CIRAD Montpellier (Centre International de Recherche Agronomique pour le Développement), qui m'a accueilli dans son laboratoire de préservation durant trois semaines afin de réaliser les essais avec des termites, et qui m'a guidé à travers ses conseils précieux .

SOMMAIRE

LISTE DES ABREVIATIONS

CONTEXTE ET OBJECTIFS	1
-----------------------------	---

I. Etude bibliographique

I.1. Etat de l'art sur la préservation du bois.....	3
I.2.Modification structurale du bois appliquée à l'amélioration de la durabilité.....	4
I.2.1 Traitement thermique	4
I.2.2.Traitement chimique	6

II. Matériel et méthodes

II . 1. Synthèse de monomère poly -glycérol / anhydride maléique (PG/AM)	7
II.2. Synthèse de méthacrylate de polyglycérol (PGMA)	8
II.3. Préparation des solutions et des éprouvettes	8
II.4. Imprégnation des éprouvettes	9
II.5. Traitement thermique du bois	10
II.6 Délavage du bore	10
II.7. Durabilité vis-à-vis des champignons basidiomycètes	10
II.7.1. Préparation des milieux de culture	11
II.7.2. Répartition des éprouvettes et exposition aux champignons	11
II.7.3. Examen des éprouvettes	12
II.8. Essais avec des termites	12
II.9. Dosage du bore	13

III. Résultats et discussions

III.1 Rétention du bore	15
III.2. Résistance aux termites	17
III . 3. Résistance aux Champignons.....	21

IV. Conclusion	23
----------------------	----

BIBLIOGRAPHI	25
--------------------	----

ANNEXE

LISTE DES ABREVIATIONS :

BAE : Boric Acid Equivalent

PG/AM : poly *glycérols / Anhydride maléique*

PGMA : méthacrylate de Poly glycérols

GMA : Glycidyl methacrylate

MEKP : Methyl ethyl ketone per-oxide

DMAP: 4- dimethylamino pyridine

Borax : Di sodium tetraborate

T.T : Traitement thermique

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Le bois est un matériau composite naturel, utilisé depuis fort longtemps dans de nombreuses applications. Malgré ces avantages techniques (légèreté, facilité d'emploi, grande résistance à la traction, module élastique élevé, faible densité, propriétés isolantes, caractère renouvelable, faible coût, esthétisme), il peut subir des agressions climatiques et celles des insectes et des microorganismes lorsqu'il est utilisé dans des conditions extérieures. Les polymères lignocellulosiques étant responsables de la plupart des propriétés physiques et chimiques du bois, leur dégradation entraînera une altération des propriétés du matériau.

Ainsi, un meuble en bois ou une structure peu exposé à l'humidité ne peuvent être attaqués que par des insectes, alors que toutes autres pièces de bois placées au contact du sol et exposées à l'humidité, seront sensibles aux micro-organismes (bactéries et agents de pourriture) et aux insectes.

Dans le cas de certains emplois ou en fonction des besoins énoncés dans le cahier des charges établi pour une construction ou un aménagement donné, l'utilisation d'une essence durable est envisageable. Toutefois, pour des raisons économiques, l'utilisation d'essences locales moins coûteuses et largement disponibles, mais à caractère non durable, sont privilégiées ; un traitement est alors nécessaire. Les démarches qui conduisent à l'obtention d'un bois traité adapté à un usage spécifique ne sont pourtant pas aisées. Elles intègrent de nombreux critères (nature et imprégnabilité de l'essence, méthode traitement, type de produit...) qui répondent généralement à des normes, à l'expertise des prescripteurs ainsi qu'aux exigences du constructeur.

Plusieurs approches de préservation et de stabilisation basées sur l'utilisation de biocides (produits huileux, hydrosolubles et organiques) sont possibles mais font l'objet de restrictions de plus en plus importantes voire d'interdiction pure et simple pour certains produits suite à la mise en place de la directive Biocide en 1998 . C'est dans ce

contexte qu'apparaissent de nouvelles alternatives pour la protection du matériau bois comme le développement de biocides plus respectueux de l'environnement, la modification chimique ou thermique du matériau.

Le traitement thermique est une méthode appropriée pour améliorer les propriétés de bois locaux à faible durabilité naturelle. Les modifications de la structure des constituants pariétaux générées suite au traitement thermique confèrent au matériau une meilleure stabilité dimensionnelle et une meilleure durabilité face aux champignons de pourriture mais se montrent inefficaces pour les applications en contact avec le sol ou en présence de termites.

Par ailleurs, le bore sous forme d'acide borique ou de borates constitue un produit de préservation efficace aussi bien contre les champignons et les termites présentant une faible toxicité pour les mammifères et l'environnement. Toutefois, ces produits présentent l'inconvénient d'être très lessivables ne les rendant pas utilisables pour des applications dans des conditions extérieures.

Dans ce contexte, l'objectif de notre travail a été d'associer deux types de traitements: (1) un traitement thermique connu pour augmenter la durabilité du bois vis à vis des champignons et (2) un traitement à base de sels de bore pour conférer au bois une résistance vis à vis des termites tout en augmentant également sa résistance aux champignons lignivores. Pour assurer la résistance du bore au lessivage, nous avons incorporé différents additifs dont le but est de former un réseau polymère lors du chauffage nécessaire au traitement thermique permettant ainsi de limiter la mobilité du bore incorporé dans ce réseau. Dans tous les cas, nous avons cherché à développer des traitements les plus respectueux de l'environnement en utilisant des additifs bio-sourcés ne faisant pas appel à l'utilisation de carbone fossile. Les additifs retenus découlent de travaux préliminaires réalisés au laboratoire et concernent des systèmes à base d'anhydride maléique de polyglycérols ou de méthacrylates de polyglycérols.

Ces traitements, si ils s'avèrent efficaces, pourraient permettre d'élargir les conditions d'utilisation bois traités thermiquement leur offrant des possibilités d'utilisation pour des classes 3 et 4 sans aucun problème ainsi que des applications dans des régions où le risque termites est important, notamment dans les pays du Sud.

I. Etude bibliographique

I.1. Etat de l'art sur la préservations du bois

Le bois d'œuvre non traité a généralement une durée de vie relativement courte. Certains experts prétendent que des traitements spécifiques pour les fondations en bois assurent une durée de vie utile d'au moins 50 ans.

On utilise communément des produits de préservation pour améliorer la durabilité du bois. on peut les classer en trois grandes familles:

- les goudrons et les huiles
- les produits organiques
- les sels métalliques

Historiquement, les produits "clés" les plus représentatifs et les plus utilisés sont la créosote, les produits organochlorés comme le pentaclorophénol (PCP) et ses dérivés, et les systèmes à base de chrome-cuivre arsenic (CCA). Ces solutions de préservation se sont révélées particulièrement efficaces pour la protection du bois, mais ne sont pas dénuées d'inconvénient en raison de leur toxicité pour les mammifères et leurs effets négatifs sur l'environnement d'où leur interdiction suite à la mise en place de la Directive Biocide.

Suite à l'interdiction des produits précédents, différents produits ont été proposés sur le marché concernant différents produits organiques possédant des propriétés fongicides (azotes, ammoniums quaternaires, carbamates...) ou insecticides (pyrèthres et autres dérivés de l'Imidachloprid) (Schultz et al., 2007). Ces produits, généralement issu du domaine agrochimique, présentent des performances intéressantes, mais restent relativement couteux et ne sont pas toujours bien adaptés pour des traitements de classe

4. Une autre famille de produits qui s'est développée suite à l'interdiction des produits historiquement utilisés concerne les produits à base de bore (Gentz and Grace, 2006; Obanda et al., 2008). Ces composés comme l'acide borique (H_3BO_3), le Borax (disodium tetraborate decahydrate, $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$) ou le Tim-Bor® (disodium octaborate tetrahydrate, $Na_2B_8O_{13} \cdot 4H_2O$), présentent l'avantage d'être incolores, inodores, ignifuges et peu toxiques pour l'homme tout en étant capables de pénétrer et de diffuser facilement dans le bois. Ils servent de traitements préventifs et curatifs du bois en jouant un rôle d'insecticide et de fongicide. Mais leur forte solubilité constitue un inconvénient à leur utilisation du fait du lessivage important limitant leur application à des classes de risques 1 et 2 essentiellement. Les sels de bore sont à l'heure actuelle très largement utilisés de part le monde pour le traitement du bois et d'autres applications excepté en Europe où leur classement comme produits "térapogènes" a limité considérablement leur utilisation au cours des dernières années.

I.2. Modification structurelle du bois appliquée à l'amélioration de la durabilité

Puisque la plupart des inconvénients de compatibilité environnementale sont liés à la nature chimique des produits biocides lessivables introduits dans le bois, il est envisageable de limiter ces impacts, en modifiant directement la structure chimique des polymères constitutifs des parois cellulaires grâce aux traitements thermiques et chimiques.

I.2.1 Traitement thermique du bois

I.2.1.1. Introduction

Les traitements thermiques consistent en une pyrolyse ménagée du bois ayant lieu entre 180 et 250°C, sous atmosphère pauvre en oxygène (azote, vapeur d'eau et gaz de combustion) ou bien en immersion dans un bain d'huile végétale chaude. De nombreuses réactions chimiques se produisent pendant le traitement et la composition du bois ainsi que ses propriétés sont alors considérablement modifiées, entraînant une

amélioration de certaines de ses propriétés comme son hydrophobicité, sa stabilité dimensionnelle et la durabilité du matériau, alors que d'autres propriétés comme ses propriétés mécaniques peuvent être plus ou moins affectées en fonction de l'intensité du traitement. Actuellement, il existe de nombreux procédés de traitement thermique connaissant pour la plupart un développement important (Esteves et al 2009). Ces traitements diffèrent les uns des autres par la variabilité des facteurs suivants :

- la température maximale atteinte au cœur du bois;
- la vitesse de montée en température;
- la durée totale du traitement;
- l'atmosphère utilisée (N₂, fumée, huile, etc.)...

