

Évaluation de la durabilité naturelle du bois de *Pistacia atlantica* Desf. du Nord de l'Algérie

Manel BOUDOUAYA¹
Hachemi BENHASSAINI²
Fatima ZOHRA BENDIMERED-MOURI²
Frédéric MOTHE³
Meriem FOURNIER⁴

¹ Université Djilali Liabès
de Sidi Bel Abbès
Faculté des Sciences
de la Nature et de la Vie
Laboratoire d'écodéveloppement
des espaces
Cité rectorat, route de Tlemcen
BP 89
Sidi Bel Abbès 22000
Algérie

² Université Djilali Liabès
de Sidi Bel Abbès
Faculté des Sciences de la Nature
et de la Vie
Laboratoire de biodiversité végétale :
conservation et valorisation
Cité rectorat, route de Tlemcen
BP 89
Sidi Bel Abbès 22000
Algérie

³ INRA
UMR 1092, LERFOB
54280 Champenoux
France

⁴ AgroParisTech
UMR 1092, LERFOB
54000 Nancy
France



Photo 1.

Aspect général d'un pistachier de l'Atlas aux environs de Sidi Bel Abbès (Nord-Ouest de l'Algérie).
Photo M. Boudouaya.

RÉSUMÉ

ÉVALUATION DE LA DURABILITÉ NATURELLE DU BOIS DE *PISTACIA ATLANTICA* DESF. DU NORD DE L'ALGÉRIE

La connaissance de la durabilité naturelle du bois des essences des zones arides et semi-arides est nécessaire pour décider de leur exploitation future. Ceci permettrait de réduire l'utilisation des produits de préservation. La présente recherche a pour but de contribuer à la valorisation qualitative du bois d'une espèce ligneuse répandue en Algérie mais très peu étudiée. Il s'agit du pistachier de l'Atlas, *Pistacia atlantica* Desf. C'est un taxon vivace, rustique et endémique qui peut vivre plusieurs siècles en s'adaptant parfaitement aux conditions édaphiques et climatiques contraignantes de son habitat. La durabilité naturelle a été évaluée au moyen d'éprouvettes normalisées de bois d'aubier et de duramen d'arbres provenant de deux régions différentes du point de vue bioclimatique en Algérie nord-occidentale. Les tests ont été effectués conformément aux normes européennes NE 113 (1996) et NE 350-1 (1994) qui permettent l'évaluation de la durabilité du bois contre l'attaque fongique. Les résultats obtenus sur la perte de masse font ressortir deux faits particulièrement intéressants : le duramen et l'aubier des arbres des deux provenances présentent la même durabilité et aucune différence significative n'a été observée entre les deux provenances pour le même type de bois. Ce bois se classe parmi les bois très durables.

Mots-clés : *Pistacia atlantica* Desf., aubier, durabilité naturelle, duramen, Algérie nord-occidentale.

ABSTRACT

ASSESSING THE NATURAL DURABILITY OF NORTH ALGERIAN *PISTACIA ATLANTICA* DESF. TIMBER

Knowledge of the natural durability of wood from tree species in arid and semi-arid zones is essential before making any decision on future logging and to reduce the use of timber preservatives. This study aimed to contribute to the quality of timber production from a species which is widespread in Algeria but on which there are few studies, the Mt. Atlas mastic tree, *Pistacia atlantica* Desf. This is a vigorous, hardy endemic species that can live for several hundred years in the harsh climatic and soil conditions of its native habitat. The natural durability of its timber was assessed using standardised sapwood and heartwood samples from trees growing in two different bioclimatic regions in north-western Algeria. The tests were conducted in accordance with the European NE 113 (1996) and NE 350-1 (1994) standards for assessing timber resistance to fungal diseases. The results for mass loss brought two findings of considerable interest: the durability of the heartwood and sapwood from the two different provenances was virtually identical, and no significant differences were observed between the two provenances for the same type of wood. *Pistacia atlantica* Desf. timber may therefore be classified as very durable.

Keywords: *Pistacia atlantica* Desf., sapwood, natural durability, heartwood, north-western Algeria.

RESUMEN

EVALUACIÓN DE LA DURABILIDAD NATURAL DE LA MADERA DE *PISTACIA ATLANTICA* DESF. DEL NORTE DE ARGELIA

Es necesario conocer la durabilidad natural de la madera de especies de zonas áridas y semiáridas para determinar su futuro aprovechamiento. Esto permitiría reducir el uso de productos protectores. El objetivo de esta investigación es contribuir a la mejora cualitativa de la madera de una especie leñosa común en Argelia pero muy poco estudiada. Se trata del almácigo, *Pistacia atlantica* Desf., una planta vivaz, resistente y endémica capaz de vivir varios siglos adaptándose perfectamente a las severas condiciones edáficas y climáticas de su hábitat. La durabilidad natural se evaluó mediante probetas normalizadas de albura y duramen de árboles procedentes de dos regiones bioclimáticas distintas del noroeste de Argelia. Las pruebas se efectuaron según las normas europeas NE 113 (1996) y NE 350-1 (1994) que permiten evaluar la durabilidad de la madera frente a un ataque fúngico. De los resultados de pérdida de masa obtenidos se desprenden dos hechos particularmente interesantes: el duramen y la albura de los árboles de las dos procedencias muestran la misma durabilidad y no se observa ninguna diferencia significativa en el mismo tipo de madera entre ambas procedencias. Esta madera alcanza la categoría de altamente resistente.

Palabras clave: *Pistacia atlantica* Desf., albura, durabilidad natural, duramen, noroeste de Argelia.

Introduction

Le pistachier de l'Atlas compte parmi les espèces arborées peuplant les contrées arides et semi-arides du Nord de l'Afrique (Quézel et Santa, 1963) et fait partie des ressources méconnues dans le monde, et ce n'est que récemment que les services environnementaux et autres ont commencé à y accorder de plus en plus d'attention (Benhassaini *et al.*, 2007 ; Bellefontaine *et al.*, 2001). C'est un arbre xérophile, rustique, dioïque et à tronc bien individualisé et cime hémisphérique. Doté d'une grande longévité, certains spécimens sont plus que tricentenaires. Il peut résister à des taux d'humidité édaphique faibles, jusqu'à 4 % dans des sols sableux, et à des taux élevés en sels, jusqu'à 4 g/l d'eau (Benhassaini *et al.*, 2012). Son existence dans certains endroits, sous forme de reliques isolées ou groupées, reflète sa position d'arbre de climat naturel et non pas de para-climax monospécifique (Monjauze, 1980) (photo 1). Cet écodème, d'après la terminologie de Gillet (2000), nous informe sur la préexistence d'anciennes forêts claires ou de steppes arborées (Quézel *et al.*, 1999 ; Quézel, 2000). Les trois plus gros arbres de cette espèce ont été repérés il y a environ trois décennies par Monjauze (1980) dans la région de Sidi Bel Abbès, au Nord-Ouest de l'Algérie, qui est précisément la zone où a été effectué notre échantillonnage. Nombre de coproduits et avantages sont tirés du pistachier de l'Atlas. Son bois est depuis longtemps utilisé comme bois d'œuvre artisanal et considéré comme un excellent bois de chauffage et de carbonisation (Monjauze, 1980). Dans ce contexte, il est important de souligner l'inexistence d'études sur la durabilité naturelle du bois de cette espèce. La présente contribution est la première du genre à aborder cet aspect. Le but de ce travail est donc d'évaluer cette durabilité naturelle par la méthode gravimétrique qui consiste à faire des essais d'attaques fongiques et mesurer la sensibilité du bois vis-à-vis de ces agressions. La durabilité naturelle d'une essence est une propriété spécifique et constitue un élément important de sa fiche d'identité, au même titre que les propriétés physiques et mécaniques. Elle correspond à l'aptitude du bois à se conserver dans un emploi défini pendant une durée donnée, en l'absence de tout traitement protecteur (Fouquet, 2009). Elle est d'autant plus grande que l'atmosphère est sèche (Dumon, 1980).

Matériel et méthodes

Les tests de durabilité ont porté sur des échantillons de bois de deux arbres de même âge (en moyenne 49 ans) de deux provenances différentes du point de vue bioclimatique, afin d'apprécier l'impact éventuel des conditions locales sur la qualité de durabilité du bois de cette espèce (figure 1). La première provenance est la région de Sidi Bel Abbès caractérisée par un bioclimat méditerranéen semi-aride à influence continentale et à deux saisons bien distinctes : l'hiver humide et froid, l'été sec et chaud (Direction des Services Agricoles de Sidi Bel Abbès, 2008). La seconde provenance est la région de Tiaret, à bioclimat semi-aride transitionnel entre le climat aride du Sahara et le climat

méditerranéen de la côte avec des pluies concentrées pour l'essentiel sur la période hivernale (Abdelli, 2002).

Le principe de détermination et l'évaluation de la durabilité naturelle du bois vis-à-vis des champignons basidiomycètes lignivores cultivés sur milieu gélosé sont basés sur les normes des directives européennes NE 113 (1996) et NE 350-1 (1994) qui quantifient la perte de masse d'échantillons de bois soumis à l'attaque fongique. Les espèces de champignons définies par la norme et utilisées dans le présent travail sont : *Coriolus versicolor* (CV), *Gloeophyllum trabeum* (GT), *Coniophora puteana* (CP) et *Poria placenta* (PP).

Ces essais ont été réalisés au Laboratoire d'étude et de recherche sur le matériau bois (LERMAB) à la Faculté des Sciences et Technologies de l'Université de Lorraine (Nancy, France). Le protocole expérimental est constitué de cinq étapes principales : 1. Découpe des éprouvettes du bois destinées aux tests fongiques ; 2. Préparation des milieux de culture ; 3. Séchage des éprouvettes avant leur exposition aux champignons ; 4. Répartition des éprouvettes et exposition aux champignons ; 5. Examen des éprouvettes exposées aux champignons.

1. Découpe des éprouvettes du bois destinées aux tests fongiques

Sur chaque arbre, 120 éprouvettes de duramen et 120 éprouvettes d'aubier ont été découpées sur des rondelles à l'aide d'une scie circulaire (photo 2) à 12 % d'humidité. Les dimensions des éprouvettes sont les suivantes : 20 mm x 15 mm x 5 mm, selon les directions longitudinale (L), radiale (R) et tangentielle (T). Parallèlement, 64 autres éprouvettes de mêmes dimensions que les précédentes ont été découpées sur deux espèces de référence : 32 éprouvettes de pin, *Pinus sylvestris* Linnaeus, et 32 éprouvettes de hêtre, *Fagus sylvatica* Linnaeus. Le bois de hêtre a été utilisé comme contrôle pour les champignons de la pourriture blanche et le bois de pin pour les champignons de la