I.2.1.2. Modifications chimiques du bois traité thermiquement

Le traitement thermique change la composition chimique du bois par thermo-dégradation des constituants de la paroi cellulaire et des extraits. Au début de la pyrolyse à basses températures (<150 °C), se manifeste le séchage du bois, par la perte d'eau libre puis de l'eau liée. La plage de température couramment utilisée pour les traitements thermiques est de 180 à 250°C, durant laquelle le bois subit des transformations chimiques importantes, telles que la dépolymérisation et la déshydratation des hémicelluloses, ainsi que la réticulation de la lignine (Hakkou et al. 2006). Alors qu'à des températures supérieures à 250°C s'installe le processus de carbonisation avec formation de CO₂ et d'autres produits de pyrolyse.

Les hémicelluloses sont les premiers composés structurels de la paroi cellulaire qui soient affectés, même à basses températures. La dégradation commence par la désacétylation et l'acide acétique libéré, qui agit comme catalyseur de la dépolymérisation, augmente encore la décomposition des polysaccharides. La cellulose est moins affectée par le traitement thermique, probablement en raison de sa fraction cristalline. La température de décomposition de la cellulose se situe entre 170°C et 400 °C.

I.2.2. Traitement chimique du bois

Principalement constitué de lignine, de cellulose et d'hémicelluloses, le bois est fortement hygroscopique du fait de la présence de nombreux groupements hydroxyle qui lui confèrent également une bonne partie de sa réactivité chimique proche de celle des alcools. De ce fait, le bois est rapporté pour réagir avec différents types de réactifs (Rowell 2005, Hill 2006), parmi lesquels les plus fréquemment utilisés sont :

- les anhydrides d'acides et les dérivés d'acides,
- les isocyanates,
- les époxydes,
- les halogénures d'alkyle.

Une autre technique de modification chimique du bois consiste à former un nouveau composite suite à l'imprégnation de résines ou de monomères polymérisables à l'intérieur du bois. Cette technique pourrait être une alternative prometteuse de l'environnement et socialement acceptables avec les biocides hautes toxiques utilisés actuellement dans la classe 4. Différents traitements ont été développés dans ce sens au laboratoire au cours des dernières années.

- Utilisation *pré polymères polyglycérol / anhydride maléique*

Ces monomères permettent de former un réseau tridimensionnel après imprégnation et polymérisation dans le bois. Roussel (2001) a mis au point au laboratoire, des monomères vinyliques hydrosolubles issus de la réaction entre un polyglycérol et l'anhydride maléique (figure 1).

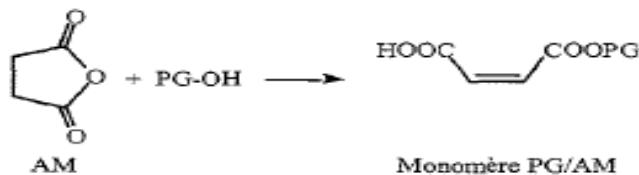


Figure 1. Réaction entre le polyglycérol et l'anhydride maléique

Ces monomères polymérisent *in situ* dans le bois, conduisant à la formation de polymères pouvant ou non présenter des liens chimiques avec le bois et qui se révèlent

être peu lessivables. Cette réaction permet de conférer une bonne stabilité dimensionnelle au bois et se révèle être efficace contre l'attaque de certains Basidiomycètes.

- *Utilisation de méthacrylate de polyglycérol*

Soulouunganaga (2004) a montré que la modification du bois par un mélange *méthacrylate de polyglycérol* (PGMA) donne une bonne stabilité dimensionnelle et permet d' augmenter la résistance du bois aux champignons.



Figure 2. Synthèse des méthacrylates de PG

L'intérêt de l' utilisation de méthacrylate de PG réside dans la solubilité en phase aqueuse du monomère alors que le polymère y est insoluble dans des conditions relativement douces de polymérisation par séchage à température ambiante.

Ces deux traitements à base de polyglycérols seront envisagés pour la suite de notre étude comme méthode de fixation du bore.

II. *Matériels et Méthodes*

II .1. *Synthèse de monomère poly -glycérol / anhydride maléique (PG/AM)*

Dans un réacteur de 100 ml, équipé d'un réfrigérant et d'un appareil de Dean-Stark, 10,8g (0,045mol) de polyglycérol sont mélangés avec 8,82 g (0,09 mol) d'*anhydride maléique*. Le mélange est chauffé à 80°C pendant 3 h (Roussel et al., 2001). L'avancement de la réaction est suivi par IR après avoir fait le mélange. La disparition rapide des bandes d'absorption caractéristiques de la fonction anhydride de l'anhydride

maléique et l'apparition progressive de la bande ester indiquent la formation du produit attendu. Une fois la réaction terminée, le mélange réactionnel est refroidi à température ambiante et on ajoute 176ml d'eau distillée pour obtenir une solution PG/AM à 10% (m / m).

II.2. Synthèse de méthacrylate de polyglycérols (PGMA)

Dans un ballon de 100 ml, équipé d'un agitateur mécanique, on place 30 g de polyglycérol en présence (300 mg) de dimethylaminopyridine (DMAP). Le mélange est alors chauffé à 70°C pour diminuer la viscosité du polyglycérol, puis 35,2 g de methacrylate de glycidyl sont ajoutés goutte à goutte pendant deux minutes. Le mélange réactionnel est maintenu à cette température pendant 15 minutes, puis progressivement refroidi à température ambiante avant d'être dilué dans l'eau distillée (587 ml) pour obtenir une solution de PGMA à 10 %. 1% de peroxyde de butanone (MEKP, Methyl Ethyl Ketone Proxide), un amorceur radicalaire, est ajouté juste avant l'imprégnation pour faciliter la polymérisation (Soulunganga et al, 2004).

II.3. Préparation des solutions et des éprouvettes

Des éprouvettes d'aubier de pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) de dimensions 30 mm x 10 mm x 5 mm (L,R,T) et 20 mm x 20 mm x 5 mm (L,R,T) sont mises à sécher 24h à 103°C (dans un étuve), puis maintenues à l'état anhydre jusqu'à leur traitement. La masse anhydre avant traitement est m_0 .

Les éprouvettes ont été imprégnées avec les solutions aqueuses suivantes.

- 1- BAE 2% (100ml): 3.125 g de borax avec 96.875 ml de l'eau distillée.
- 2- BAE 4% (100ml): 6.259 g de borax avec 93.759 ml de l'eau distillée.
- 3- PGMA 10% (100ml): 99 ml de PGMA 10% avec 1ml MEKP 1%.
- 4- PGMA 10 % + BAE 2% (100 ml): 3.125 g de borax avec 95.875 ml de PGMA10% et 1ml MEKP 1%.
- 5- PGMA 10% + BAE 4% (100ml) : 6.259 g de borax avec 93.759 ml de PGMA10% et 1ml de MEKP 1%.

6- PG/AM 10%(100ml): 99 ml de PG/AM 10% avec 1ml MEKP 1%.

7-PG/AM 10% + BAE 2 % : 3 .125 g de borax avec 95 .875 ml de PG/AM 10 % et 1ml de MEKP 1%.

8-PG/AM 10% + BAE 4% (100ml): 6 .259g de borax avec 93,759 ml de PG/AM 10 % et 1ml de MEKP 1%.

II.4 . Imprégnation des éprouvettes

Pour chaque série 40 éprouvettes sont traitées à l'aide du système d'imprégnation décrit ci dessous:

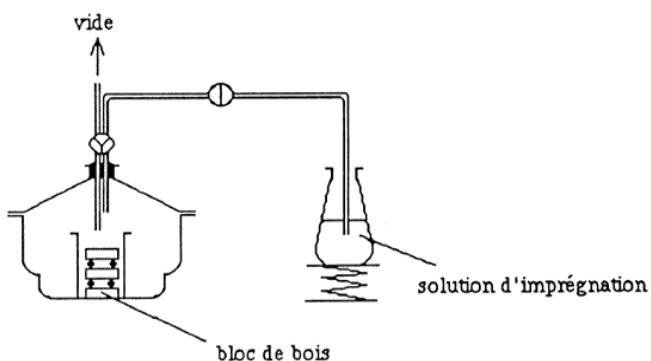


Figure 3 : Schéma du procédé d'imprégnation

Pour chaque imprégnation, les éprouvettes sont soumises aux cycles suivants.

- 15 min de vide à 5 mbar,
- introduction de la solution de préservation par aspiration à l'aide d'un robinet deux voies jusqu'à recouvrement complet des éprouvettes,
- 30 min à pression atmosphérique.

Les éprouvettes sont maintenues immergées 30 min avant d'être égouttées, puis séchées pendant trois jours dans une étuve à 103°C avant d'être pesées (m_1). On peut alors calculer le pourcentage de produit retenu dans le bois ou gain de masse par la formule suivante:

$$\text{Gain de masse (\%)} = \left(\left(m_1 - m_0 \right) / m_0 \right) \times 100 \quad \text{Equations (1)}$$

On peut calculer le gain de masse aussi en kg/m^3 en sachant que la masse volumique des éprouvettes utilisées est de $474 \pm 47 \text{ kg/m}^3$.

II.5. Traitement thermique du bois

Les éprouvettes de pin sylvestre traitées avec des solutions précédentes et une série d'éprouvettes non traitées (traitement thermique seul) ont été traitées thermiquement dans un four pendant 20 h. La température de cuisson est fixée à $222^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$. Les éprouvettes sont pesées à l'état anhydre m_2 . La perte de masse, explicable par la dégradation des hémicelluloses au cours du traitement thermique, est calculée par la formule suivante:

$$\text{PM}_{\text{Therm}} (\%) = ((m_1 - m_2) / m_1) \times 100 \quad \text{Equations (2)}$$

II.6. Délavage de bore

Pour chaque traitement, la moitié des éprouvettes 20 est lessivée selon la norme EN 1250-2 (1994) avant l'exposition aux champignons ou aux termites. Dix éprouvettes sont placées dans un récipient de 250 ml et contenant 100 ml d'eau distillée (1 volume de bois pour 5 volumes d'eau), lui-même est placé sur un agitateur mécanique à la température ambiante. Les éprouvettes sont alors soumises à trois cycles de lessivage (1, 2 et 4 heures) avec changement de l'eau entre chaque cycle. A la fin de cette première période, les éprouvettes sont séchées à l'air pendant 16 h. Elles sont alors soumises à trois cycles de lessivage pendant 8, 16 et 48 heures avec changement de l'eau entre chaque cycle. Les éprouvettes sont ensuite séchées pendant trois jours dans une étuve à 103°C , puis pesées (m_3). La perte de masse due au lessivage, est calculée par la formule suivante:

$$\text{PM}_{\text{les}} (\%) = ((m_2 - m_3) / m_2) \times 100 \quad \text{Equations (3)}$$

II.7. Durabilité vis-à-vis des champignons basidiomycètes

Le principe de la durabilité est simple : il s'agit d'une méthode qui quantifie la perte de masse de bois soumis à l'attaque de champignons. Nous avons retenu deux espèces de pourritures cubiques préconisées dans la norme EN113 de durabilité des bois traités par des produits de préservation pour réaliser nos essais : *Poria placenta* (PP) et *Coniophora puteana* (CP).