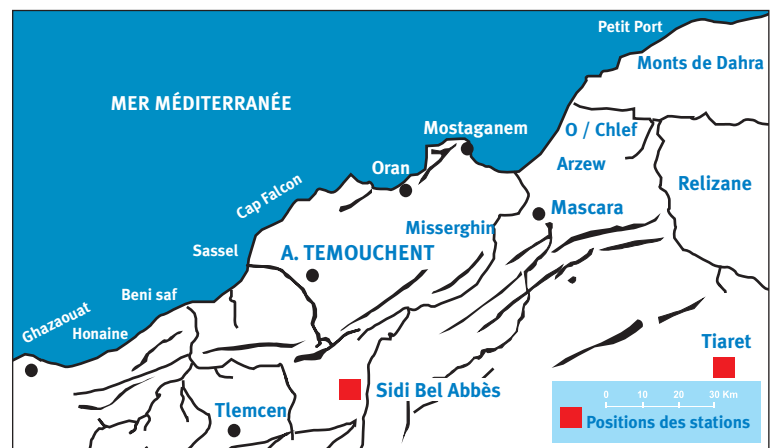


Figure 1. Localisation des deux régions de prélèvement des échantillons (Nord-Ouest de l'Algérie).

pourriture brune. Conformément à la norme NE 113 (1996), les éprouvettes de pistachier nécessaires à l'essai ont été prélevées au hasard dans un lot d'éprouvettes les plus saines et sans défauts (photo 3). Avant de procéder à l'incubation, toutes les éprouvettes ont vu leurs surfaces soumises à un ponçage superficiel au papier micro-abrasif de grammage 800.

2. Préparation des milieux de culture

Des boîtes de Petri de 9 cm de diamètre ont été remplies de 20 ml de milieu gélosé stérile préparé à partir de 40 ± 0,5 g d'extrait de malt et de 30 ± 0,5 g d'agar en poudre dans 1 litre d'eau distillée. Le mélange eau-malt-agar est chauffé à environ 100 °C jusqu'à homogénéisation, le pH du milieu est ajusté à la valeur de 4,8 à l'aide d'une solution d'acide chlorhydrique à 0,1 N puis ce mélange gélosé est autoclavé pendant 25 minutes à une température de 120 °C et sous une pression de 1 bar avant d'être coulé dans des boîtes de Petri stériles et refermées hermétiquement avec du parafilm. Les milieux de culture gélifiés sont alors inoculés avec un disque gélosé de mycélium fongique de 1 cm de diamètre, provenant d'une culture de champignon âgée de 2 semaines. Les boîtes de Petri ont ensuite été incubées pendant quatre mois dans une enceinte hygothermique

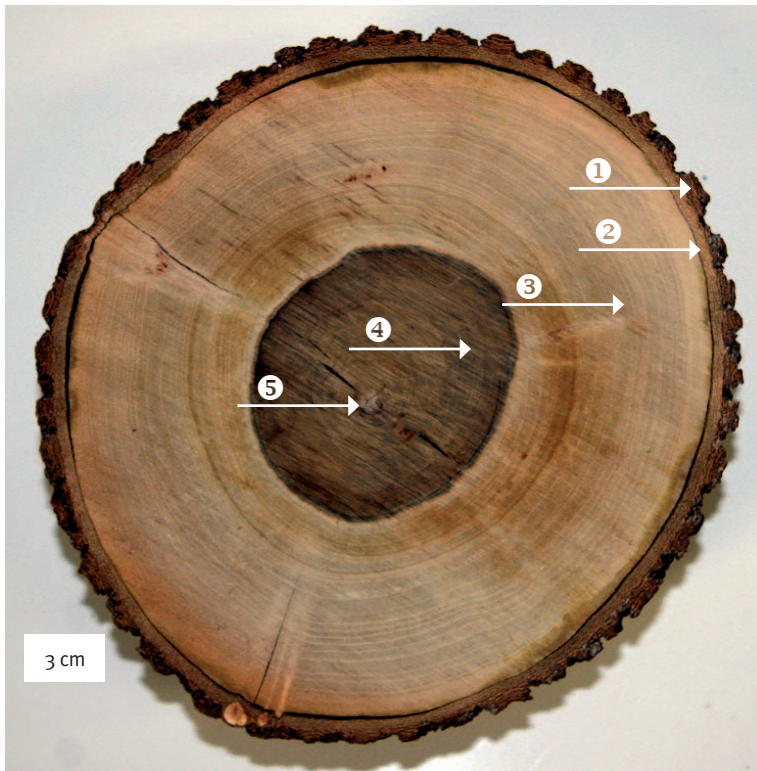


Photo 2.
Section transversale du tronc d'un pistachier de l'Atlas sur laquelle l'aubier est nettement différencié du bois parfait par sa couleur blanc jaunâtre.
1 : écorce ; 2 : cambium ; 3 : aubier ; 4 : duramen ; 5 : moelle.

réglée à l'atmosphère de 22 °C et 70 % d'humidité relative conditionnée pour une croissance optimale des champignons (photo 4).

3. Séchage des éprouvettes avant leur exposition aux champignons

Afin de rendre les éprouvettes anhydres, une moitié des éprouvettes de duramen et d'aubier (au nombre de 60 pour chaque type de bois) ainsi que toutes les éprouvettes témoins (les 64 éprouvettes de pin et de hêtre) ont été séchées avant l'exposition aux champignons. Le procédé de séchage consiste à placer les éprouvettes de bois dans une étuve à dessiccation où la température est portée à 103 ± 1 °C pendant 24 heures. Les éprouvettes ont été numérotées et pesées avant leur séchage pour en connaître la masse initiale m_0 et la masse à l'état anhydre m_1 .

4. Répartition des éprouvettes et exposition aux champignons

L'exposition des éprouvettes aux champignons a été réalisée en boîtes de Petri dans lesquelles deux échantillons de même arbre et de même type de bois ont été placés. Les boîtes ont enfin été refermées hermétiquement avec du parafilm. Toutes les étapes de cette partie expérimentale ont été réalisées dans des conditions parfaitement stériles.

Afin de comparer la virulence des champignons sur le bois, nous avons placé quelques échantillons de bois en contact indirect avec le milieu de culture en utilisant une grille en matière plastique découpée à la même taille que l'éprouvette.

Le tableau I présente les différents essais réalisés. Dans ce tableau, le nombre de boîtes correspondant à chaque modalité expérimentale représente le nombre de répétitions. Par ailleurs, d'autres éprouvettes séchées et non séchées de chaque type de bois ont été déposées sans grille sur un milieu gélosé non inoculé (agar). Ces éprouvettes sont utilisées pour estimer la perte de masse due uniquement à la diffusion du produit durant le temps d'incubation. L'incubation est réalisée à une température constante de 22 °C et à un taux d'humidité relative (HR) de 70 % pendant une durée de 16 semaines conformément à la norme NE 113 (1996).

5. Examen des éprouvettes exposées aux champignons

À la fin de la période d'essai, les éprouvettes ont été retirées des boîtes de Petri. Le mycélium adhérent a été enlevé délicatement et les éprouvettes de bois pesées immédiatement après leur sortie de l'enceinte de culture pour obtenir la masse humide m_2 en fin d'essai. Pour calculer l'humidité (mc , formule 1) après incubation, les éprouvettes ont été séchées pendant 48 heures à l'étuve à 103 ± 1 °C jusqu'à

1. Moisture content.



Photo 3.
Éprouvettes de duramen (1) et d'aubier (2) du pistachier destinées aux tests de durabilité naturelle.
Photos M. Boudouaya, 2012 au LERMAB de Nancy.

Tableau I.
Nombre de boîtes de Petri de chaque essai vis-à-vis des quatre champignons et pour les quatre modalités considérées : la provenance, le type du bois, la présence ou l'absence de grille et l'état hydrique.

	Provenance	Sidi Bel Abbès								Tiaret								P	H
		A / \				D / \				A / \				D / \					
	Type de bois	AG / \		SG / \		AG / \		SG / \		AG / \		SG / \		AG / \		SG / \		SG	SG
	Position des éprouvettes	AG / \	SG / \	AG / \	SG / \	AG / \	SG / \	AG / \	SG / \	AG / \	SG / \	AG / \	SG / \	AG / \	SG / \	AG / \	SG / \	SG	SG
	État hydrique	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S	S
Champignons	CP	0	4	7	3	0	4	7	3	0	4	7	3	0	4	7	3	5	5
	PP	0	4	7	3	0	4	7	3	0	4	7	3	0	4	7	3	5	0
	CV	4	4	3	3	4	4	3	3	4	4	3	3	4	4	3	3	0	5
	GT	4	4	3	3	4	4	3	3	4	4	3	3	4	4	3	3	5	5
Sans champignons	Agar	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	2	2	1	1

A : aubier ; D : duramen ; P : pin ; H : hêtre ; S : éprouvettes séchées ; NS : éprouvettes non séchées ; AG : boîte avec grille ; SG : boîte sans grille.

stabilité de leur masse, avant d'être de nouveau pesées pour obtenir la masse finale anhydre m_3 . Ces différentes mesures nous permettent de déterminer l'humidité finale (mc finale, formule 2) et la perte de masse (PM, formule 3) causée par la pourriture fongique. Les formules sont les suivantes :

- formule 1 : mc initiale (%) = $[(m_0 - m_1)/m_1] \times 100$;
 - formule 2 : mc finale (%) = $[(m_2 - m_3)/m_3] \times 100$;
 - formule 3 : PM (%) = $[(m_{o_{ou1}} - m_3)/m_{o_{ou1}}] \times 100$.
- Avec :
- m_0 ou m_1 : masses initiales pour le bois non séché ou le bois séché (à 103 °C) avant l'exposition fongique (en mg) ;

- m_2 : masse de l'éprouvette humide après l'attaque fongique (en mg) ;
- m_3 : masse de l'éprouvette anhydre (séchée à 103 °C) après l'attaque fongique (en mg).

La perte de masse, après exposition aux champignons, a été corrigée en tenant compte des variations de masse non liées à l'activité des champignons lignivores, à l'aide d'un coefficient de correction selon la formule 4 :

- PM (%) corrigée = PM_1 (%) – moyenne PM_2 (%).
- Avec :
- PM_1 (%) : perte de masse des éprouvettes exposées aux champignons ;
 - PM_2 (%) : moyenne des pertes de masse des éprouvettes déposées sur un milieu gélosé non inoculé avec une souche fongique.



Photo 4.

Les éprouvettes du pistachier de l'Atlas après 16 semaines d'incubation dans une enceinte hygro et thermostatée à 22 °C et à 70 % d'humidité relative.

M. Boudouaya, 2012 au LERMAB de Nancy.

Résultats et discussion

Pour rappel, les essais ont été menés avec des répétitions de 3, 4 ou 7 boîtes portant deux éprouvettes chacune selon la disponibilité des grilles. Les résultats sur la perte de masse des différents échantillons de bois testés de l'espèce étudiée sont représentés dans le tableau II. Les valeurs moyennes des taux d'humidité de l'ensemble des échantillons testés et celles des espèces de référence variaient entre 35 et 42 %, ce qui correspond aux conditions favorables de développement des champignons (Beauchêne, 2006).

Par ailleurs, les valeurs moyennes de perte de masse obtenues ont varié entre un minimum de 3,18 % et un maximum de 9,75 % pour les échantillons étudiés. Elles sont restées, cependant, très inférieures aux valeurs de référence du pin et du hêtre qui étaient comprises entre 25,05 % et 29,06 %, reflétant leur faible durabilité. Ces taux de perte de masse obtenus sont considérés comme corrects sachant que le pin et le hêtre sont des essences de classe 4, faiblement à peu durables selon la norme NE 113 (1996)

Tableau II.
Valeurs moyennes (\pm écart-type) des pertes de masse (en %) causées par les quatre champignons sur des éprouvettes des deux types de bois du pistachier obtenues pour chaque modalité et celles d'espèces de référence accompagnées des valeurs de l'humidité (mc en %).