II .7 .1. Préparation des milieux de culture

Des éprouvettes de bois traitées 15 de chaque série lessivée ou non ont été déposé dans une culture fongique en boîtes de Pétri. Le milieu est préparé en mélangeant à chaud 40 g d'extrait de malt, 30 g d'agar dans 1 litre d'eau distillée. Le pH du milieu est ajusté à 4,8 à l'aide d'acide chlorhydrique IN, puis le mélange est stérilisé en autoclave pendant 20 minutes à une température de 120°C et sous une pression de 1 bar avant d'être coulé dans les boîtes de Pétri sous la hotte nettoyée à l'éthanol et à proximité d'une flamme. Après refroidissement et gélification, les milieux sont inoculés avec un disque gélosé de mycélium (diamètre 1 cm) d'une culture âgée de 2 semaines. Les boîtes sont incubées à 25°C et à 70 % d'humidité jusqu'à ce que le mycélium ait recouvert toute la surface de la boîte (de 1 à 2 semaines en moyenne).

II.7.2. Répartition des éprouvettes et exposition aux champignons

La répartition des éprouvettes est établie comme suit.

* 2 éprouvettes traitées par boîte de Pétri et par champignon considéré (PP ,CP) En plus de ces 2 éprouvettes traitées, on dispose, dans la même boîte, 1 éprouvette témoin non traitée. Pour chaque série, on réalise trois boites de Pétri (soit au total, trois boites pour chaque traitement et chaque souche de champignon).

* 3 éprouvettes traitées sont déposées sur un milieu gélosé non inoculé avec une souche fongique. Ces éprouvettes sont utilisées pour estimer la perte de masse due uniquement à la diffusion du produit durant le temps d'incubation. Cette perte de masse correspond au coefficient de correction. Pour chaque série, on réalise une boite de Pétri.

* 3 éprouvettes témoins (non traitées) par boîte de Pétri. Trois boîtes de Pétri sont utilisées pour chaque champignon considéré (soit au total 9 éprouvettes témoins dites "témoins de virulence").

Les boîtes de Pétri contenant les diverses éprouvettes de bois sont maintenues à 25°C et à 70% d'humidité relative pendant 12 semaines.

2.7.3. Examen des éprouvettes

A l'issue des 12 semaines d'incubation, les éprouvettes sont retirées des boîtes de Pétri, débarrassées du mycélium adhérent, séchées pendant 3 jours à l'étuve à 103°C puis pesées (m_4) .

La perte de masse des éprouvettes lessivées exposées aux champignons est déterminée selon la formule suivante:

$$PM_{bas} (\%) = ((m_3 - m_4) / m_3) \times 100 \quad \text{Equation (4)}$$

Celle des éprouvettes non lessivées exposées aux champignons calculée selon la formule:

$$PM_{bas} (\%) = ((m_2 - m_4) / m_2) \times 100 \quad \text{Equation (5)}$$

ou m_2 est la masse sèche des éprouvettes traitées après traitement thermique non lessivées, m_3 la masse sèche des éprouvettes traitées après traitement thermique et après lessivage et m_4 la masse sèche des éprouvettes traitées après traitement thermique lessivées ou non après 12 semaines d'exposition aux champignons.

La perte de masse après exposition aux champignons doit être corrigée, si nécessaire, en tenant compte des variations de masse non liées à l'activité des champignons lignivores, à l'aide d'un coefficient de correction .

Les pertes de masse des éprouvettes traitées sont comparées à celles des éprouvettes témoins non traitées servant de témoins de virulence. On évalue également visuellement la colonisation fongique se développant à la surface des éprouvettes témoins avec celle

des éprouvettes traitées. Cet examen permettra de s'assurer que la souche est bien active dans la boîte de Pétri.

II.8. Essais avec des termites

Ces essais ont été réalisés au CIRAD à Montpellier. Des éprouvettes d'aubier de pin sylvestre de dimensions 20*20*5 mm ou 30*10*5 mm lessivées ou non lessivées sont placées dans une enceinte climatique de conditionnement obscure, bien aérée et réglée à une température de $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ et à une humidité relative de $65\% \pm 5\%$ avant d'être exposées aux termites *Reticulitermes flavipes* (ex *santonensis* de Feytaud) provenant de l'île d'Oléron. Ces termites sont conservées en bacs d'élevage dans une enceinte climatique obscure, bien aérée et réglée à une température de $27^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ et humidité relative minimum de 75%.

La mise en présence (exposition du bois à l'attaque des termites) est réalisée selon une procédure d'essais rapides s'inspirant de la norme EN117 (2005).

La procédure consiste à répartir dans une boîte de Pétri de 90 mm de diamètre avec ergots de ventilation 40 g de sable de Fontainebleau humidifié (4 volumes du sable / 1 volume d'eau dé-ionisée sur 5 mm de hauteur environ). Chaque éprouvette de bois est placée dans une boîte sur support en plastique de façon à isoler l'éprouvette du sable. 100 ouvriers, 2 soldats et 2 nymphes de termites sont alors placés dans chacune des boîtes. Quelques fragments de bois (issus de l'élevage de départ) de masse inférieure à 0,5 g sont également introduits dans chacun des boîtes. Les boîtes sont regroupées à l'intérieur de large bac en plastique pour pouvoir récupérer les termites si ils s'échappent. Les boîtes de Pétri sont placées dans une enceinte climatique d'essai termite, obscure, bien aérée et réglée à une température de $27^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ et à une humidité relative minimum de 75% pendant 4 semaines durant lesquelles l'activité des termites est suivie de façon hebdomadaire.

À la fin de l'essai, les éprouvettes sont retirées des boîtes de Pétri, nettoyées avec une brosse douce pour enlever le sable. Les termites survivants sont comptés et les éprouvettes de bois pesées pour calculer l'humidité fin d'essai avant d'être séchée à l'air

libre et pesées m_5 . A ce stade, une cotation visuelle de l'attaque engendrée par les termites est réalisée selon les critères suivants définis dans la norme EN 117 (Annexe 1):

- cotation 0 aucune attaque
- cotation 1 tentative d'attaque
- cotation 2 attaque légère
- cotation 3 attaque moyenne
- cotation 4 attaque forte à destruction totale

Les éprouvettes sont finalement séchées à l'étuve (103°C) pour obtenir leur masse anhydre et déterminer la perte de masse due à l'attaque de termites selon la formule suivante:

$$\text{PM}_{\text{ter}} (\%) = ((m_3 - m_5) / m_3) \times 100 \quad \text{Equation (6)}$$

Celle des éprouvettes non lessivées exposées aux termites calculée selon la formule:

$$\text{PM}_{\text{ter}} (\%) = ((m_2 - m_5) / m_2) \times 100 \quad \text{Equation (7)}$$

II.9. Dosage du bore

Les concentrations de bore présentes dans les éprouvettes ont été déterminées selon la norme AWPS A7-04. Les éprouvettes de bois sont broyées pour obtenir une sciure de granulométrie inférieure à 0,5 mm.

Environ 1g sciure de bois provenant de chaque échantillon est pesé avec précision à 0,01g et placé dans une fiole Erlenmeyer de 50 ml. 15 ml d'acide nitrique (65 %) sont ajoutés dans chaque fiole et ces dernières sont placées sur une plaque chauffante à 60°C . L'oxydation de la matière organique conduit alors à un dégagement de vapeurs rousse de dioxyde d'azote. Une fois que le dégagement de NO_2 a cessé, la température est augmentée à 80°C , puis 5ml de peroxyde d'hydrogène (30%) ajoutés goutte à goutte. Si la solution n'est pas clair, on ajoute à nouveau 5ml de peroxyde d'hydrogène. Après refroidissement la solution est filtrée à l'aide d'un papier filtre Whatman n°4. Le filtrat

est récupéré avec précaution et transféré en même temps que les eau de rinçage dans une fiole jaugée de 100 ml pour effectuer le dosage du bore par absorption atomique.

III. Résultats et discussion

III.1. Rétention du bore

Le tableau 1 présente les rétentions après traitement (gain de masse), la perte de masse due au traitement thermique à 220°C pendant 20h PM_{Therm} et les taux de rétention du bore dans les éprouvettes de pin sylvestre lessivées et non lessivées pour chacune des combinaisons .

Tableau 1. Caractéristiques des différentes éprouvettes après traitement

Traitement	Gains de masse		PM_{Therm}	Rétention de bore	
	% Moyenne (Ecart -type)	Kg / m3 Moyenne (Ecart -type)		% Moyenne (Ecart- type)	Sans lessivage Kg/m3 BAE
BAE2%	2,19 (0,84)	10,95 (4,21)	11,1 (2,05)	12,01	0
BAE4%	4,36 (0,98)	21,78 (4,92)	10,79 (1,85)	26,2	0
PG/AM+BAE4%	19,67 (2,74)	98,37 (13,7)	11,42 (1,86)	23,68	12,58
PG/AM+BAE2%	18,51 (1,98)	92,55 (9,92)	11,77 (3,65)	11,43	3,68
PG/AM 10%	14,93 (3,13)	74,64 (15,64)	14,42 (3,03))	0	0
PGMA+BAE2%	17,89 (2,04)	89,74 (10,21)	11,53 (1,62)	6,99	3,22
PGMA+BAE4%	17,99 (2,09)	91,46 (10,45)	11,05 (1,72)	9,15	2,54
PGMA 10%	15,08 (2,75)	80,41 (13,77)	15,88 (4,24)	0	0
T.T	-	-	8,53 (2,05)	0	0

a : moyenne sur 40 éprouvettes

b : Moyenne sur 40 éprouvettes

c ,d : une éprouvette

D'après ce tableau, on note que le pourcentage de gains de masse après l'imprégnation varient selon les solutions aqueuses. Quand on utilise le borax seul, on trouve que le taux de rétention est environ le double pour les éprouvettes traitées avec la solution de borax à 4% de BAE (4,36%), comparativement aux éprouvettes traitées par à 2% de BAE (2,19%). En revanche les éprouvettes traitées avec les combinaisons AM/PG ou PGMA à 10% sans borax indiquent des gains de masse aux alentours 14 et 15%. L'ajout de bore à ces traitements conduit à des gains de masse encore supérieurs de l'ordre de 17 à 19 %.