Provenance	Sidi Bel Abbès								Tiaret								P	H
	A				D				A				D					
Type de bois	/ \		/ \		/ \		/ \		/ \		/ \		/ \		/ \			
Position	AG	SG	AG	SG	AG	SG	AG	SG	AG	SG	AG	SG	AG	SG	AG	SG		
État hydrique	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S	S
<i>Coniophora puteana</i>	-	8,03 \pm 0,18	4,52 \pm 0,13	9,65 \pm 0,20	-	5,93 \pm 0,18	4,09 \pm 0,13	8,28 \pm 0,20	-	8,01 \pm 0,18	4,77 \pm 0,13	9,64 \pm 0,20	-	5,74 \pm 0,18	4,01 \pm 0,13	8,53 \pm 0,20	25,05 \pm 0,50	29,06 \pm 0,44
mc	-	42	38	42	-	37	36	38	-	40	38	42	-	37	36	39	37	38
<i>Coriolus versicolor</i>	3,21 \pm 0,18	7,73 \pm 0,18	4,75 \pm 0,20	9,37 \pm 0,20	3,22 \pm 0,18	5,69 \pm 0,18	4,30 \pm 0,20	7,46 \pm 0,20	3,59 \pm 0,18	7,57 \pm 0,18	4,43 \pm 0,20	9,22 \pm 0,20	3,18 \pm 0,19	5,32 \pm 0,18	4,41 \pm 0,20	7,58 \pm 0,20	-	26,78 \pm 0,59
mc	36	40	38	42	35	37	36	38	37	40	38	41	35	37	36	38	-	37
<i>Gloeophyllum trabeum</i>	3,25 \pm 0,18	7,43 \pm 0,18	4,84 \pm 0,20	9,18 \pm 0,20	3,33 \pm 0,18	5,51 \pm 0,18	4,74 \pm 0,20	7,73 \pm 0,20	3,48 \pm 0,18	7,67 \pm 0,18	4,70 \pm 0,20	9,33 \pm 0,20	3,45 \pm 0,18	5,60 \pm 0,18	4,58 \pm 0,20	7,81 \pm 0,20	29,11 \pm 0,60	26,95 \pm 0,54
mc	36	40	38	42	35	37	36	38	36	40	38	42	35	37	36	39	39	37
<i>Poria placenta</i>	-	8,06 \pm 0,18	3,85 \pm 0,13	9,75 \pm 0,20	-	5,55 \pm 0,18	3,52 \pm 0,13	7,84 \pm 0,20	-	7,91 \pm 0,18	3,77 \pm 0,13	9,33 \pm 0,20	-	5,42 \pm 0,18	3,53 \pm 0,13	7,57 \pm 0,20	25,29 \pm 0,70	-
mc	-	40	37	42	-	37	36	38	-	40	37	42	-	36	36	38	38	-

A : aubier ; D : duramen ; P : pin ; H : hêtre ; S : éprouvettes séchées ; NS : éprouvettes non séchées ; AG : boîte avec grille ; SG : boîte sans grille.

(tableau III) et les résultats de la littérature (Chaouch, 2011). D'autre part, les champignons utilisés ont montré une virulence suffisante pour valider les tests biologiques car, pour que le champignon soit considéré comme suffisamment virulent, les pertes de masse doivent être supérieures à 25 % avec le bois séché de ces espèces de référence ; nos résultats sont donc cohérents avec la norme NE 113 (1996).

Deux faits importants sont à signaler : il s'agit de la faible variabilité et de l'homogénéité relevées à l'intérieur de chaque série d'essais et qui sont représentées par la faible valeur des écarts-types. Ces valeurs sont toutes inférieures à 0,70 % et sont comprises, pour la plupart, entre 0,13 % et 0,20 %. Les valeurs moyennes de PM sont donc représentatives de l'ensemble des valeurs réelles obtenues.

Le tableau IV présente les résultats de la comparaison statistique des moyennes de la perte de masse obtenus sur les différents lots d'éprouvettes séchées et non séchées avec ou sans grille, selon le test de Tukey.

Les tests et les analyses effectués ont mis clairement en évidence l'effet du séchage sur l'amélioration de la durabilité des essences étudiées, donc sur leur résistance aux champignons. Une différence significative est apparue entre les valeurs moyennes des éprouvettes séchées et non séchées selon le test de Tukey à 5 % pour le duramen et pour l'aubier avec ou sans grille de la même provenance.

Les différences entre les valeurs moyennes des résultats obtenus avec ou sans grille sont significatives pour toutes les éprouvettes de même type de bois dans le même état hydrique, pour la même provenance. L'absence des grilles qui traduit le contact direct des souches fongiques avec le bois provoque une perte de masse visiblement importante mais sans aucun effet sur l'appréciation de la durabilité car les valeurs obtenues pour les deux positions se retrouvent dans la même classe de durabilité.

Il apparaît que l'aubier et le duramen du bois du pistachier de l'Atlas montrent un comportement similaire seulement pour les échantillons séchés, présentant ainsi une particularité face aux attaques fongiques conformément aux critères de la norme de la durabilité naturelle (tableau III), ce qui se rapproche des résultats trouvés par Pollet *et al.* (2013a) chez le douglas où aucune différence n'a été observée entre la durabilité du bois juvénile et celle du bois mature vis-à-vis de *P. placenta* (PP). Alors que la comparaison des valeurs moyennes obtenues entre les deux types de bois, duramen et aubier, a montré une différence significative quant à l'attaque des différents champignons sur les échantillons non séchés avec et sans grille et une différence non significative sur ceux séchés avec et sans grille (tableau IV), ce qui indique que le séchage influe sur l'appréciation de la durabilité.

Chez la plupart des espèces ligneuses étudiées, le duramen se montre plus résistant que l'aubier. Dans le bois à aubier différencié, l'aubier est attaqué car il contient une forte quantité d'amidon, substance appétante pour certains insectes tels que les coléoptères alors que le duramen montre une durabilité supérieure. Ainsi, généralement, les bois blancs (bois à aubier non différencié) sont peu durables car l'amidon est présent partout dans l'arbre (Détienne et Jacquet, 1983).

Tableau III.

Classes de durabilité naturelle du bois en fonction des pertes de masse définies selon la norme NE 113 (1996).

Classe de durabilité	Descriptif	Perte de masse PM (%)
1	Très durable	PM ≤ 5
2	Durable	5 ≤ PM ≤ 10
3	Moyennement durable	10 ≤ PM ≤ 15
4	Faiblement durable	15 ≤ PM ≤ 30
5	Non durable	PM ≥ 30

La dégradation biologique du bois est un processus très complexe qui dépend de nombreux facteurs dont la nature chimique de ses extraits. Ces substances peuvent être des polymères (tanins) ou des molécules de faibles poids moléculaire telles que les flavonoïdes, les stilbènes, les lignanes, les terpénoïdes, les tropolones (Haluk, 1994).

En 2000, les travaux de Dirol et Deglise ont montré que la durabilité naturelle du duramen décroît au fur et à mesure que l'on s'approche de l'aubier car il contient des antiseptiques naturels (tanins, résines), il est peu poreux et il offre une capacité d'absorption moins élevée que celle de l'aubier, ce qui lui confère une meilleure durabilité. D'autres travaux ont montré que la durabilité naturelle de certaines espèces est attribuable, en partie, à l'activité des extraits qu'elles renferment (Schultz *et al.*, 1995) et que la différence de durabilité observée entre aubier et duramen peut être due aux fortes variations de la teneur en extraits, absents ou moindres dans l'aubier et en augmentation vers le duramen (Schultz et Nicholas, 2000). De même, la concentration en extraits est maximale chez les arbres âgés, ce qui laisserait supposer que les arbres jeunes de même essence sont moins résistants (Nault, 1988).

Les travaux de Da Costa *et al.* (1962) et Rudman (1964) ayant porté sur la durabilité de diverses espèces d'eucalyptus ont montré que les polyphénols ont une action fongicide assez faible et que, vraisemblablement, la conjonction de plusieurs substances entre lesquelles se produisent des synergies donne en général aux bois résistants leur durabilité. Ainsi, plus récemment, Pollet *et al.* (2013b) ont noté que, chez le robinier, ce sont les polyphénols et les flavonoïdes qui conféraient au bois sa durabilité naturelle vis-à-vis des champignons basidiomycètes. Les tannins contenus dans le bois ont eux aussi un effet sur la durabilité naturelle, le duramen chargé de tannins résiste ainsi aux organismes destructeurs. Tel est le cas du chêne, *Quercus* sp., du châtaignier, *Castanea* sp., et du robinier, *Robinia* sp. (Charrier *et al.*, 1995). De leur côté, Déon *et al.* (1980) ont étudié les activités antifongiques des extraits contenus dans le bois de six espèces tropicales. La présence de certaines substances spécifiques dans les extraits du bois très durable de certaines essences peut entraîner une plus ou moins grande toxicité vis-à-vis des champignons lignivores. C'est ainsi le cas de la thujaplicine, substance extraite du

bois de *Thuja plicata* (Fougerousse, 1960 ; Haluk et Roussel, 2000 ; Haluk *et al.*, 2001), de l'oxyresveratrol et de la dihydro-morine, qui sont des composés de type stilbène extraits du bois de duramen de l'oranger, *Maclura pomifera* (Schultz *et al.*, 1995). Les cellules de parenchyme apparaissent être le lieu de synthèse des substances extractibles du duramen (Bamber et Fukazawa, 1985). Ces cellules jouent un rôle

important puisqu'elles constituent les seuls éléments vivants du bois avant la duraminisation. Les observations faites chez *Pinus canariensis* montrent que les cellules de parenchyme de l'aubier contiennent d'abondants grains d'amidon. Cet amidon est transformé en résine et en tannins phénoliques lors de la duraminisation. Ces substances, une fois formées, diffusent dans les cellules de fibres et s'y déposent.

Tableau IV.

Résultats de la comparaison multiple des moyennes de la perte de masse des différents essais effectuée par le test de Tukey à $p = 0,05$.

			Sidi Bel Abbès								Tiaret							
			A / \				D / \				A / \				D / \			
			AG / \		SG / \		AG / \		SG / \		AG / \		SG / \		AG / \		SG / \	
			S	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS	S	NS
Sidi Bel Abbès	A	AG	S		. *						. -							
			NS	. *	*		**	**				--						
		SG	S									--						
			NS			**	**					--						
	D	AG	S	. -					. *	*				. -				
			NS		**	**		. *	*	**	**			--				
		SG	S			--									--			
			NS				**	**		**	**					--	--	
Tiaret	A	AG	S	. -							. *	*						
			NS		--	--				. *	*	**	**					
		SG	S			--												
			NS				--	--				**	**					
	D	AG	S					. -			. -				. *	*		
			NS					--	--		**	**		. *	*	**	**	
		SG	S						--	--			--	--				
			NS							--	--		**	**		**	**	

Chaque case porte les résultats correspondant aux quatre champignons utilisés pour l'évaluation de la durabilité selon l'ordre suivant : en haut à gauche, CP ; en haut à droite, CV ; en bas à gauche, GT ; en bas à droite, PP.