Lors du traitement thermique réalisé à la température 220 °C pendant 20h, les éprouvettes traitées avec les combinaisons PG/AM ou PGMA à 10% sans borax présentent les plus fort taux de dégradation de l'ordre de 14 à 15%, alors que l'ajout de borax à 2 ou 4% BAE à ces traitement réduit systématiquement les pertes de masse dues au traitement thermique. Le bois non traité (traité thermiquement) présente les plus faibles pertes de masse (8,53%). A la vue de ces résultats, il semble que le bois traité avec des solutions de PG/AM ou de PGMA soit plus sensible à thermodégradation que le bois non traité indiquant que les différents systèmes imprégnés dans le bois sont plus sensibles que les polymères pariétaux du bois aux réactions de dégradation. La présence de borax semble retarder les réactions de thermodégradation dans le cas des bois imprégnés avec les solutions de PG/AM ou de PGMA. Les pertes de masse des éprouvettes traitées par le borax seul sont quant à elles légèrement supérieure à celle du bois non traité. Le borax pourrait retarder les réactions de thermodégradation survenant dans le cas des éprouvettes traitées avec les différents dérivés du polyglycérol.

Les taux de rétention du bore avant et après lessivage en présence des différents traitements sont présentés dans la figure 4.

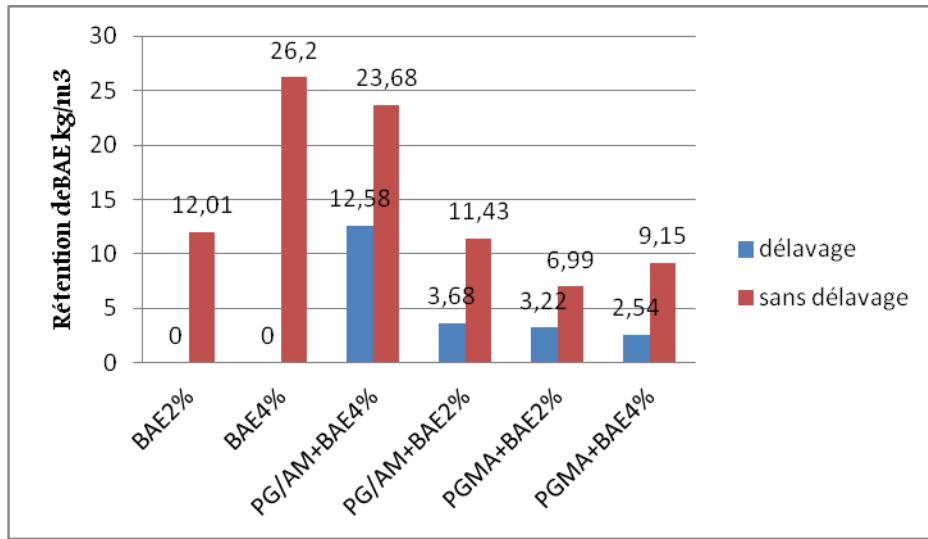


Figure 4. Taux de rétentions du bore avant et après lessivage en présence des différents traitements

Les rétentions en bore sont exprimées en kg BAE / m³ bois. Comme cela était attendu, lorsque le borax est utilisé seul, la rétention du bore après lessivage est très faible et proche de zéro, tandis que les éprouvettes ayant été traitées par borax avec les combinaisons PG/AM ou PGMA montrent globalement une meilleure rétention du bore après lessivage. Ces résultats s'expliquent par la création d'un réseau polymère capable de fixer le bore et de retarder son lessivage à partir du bois traité .

On peut également remarquer que le bois traité au PGMA présente globalement des taux de rétentions en bore moins importantes que le bois imprégné avec PG/AM lessivé ou non. La nature de l'additif utilisé influence donc le résultat final obtenu.

3.2.Résistance aux termites

Les pertes de masse (PM_{ter} %) et la cotation des éprouvettes traitées ou non avec ou sans lessivage exposées aux termites sont rapportés dans le tableau 2 et la figure 5.

Tableau 2. Effet des différents traitements sur la durabilité d'éprouvettes d'aubier de pin sylvestre après quatre semaines d'exposition à *Reticulitermes Santonensis*.

Traitement	Avec délavage			Sans délavage		
	PM _{ter} % ^a	Taux de survie (%) ^a	Cotation (fréquence) ^a	PM _{ter} % ^a	Taux de survie (%) ^a	Cotation (fréquence) ^a
BAE2%	16,07 ± 8,25	21	4 (100)	3,78 ± 0,31	0	1 (100)
BAE4%	8,51 ± 1,8	18	4 (100)	3,37 ± 1,04	0	1 (100)
AM/PG+BAE4%	6,66 ± 1,11	0	4 (100)	3,17 ± 0,57	0	1 (100)
PG/AM+BAE2%	3,76 ± 0,54	0	4 (100)	2,96 ± 0,79	0	1 (100)
PG/AM 10%	5,53 ± 0,7	2	4 (100)	6,88 ± 2,77	4	4 (100)
PGMA+BAE2%	3,45 ± 0,83	0	4 (100)	2,96 ± 0,43	0	2 (50) ; 1 (50)
PGMA+BAE4%	2,45 ± 0,23	0	4 (75); 3 (25)	2,81 ± 0,33	0	1 (75) ; 2 (25)
PGMA 10%	5,95 ± 1,41	2	4 (100)	5,46 ± 1,74	1	4 (100)
T.T	29,03 ± 2,31	60	4 (100)	19,92 ± 2,64	54	4 (100)
Témoins^b	20 x 20 x 5 mm ³			30 x 10 x 5 mm ³		
	26,17 ± 3,99	87	4 (100)	17 ± 2,78	80	4 (100)

^a moyenne sur 4 éprouvettes

^b moyenne sur 18 éprouvettes

D'après les résultats obtenus, les éprouvettes traitées chimiquement lessivées ou non lessivées sont moins dégradées que les éprouvettes témoins. La présence de bore améliore légèrement la durabilité du bois mais le traitement chimique confère à lui seul une forte amélioration de durabilité. Les éprouvettes de pin sylvestre traitées thermiquement à la température 220 C° pendant 20h sont par contre fortement attaquées et présentent les pertes de masse les plus élevées environ (29 %) contre 26% pour les éprouvettes témoins (Annexe 2 Fig 1 ; 2). Ces résultats sont similaires à ce qui

est généralement rapporté dans la littérature indiquant que le bois traité thermiquement est plus attractif vis à vis des termites que le bois non traité. Ceci pourrait s'expliquer par une plus meilleure accessibilité de la cellulose dans les éprouvettes traitées thermiquement comparativement aux éprouvettes témoins. Les éprouvettes traitées avec du borax uniquement présentent de bonnes performances avant délavage, mais voient leur durabilité diminuer après délavage du fait du lessivage du bore qui n'est pas retenu dans le bois. Les taux de survie des termites sont faibles dans tous les cas excepté dans le cas des éprouvettes non traitées et de celles traitées avec du bore uniquement et lessivées indiquant que les systèmes envisagés pour fixer le bore présentent une bonne efficacité.

Les cotations réalisées varient de 1 (tentative d'attaque) à 4 (attaque forte) en fonction des traitements. Même lorsque le traitement semble efficace avec des pertes de masse faibles et un taux de survie des termites nul, des cotations de 4 peuvent être observées. Ceci s'explique par le fait que le bore n'est pas répulsif et que les termites doivent d'abord en ingérer de petites quantités avant que ce dernier ne fasse effet.

En effet les termites ingèrent le bois après un passage très rapide dans le tube digestif . Le bore contribue d'une part à réduire le nombre de protozoaires symbiotiques contenus dans l'appareil digestif des insectes, il possède aussi une action毒ique au niveau cellulaire mais il n'a pas d'effet répulsif vis à vis des termites.

La figure 5 rassemble et compare les pertes de masse sur les différents lots d'éprouvettes avec ou sans lessivage.

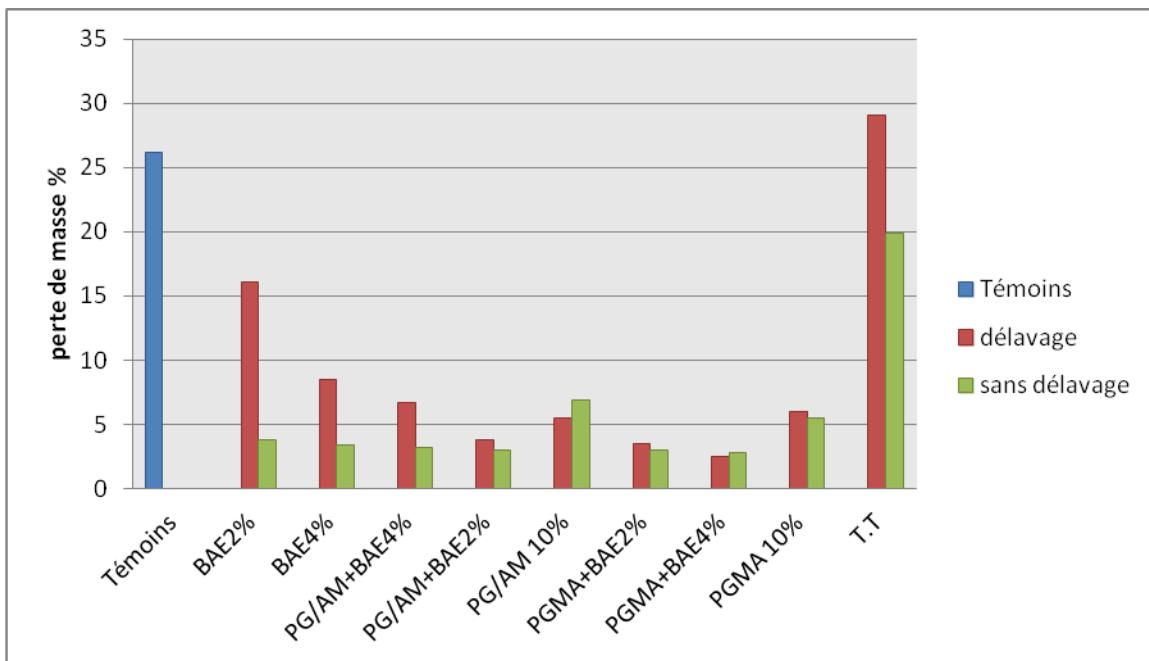


Figure 5. Pertes de masse d'éprouvettes de pin sylvestre lessivées et pas lessivées à l'issue d'un test accéléré de quatre semaines avec des termites

La littérature indique qu'une rétention de $6,74 \text{ kg BAE/m}^3$ est suffisante pour protéger le pin contre cette espèce de termites (Lloyd, 1997).