* : différence significative entre les valeurs moyennes de la perte de masse.

- : différence non significative.

un point : absence de résultat à cause de l'absence de l'essai (cf. méthodologie).

A : aubier ; D : duramen ; P : pin ; H : hêtre ; S : éprouvettes séchées ; NS : éprouvettes non séchées ; AG : boîte avec grille ; SG : boîte sans grille.

Chez le pistachier, les résultats obtenus peuvent s'expliquer par la présence de réseaux de canaux résinifères, très riches en résines, de type oléorésine réputée être antifongique et conservatrice du bois, limitant ainsi la prolifération des champignons (Benhassaini, 2000 ; Benhassaini *et al.*, 2003). Ces canaux traverseraient de manière uniforme et intense le bois du pistachier. Aussi, l'analyse statistique de nos résultats ne fait pas ressortir de différences significatives entre les valeurs moyennes obtenues sur les deux provenances, suggérant que le milieu de croissance des arbres n'a pas d'effet sur leur durabilité naturelle ; ces résultats sont en adéquation avec ce qui a été affirmé par Dirol et Deglise (2000) selon lesquels tous les travaux ont montré que le site de croissance d'un arbre n'a aucune incidence sur la durabilité de son bois et que ce facteur n'a pas d'influence réelle pour une même essence provenant de régions éloignées. Par ailleurs, Pollet *et al.* (2008) indiquent que la durabilité naturelle peut varier en fonction du champignon utilisé, de l'origine génétique de l'arbre et de la station, des différences entre arbres et au sein de ceux-ci pouvant exister.

Les résultats obtenus sur la perte de masse suite aux tests fongiques permettent de qualifier le bois de l'espèce étudiée comme très durable (classe 1), ce qui milite en faveur de l'utilisation de ce bois dans différents domaines tels que la menuiserie en tenant compte des autres caractéristiques physiques et mécaniques dont l'évaluation est en cours. Par ailleurs, les résultats sur les essais mécaniques effectués sur des échantillons de ce bois nous ont permis d'avoir une caractérisation supplémentaire sur la qualité de celui-ci, où les valeurs s'avéraient très élevées, le duramen présentant une densité sensiblement plus élevée que l'aubier (résultats en cours de valorisation), ce qui peut contribuer à expliquer le caractère élevé de durabilité naturelle de ce bois.

Conclusion

Les résultats des tests de durabilité naturelle obtenus dans la présente étude révèlent que le bois du pistachier de l'Atlas, *Pistacia atlantica* Desf., provenant de l'Algérie occidentale, est très durable (classe 1). Dans les conditions d'essai, aucune différence n'a été observée entre la durabilité du duramen et celle de l'aubier vis-à-vis des quatre champignons basidiomycètes utilisés : *Coriolus versicolor*, *Gloeophyllum trabeum*, *Coniophora puteana* et *Poria placenta*. Cette propriété ne semble pas être influencée directement par le milieu de croissance. Les tests et les analyses effectués dans cette étude mettent en évidence l'apport du séchage dans l'appréciation de la durabilité de l'essence étudiée.

L'étude des essences naturellement durables comme le pistachier de l'Atlas constitue un enjeu prometteur à l'heure actuelle. Utiliser un bois naturellement très durable permettrait de réduire l'utilisation des produits de préservation et encouragerait l'emploi des essences des zones arides et semi-arides généralement proposées et utilisées dans l'artisanat et la marqueterie. Aussi l'utilisation d'essences durables dans la construction est-elle devenue une option aux incidences importantes puisqu'elle concerne la santé

humaine et l'environnement, en plus des coûts très réduits par rapport à ceux des essences à bois périssable qui demandent des traitements chimiques.

En perspective, une recherche prenant en compte le facteur âge des arbres devra être entreprise car, selon certaines études, l'âge de l'arbre est un des facteurs les plus importants de la durabilité du bois (Nault, 1988). Aussi, d'autres études sur la nature chimique des extraits et la structure anatomique sont impératives afin de comprendre la similarité relevée entre l'aubier et le duramen lors de la présente étude.

Références bibliographiques

- Abdelli N., 2002. Contribution à l'étude de création d'un verger dans la zone steppique de Rechaïga. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'État en biologie, Université Ibn Khaldoun de Taret, Département des sciences agronomiques et biologiques, Algérie.
- Bamber R. K., Fukazawa K., 1985. Sapwood and heartwood: a review. *Forest Products Abstracts*, 8 (9): 265-278.
- Beauchêne J., 2006. Les agents de dégradation du matériau bois : *Euplassa pinnata* (Lam.) Johnston. Montpellier, France, Cirad-Forêt, Document technique et de recherche, 1 diaporama (45 vues). [En ligne] <http://catalogue-bibliotheques.cirad.fr/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=187145>
- Bellefontaine R., Petit S., Pain-Orcet M., Deleporte P., Bertault J.-G., 2001. Les arbres hors forêt : vers une meilleure prise en compte. Rome, Italie, FAO, Cahiers FAO Conservation, 35, 231 p.
- Benhassaini H., 2000. Contribution à l'étude de l'autoécologie de *Pistacia atlantica* subsp. *atlantica* et valorisation. Thèse de doctorat en écologie appliquée, Université Djilali Liabès de Sidi Bel Abbès, Algérie.
- Benhassaini H., Benabderrahmane M., Chikhi K., 2003. Contribution à l'évaluation de l'activité antiseptique de l'oléorésine et des huiles essentielles du pistachier de l'Atlas sur certaines souches microbiennes : *Candida albicans* (ATCC 20027), *Candida albicans* (ATCC 20032) et *Saccharomyces cerevisia*. *Ethnopharmacologia*, 30: 38-46.
- Benhassaini H., Mehdadi Z., Hamel L., Belkhdja M., 2007. Phytoécologie de *Pistacia atlantica* Desf. subsp. *atlantica* dans le Nord-Ouest algérien. *Sécheresse*, 18 (3) : 199-205.
- Benhassaini H., Fetati A., Kaddour Hocine A., Belkhdja M., 2012. Effect of salt stress on growth and accumulation of proline and soluble sugars on plantlets of *Pistacia atlantica* Desf. subsp. *atlantica* used as rootstocks. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement (Base)*, 16 (2): 159-165.
- Chaouch M., 2011. Effet de l'intensité du traitement sur la composition élémentaire et la durabilité du bois traité thermiquement : développement d'un marqueur de prédiction de la résistance aux champignons basidiomycètes. Thèse de doctorat, sciences du bois et des fibres, Université Henri Poincaré, Nancy, France, 218 p.