Pour tous les traitements avec du borax (seul et en présence de PG/AM ou de PG/AM), la rétention du bore avant lessivage est au dessus du seuil d'efficacité (cf. figure 4) conduisant à des pertes de masses très faibles et à une bonne efficacité du traitement. Les pertes de masse sont très similaires parce que le bore est un ingrédient毒ique mais non répulsif, les termites doivent ingérer du produit avant de mourir et toutes ces éprouvettes ne subissent que des tentatives d'attaque. Ceci permet de souligner que la perte de masse et les cotations visuelles sont des critères très différents et difficiles à corrélés en fonction de type de produit (répulsif ou non...)

Après lessivage, le taux du bore restant dans les échantillons traités avec le borax uniquement n'est plus suffisant et tous subissent des attaques fortes. les éprouvettes deviennent sensibles à la dégradation causée par les termites conduisant à des pertes de masse aux alentours 16% dans le cas les éprouvettes imprégnées avec 2% de BAE

et 8,51% pour celles à 4% de BAE, mais ces pertes de masse restent inférieures à celles des témoins (26%) (Annexe 2 fig 1 ;3 ;4).

Les combinaisons Borax - polyglycérols /anhydride maléique ou borax - méthacrylate de polyglycérols montrent une bonne efficacité vis à vis de Reticulitermes flavipes. Ces formulations sont capables de limiter le délavage du bore, mais les résultats concernant le dosage du bore (figure 4) montrent que la quantité résiduelle du bore après lessivage n'est pas suffisante après lessivage, en théorie, pour protéger le bois. La durabilité de ces éprouvettes semble due à un double effet associant modification chimique du bois et bore présent dans le bois. Ces résultats sont confirmés par les résultats obtenus avec les traitements à base de polyglycérols /anhydride maléique ou méthacrylate de polyglycérols présentant une résistance inattendue aux termites (2Annexe 2 fig 5 ;6 ;7 ;8 ;9 ;10).

III .3. Résistance aux Champignons

Nous avons testé la durabilité de pin sylvestre traitées ou non avec deux champignons de la pourriture brune: *Poria placenta* et *Coniophora puteana*.

Les résultats de durabilité avec *Coniophora puteana* ne seront pas présentés du fait d'un manque de virulence de ce dernier se traduisant par des pertes de masse inférieures à 7% avec le bois non traité, alors que ces dernières devraient être supérieures à 25% pour que le champignon soit considéré comme suffisamment virulent.

Ce manque de virulence peut s'expliquer de différentes façons: durée des essais délibérément raccourcie du fait de la durée du stage, mais aussi développement de moisissures dans toutes les boites de Pétri incubées avec *Coniophora puteana* pouvant être à l'origine de ce manque de virulence .

De ce fait, seuls les résultats obtenus avec des *Poria placenta* seront présentés dans ce rapport dans le figure 6.

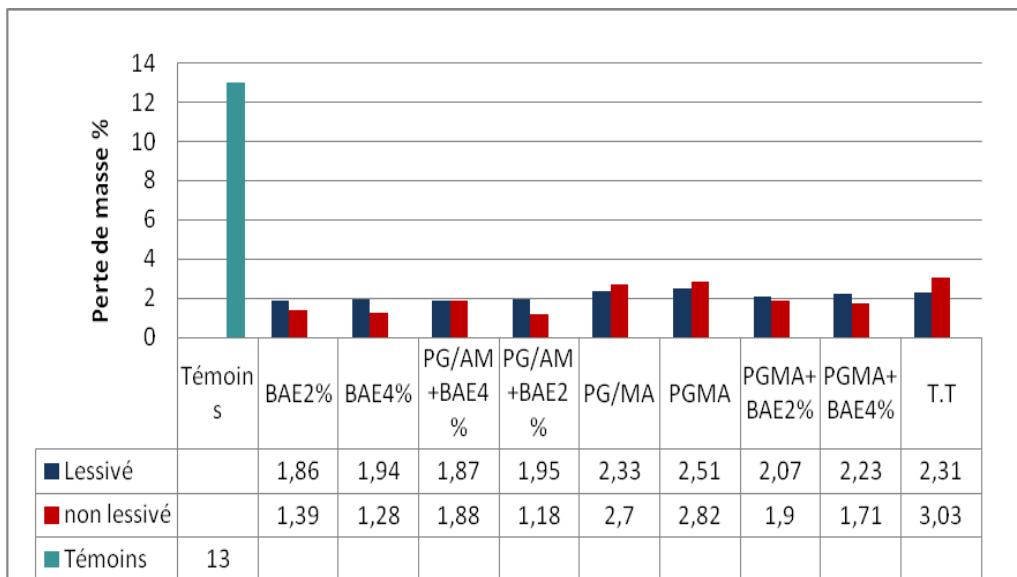


Figure 6 : Pertes de masse des éprouvettes de pin sylvestre après 12 semaines d'exposition à *Poria placenta*

Après 12 semaines, les éprouvettes témoins présentent une perte de masse moyenne de 13% à la fin d'essais (Annexe 3 fig1). Cette valeur est inférieure à la valeur de 20% théoriquement nécessaire pour valider l'essai au sens de la norme EN 113.

Après traitement thermique, les éprouvettes présentent des pertes de masse de 2,31 et 3,03 % selon qu'elles ont été ou non soumises à un lessivage. Ces résultats indiquent que le traitement thermique permet d'augmenter la durabilité du bois face à l'attaque des champignons basidiomycètes. Ceci est cohérent avec les résultats de littérature (Hakkou et al. 2006).

On observe une inhibition de la croissance du champignon sur les éprouvettes traitées avec borax (seul ou en présence de PGMA ou de PG/AM) , l'inhibition de croissance est visible même après lessivage pour les éprouvettes traitées aussi par des combinaisons borax en présence de PGMA ou de PG/AM, confirmant le seuil d'efficacité des borates

vis à vis de *Poria placenta* rapporté dans la littérature étant de 0,36 Kg/m³ (Lloyd, 1997) (Annexe 3 figure 2 ;3 ;4 ;5 ;8 ;10). L'activité biologique des borates est principalement due aux ions tetrahydroxyborate [B(OH)₄]⁻ qui forment des complexes avec des polyols du bois détruisent les champignons par la séquestration des substrats extracellulaires et intracellulaires, l'inhibition des systèmes enzymatiques et des changements dans la fonction des membranes. D'autre part, la durabilité conférée par le traitement thermique peut également expliquer les résultats obtenus.

Par ailleurs, les éprouvettes traitées par des combinaisons (PGMA, PG/AM) sans borax ou avec du borax seul suivi d'un traitement thermique peuvent être considérés comme résistantes vis à vis de *Poria placenta* (Annexe 3 figure 6 ; 9). En effet, des pertes de masse très faibles inférieures à 3% sont obtenues dans tous les cas aussi bien sur les éprouvettes non lessivées que celles lessivées. Ces résultats peuvent s'expliquer par l'effet du traitement thermique à haute température et à une éventuelle synergie avec le traitement de modification chimique lié à l'utilisation d'anhydride maléique et de polyglycérol ou de méthacrylates de polyglycérol.

IV. Conclusion

L'objectif de notre travail était d'évaluer l'effet du traitement thermique en préscience des combinaisons PGMA, PG/AM avec ou sans borax en tant que méthode de préservation du bois à faible impact environnemental. Notre travail a donc consisté à déterminer l'efficacité de ces traitements sur la durabilité conférée vis-à-vis d'organismes de dégradation du bois, termites et champignons basidiomycètes. L'effet attendu de ces traitements était une amélioration de la durabilité vis à vis des termites, le traitement thermique étant connu pour augmenter la durabilité aux champignons basidiomycètes.

Les principales conclusions de cette étude sont les suivantes :

- 1- Le bois traité thermiquement seul à la température 220°C pendant 20 h peut être considéré comme durable vis à vis des *Poria placenta*, mais non durable vis à vis de *Reticulitermes flavipes*.
- 2- l'utilisation d'anhydride maléique et de polyglycérol ou de méthacrylates de polyglycérol associés au traitement thermique permet de limiter lessivage du bore comparativement aux traitements réalisés avec du borax seul.
- 3- Les modifications chimiques réalisées suite à l'imprégnation de solution à 10% d'anhydride maléique et de polyglycérol ou de méthacrylates de polyglycérol suivies d'un traitement thermique permettent d'augmenter la durabilité du bois vis à vis des *Poria placenta* ainsi que de *Reticulitermes flavipes*.
- 4- Les modifications chimiques réalisées suite à l'imprégnation de solution à 10% d'anhydride maléique et de polyglycérol ou de méthacrylates de polyglycérol en présence de borax suivies d'un traitement thermique permettent d'augmenter la durabilité du bois vis à vis des *Poria placenta* ainsi que de *Reticulitermes flavipes*. La durabilité conférée semble due à un effet cumulé du traitement thermique, de la modification chimique et du bore dans le cas des champignons et de la modification chimique et du bore dans le cas des termites.

Les résultats obtenus durant ce stage montrent qu'il semble possible de développer des traitements permettant de conférer au bois une durabilité aussi bien vis à vis des termites que des champignons. Des expérimentations complémentaires seront toutefois nécessaires pour cerner avec précision les potentialités de ces nouveaux traitements.

BIBLIOGRAPHI

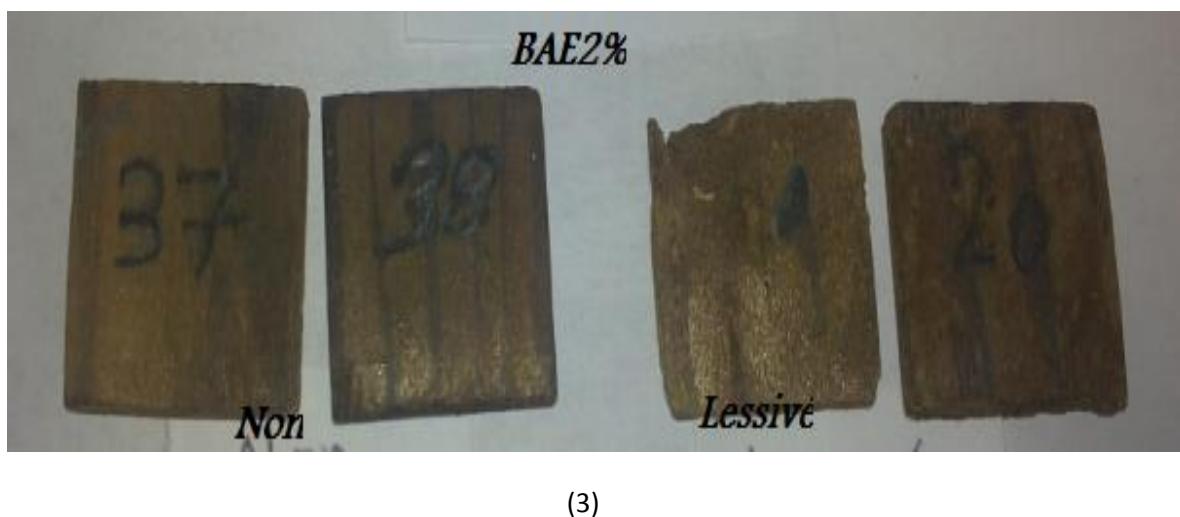
- 1.Bruno M. Esteves / Helena M. Pereira.** A review. Wood modification by heat treatment (2009). BioResources, Vol, **4**: 370 –374.
- 2.Caldeira,F.** Boron in wood preservation, (2010). A Review in its physic – chemical Aspects. Silva Lusitana, vol **18**(2): 179 – 196.
- 3.Chaouch, M. Pétrissans, M. Pétrissans, A. Gérardin, P.** Use of wood elemental composition to predict heat treatment intensity and decay resistance of different softwood and hardwood species,(2010). Polymer Degradation and Stability. Vol.**95**, 2255–2259.
- 4.Hakkou, M. Pétrissans, M. Gérardin, P. Zoullalian ,A.** Investigation of the reasons for fungal durability of heat-treated beech wood, (2006). Polymer Degradation and Stability. Vol.**91**, 393–397.
- 5.Lyon, F. Thévenon, M.F. Hwang, W.J. Imamura, Y. Pizzi, A.** Effect of an oil heat treatment on the leachability and biological resistance of boric acid impregnated wood, (2007). Annals of Forest Science, ,vol **64**: 673 – 678.
- 6.Lyon, F.**(2007) Amélioration de la durée de vie d'essences peu durables ` a l'aide d'un traitement combiné borates/huiles végétales. Ph.D. Thèse, Université de Montpellier II, 263 p .
- 7.Lyon ,F. Pizzi, A. Imamura, Y. Thevenon, M.F. Kartal ,N. Gril ,J.** Leachability and termite resistance of wood treated with a new preservative: ammonium borate oleate, (2007). Holz Roh- Werkst ,vol **65**(5):359–366.
- 8.Lyon, F. Thévenon, M.F. Hwang, W.J. Imamura, Y. Pizzi, A.** Impact d'un traitement oleothermique sur le lessivage et la durabilité du bois traité à l'acide borique, (2007). Holzorschung, vol **57**: 593–596.
- 9.Margaret C. Gentz, and J. Kenneth Grace. J. Agric.** A Review of Boron Toxicity in Insects With an Emphasis on Termites,(2006). Urban Entomol. **23**(4): 201–207.
- 10.Mohareb,A. Thévenon,M.F. Wozniak,E. Gérardin,p.** Efficacy of boron wood preservatives against decay and termites,(2010). International Biodeterioration & Biodegradation, vol **64**: 135–138.
- 11.Mohareb,A. Thévenon,M.F. Wozniak,E. Gérardin,p.** Efficacy of boron Wood preservatives against fungal decay and termite attack,(2011). wood sci technol,vol 45: 407–417.

- 12. Nami,K.S.** Combined effect of boron compounds and heat treatments on wood properties : Boron release and decay and termites, (2006). Holzforschung,Vol.60 :455–458.
- 13.Nami Kartal,S. Hwang,w.J. Imamura,Y.** Compounds and heat treatments on wood properties. Chemical and strength properties of wood, (2008). Journal of materials processing technology, vol **198**: 234–240.
- 14.Obanda,D. Shupe,T.** Barnes,H. Reducing leaching of boron – based wood preservatives, (2008).A review of research. Bioresource Technology,vol **99** :7312- 7322 .
- 15.Roussel,C. Marchetti,V. Lemor,A. Gérardin,P.** Chemical Modification of Wood by Poly glycerol / Maleic Anhydride Treatment,(2001). Holzforschung,vol **55**: 57–62.
- 16.Soulounganga,P. Loubinoux,B. Lemor,A. Gérardin,P.** Improvement of wood properties by impregnation with poly glycerol methacrylate.(2004). Holz Roh Werkst, vol **62**: 281–285.
- 17.Thévenon, M.F.(1999).** Développement de formulations de produits de préservation du bois de faible toxicité et à longue durée d'action Application aux associations acide borique–26tanins condensés et aux associations acide borique–protéines . Thèse de Doctorat . Technologies industrielles – Sciences du bois, Université Nancy1,Nancy, France .
- 18.Tomak, E.D. Viitanen, H. Yildiz ,U.C. Hughes,M.** The combined effects of boron and oil heat treatment on the properties of beech and Scots pine wood, (2011). J Mater Sci, vol **46** : 608–615.
- 19.Tor P Schultz, Darrel D Nicholas and Alan F Preston.** Perspective. A brief review of the past, present and future of wood preservation Pest Management,(2007). Science Pest Manag Sci,vol **63**:784–788.

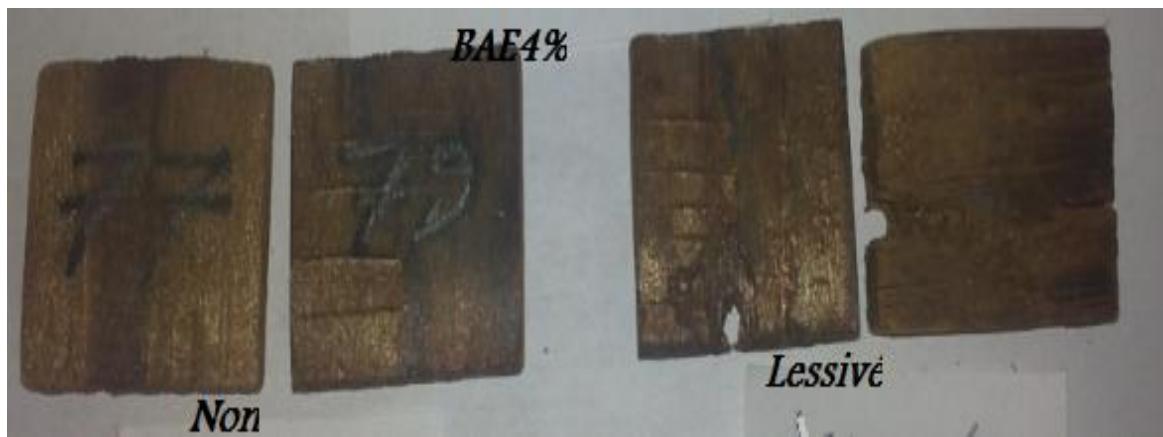
ANNEXE 1 : Tableau de cotation selon EN 117

Cotation	Caractéristiques de l'attaque	
0	aucune attaque	-
1	Tentative d'attaque	a : Erosion superficielle de profondeur échappant à toute mesure sur une zone non délimitée de l'éprouvette, ou
		b : Attaque jusqu'à 0,5 mm de profondeur, limitée à une ou plusieurs zones dont la surface totale ne dépasse pas 30mm ² , ou
		Une combinaison de a et b .
2	attaque légère	a : Erosion de 1 mm de profondeur, limitée à 1/10 de la surface de l'éprouvette (1/10 = xxx mm ²), ou
		b : Forage unique jusqu'à 3 mm de profondeur, ou
		Une combinaison de a et b .
3	attaque moyenne	a : Erosion inférieure à 1 mm de profondeur sur plus de 1/10 de la surface de l'éprouvette, ou
		b : Erosion de 1 à 3 mm sur au plus 1/10 de la surface de l'éprouvette, ou
		c : Forages isolés de profondeur supérieure à 3 mm et ne s'étendant pas en cavités, ou
		Toute combinaison de a , b ou c .
4	attaque forte	a : Erosion de 1 à 3 mm sur une étendue supérieure à 1/10 de la surface de l'éprouvette, ou
		b : Forage pénétrant supérieure à 3 mm s'étendant en cavité dans la masse de l'éprouvette, ou .
		Une combinaison de a et b .

ANNEXE 2: Les éprouvettes de pin sylvestre lessivées et pas lessivées à l'issue d'un test accéléré quatre semaines avec des termites *Reticulitermes Santonensis*.



(3)



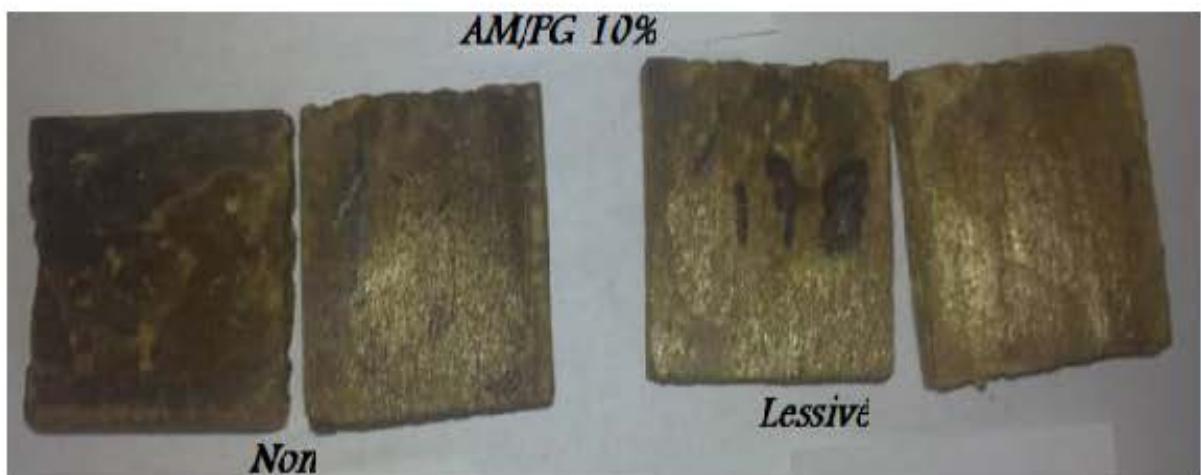
(4)



(5)



(6)



(7)



(8)



(9)

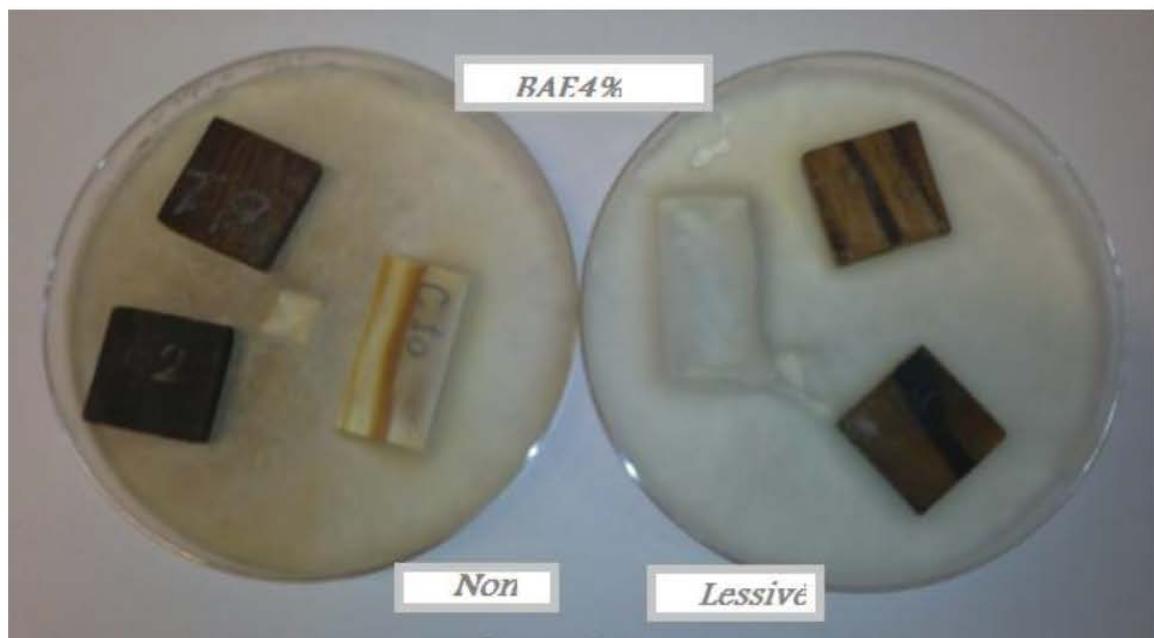


(10)

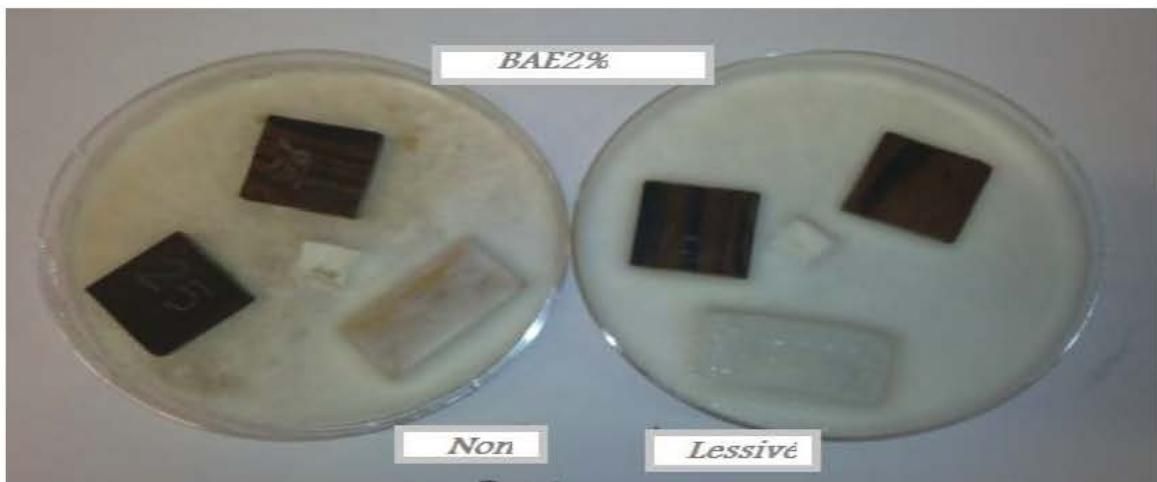
ANNEXE 3: Les éprouvettes de pin sylvestre lessivées et pas lessivées à l'issue d'un test accéléré 12 semaines d'exposition aux poria placenta cultivés en boîte de pétri.



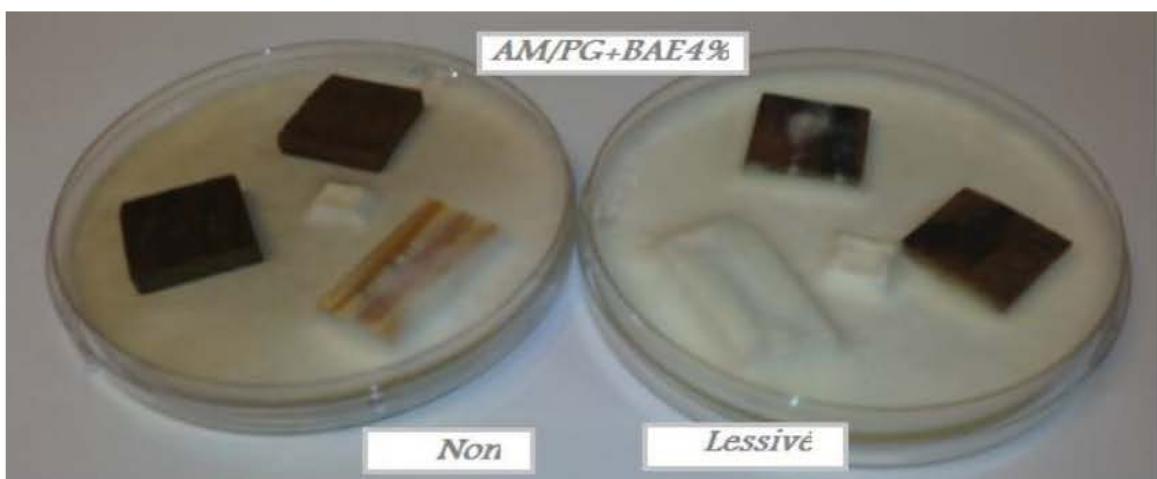
(1)



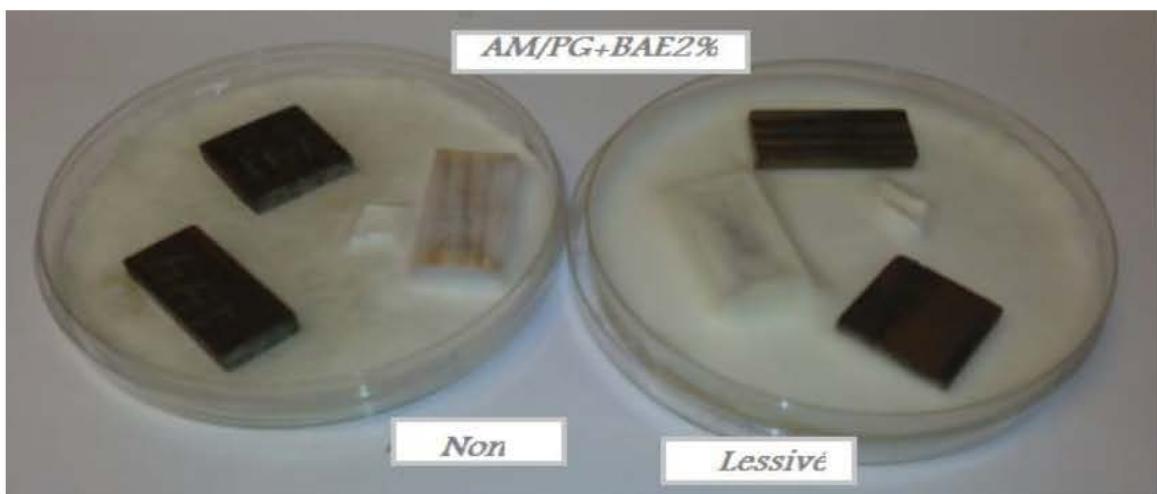
(2)



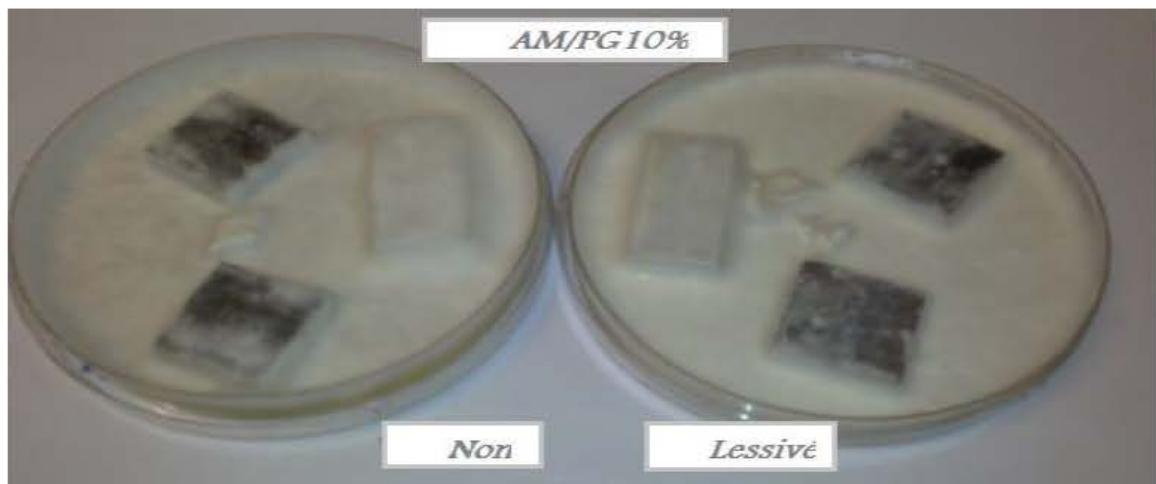
(3)



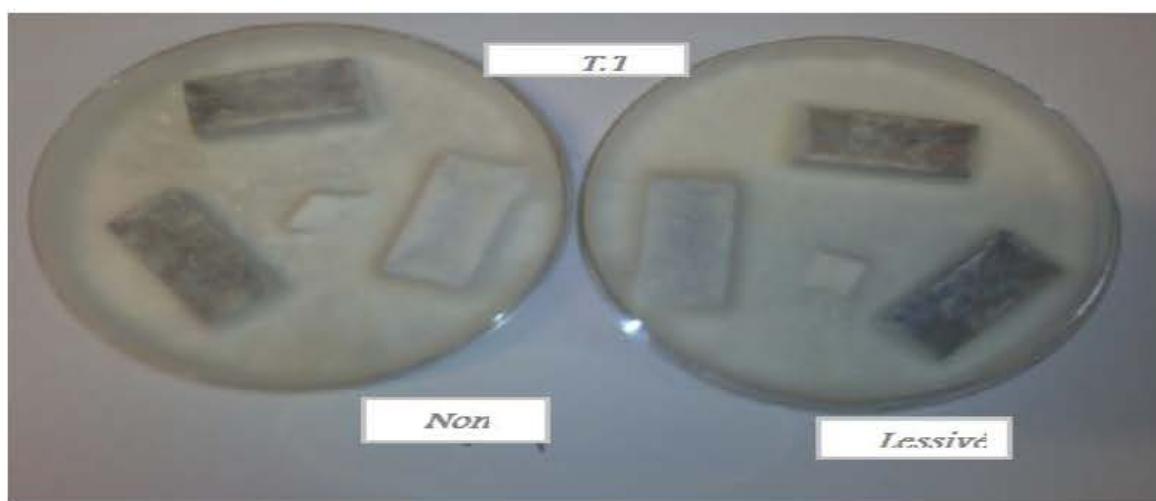
(4)



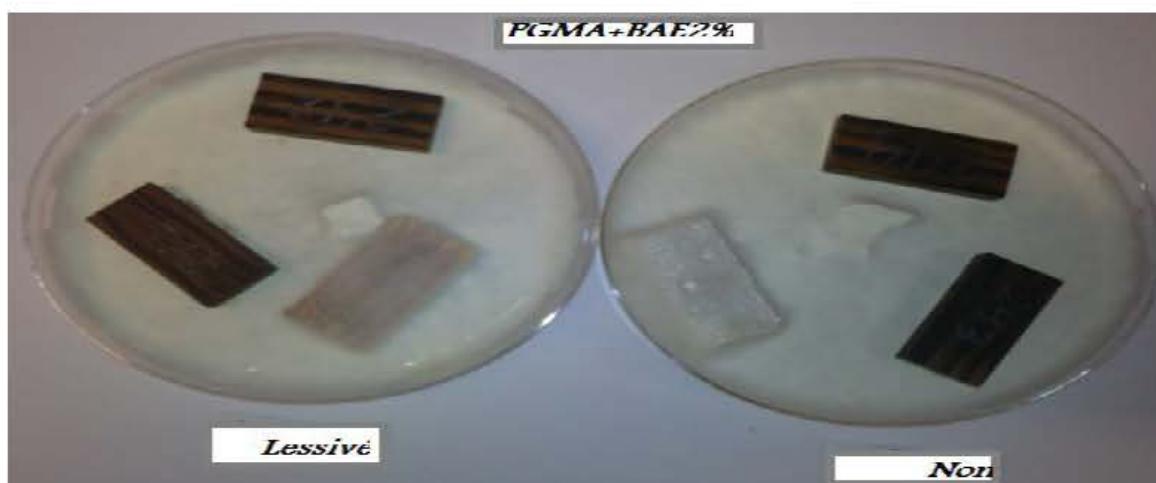
(5)



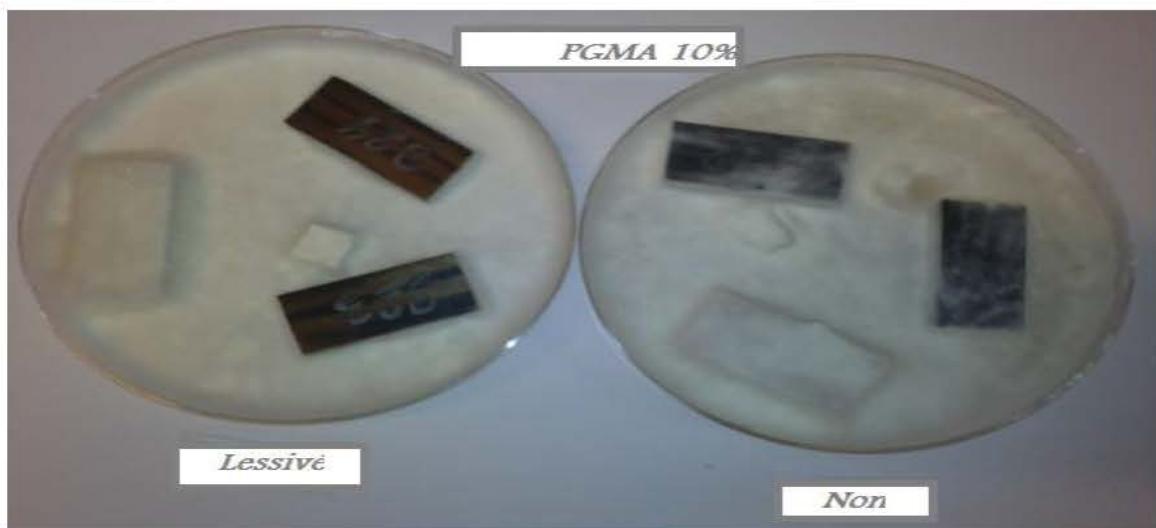
(6)



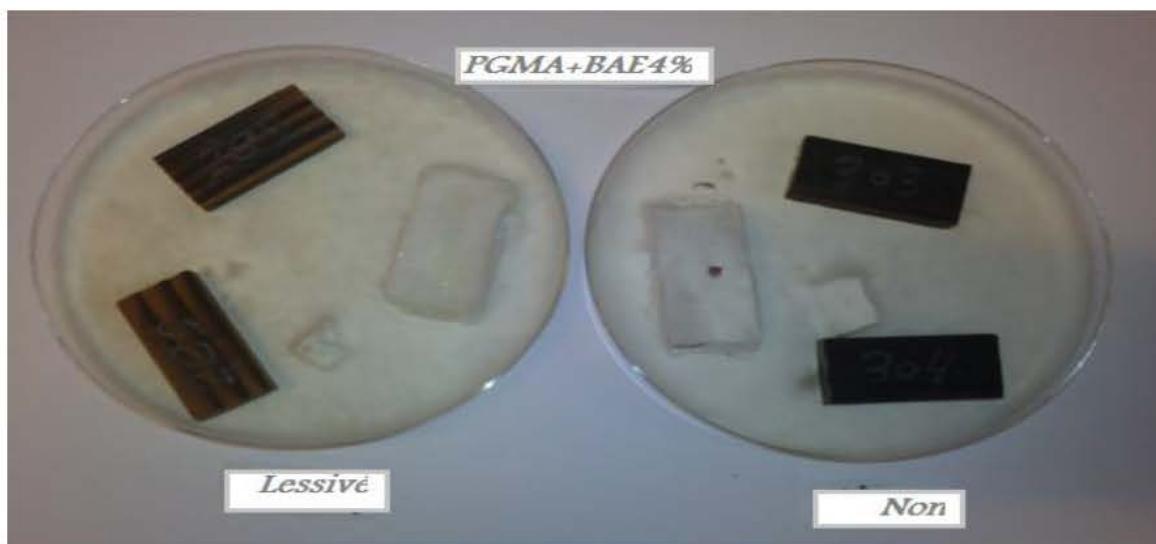
(7)



(8)



(9)



(10)

Résumé :

Le marché de la préservation du bois recherche des alternatives aux traitements anciens efficaces mais généralement toxiques pour l'environnement comme pour l'homme. L'étude propose d'évaluer l'amélioration de résistances biologique apportée par le traitement thermique à 220°C pendant 20h en présence des combinaisons méthacrylate de poly glycérols ou anhydride malique / poly glycérols avec et sans borax. Ces combinaisons qui ont été développées dans ce sens au laboratoire au cours des dernières années permettent de stabiliser dimensionnelle du bois, et de former un réseau polymère lors du chauffage au traitement thermique capable de limiter la mobilité du bore incorporé dans ce réseau et de retarder son lessivage à partir du bois traité offrant des possibilités d'utilisation pour des classes 3 et 4 sans aucun problème. Les tests biologiques contre les champignons et les termites ont montré que les modifications chimiques réalisées suite à l'imprégnation de solutions à 10% d'anhydride maléique de polyglycérol ou de méthacrylates de polyglycérol avec ou sans borax suivies d'un traitement thermique ont permis d'augmenter la durabilité du bois vis à vis des *Poria placenta* ainsi que de *Reticulitermes flavipes*. Les résultats obtenus étaient satisfaisants vis -à-vis des termites et des champignons, et ce en cas de lessivage ou non, ce qui pourrait permettre des applications dans des régions où le risque termites existe, notamment dans les pays du Sud.