- Charrier B., Janin G., Haluk J.-P., Mosedale J. R., 1995. Colour and chemical characteristics of moon rings in oakwood. *Holzforschung*, 49: 287-292.
[Online] <http://prodinra.inra.fr/record/122760>
- Da Costa E. W. B., Rudman P., Deverall F. J., 1962. Inter-tree variation in decay resistance of Karri (*Eucalyptus diversicolor* F. Muell.) as related to colour, density and extractives content. *Journal of the Institute of Wood Science*, 10: 48-55.
- Déon G., Chadenson M., Hauteville M., 1980. Influence des extraits naturels du bois sur sa résistance à la pourriture. *Bois et Forêts des Tropiques*, 191 : 75-90.
[En ligne] http://bft.cirad.fr/cd/BFT_191_75-90.pdf
- Détienne P., Jacquet P., 1983. Atlas d'identification des bois de l'Amazonie et des régions voisines. Nogent-sur-Marne, France, Centre technique forestier tropical, 640 p.
- Direction des Services Agricoles de Sidi Bel Abbès, 2008. Données climatiques de la station météorologique de la wilaya de Sidi Bel Abbès (Algérie).
- Dirol D., Deglise X. (dir.), 2000. Durabilité des bois et problèmes associés. Paris, France, Hermes Science publications, 415 p.
- Dumon R., 1980. La forêt : source d'énergie et d'activités nouvelles. Paris, France, Masson, 141 p.
- Fougerousse M., 1960. Durabilité naturelle du bois. *Bois et Forêts des Tropiques*, 73 : 43-56.
[En ligne] http://bft.cirad.fr/cd/BFT_073_43-56.pdf
- Fouquet D., 2009. Durabilité naturelle et préservation des bois tropicaux. Versailles, France, Éditions Quæ, 127 p.
- Gillet F., 2000. La Phytosociologie synusiale intégrée. Guide méthodologique. Université de Neuchâtel, Institut de botanique, Suisse, Documents du Laboratoire d'écologie végétale et de phytosociologie, 68 p.
- Haluk J.-P., 1994. Composition chimique du bois. In : Jodin P. (éd.). *Le bois, matériau d'ingénierie*. Nancy, France, Arborol, 53-88.
- Haluk J.-P., Roussel C., 2000. Caractérisation et origine des tropolones responsables de la durabilité naturelle des Cupressacées. Application potentielle en préservation du bois. *Annals of Forest Science*, 57 : 819-829.
- Haluk J.-P., Boust-Roussel C., Thévenon M.-F., 2001. Importance des quinones dans les propriétés antifongiques du teck (*Tectona grandis*). *Les Cahiers Scientifiques du Bois*, 2 : 77-83.
- Monjauze A., 1980. Connaissance du Bétoum. (*Pistacia atlantica* Desf.). *Revue Forestière Française*, 32 (4) : 357-63.
- Nault J., 1988. Radial distribution of thujaplicins in old growth and second growth western red cedar (*Thuja plicata* Donn), Canada. *Wood Science and Technology*, 22 (1): 73-80.
- NE 113, 1996. Produits de préservation du bois. Méthode d'essai pour déterminer l'efficacité protectrice vis-à-vis des champignons basidiomycètes lignivores. Détermination du seuil d'efficacité. Communauté économique européenne, 28 p.
- NE 350-1, 1994. Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois – Durabilité naturelle du bois massif – Partie 1 : Guide des principes d'essai et de classification de la durabilité naturelle du bois. Communauté économique européenne, 17 p.
- Pollet C., Jourez B., Hébert J., 2008. Natural durability of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) wood grown in Wallonia, Belgium. *Canadian Journal of Forest Research*, 38 (6): 1366-1372.
- Pollet C., Henin J. M., Hébert J., Jourez B., 2013a. Effect of growth rate on the natural durability of Douglas-fir in Western Europe. *Canadian Journal of Forest Research*, 43 (10): 891-896.
- Pollet C., Verheyen C., Hébert J., Jourez B., 2013b. Le bois de robinier faux-acacia : propriétés physiques, mécaniques et de durabilité naturelle. *Forêt Wallonne*, 126 : 3-16.
- Quézel P., 2000. Réflexions sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb méditerranéen. Paris, France, Ibis Press, 117 p.
- Quézel P., Médail F., Loisel R., Barbero M., 1999. Biodiversité et conservation des essences forestières du bassin méditerranéen. *Unasylva*, 197 : 21-28.
- Quézel P., Santa S., 1963. Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Paris, France, Centre national de la recherche scientifique, tome 2, 626 p.
- Rudman P., 1964. The causes of natural durability in timber. Pt. XVI. The causes of variation in decay resistance in Jarrah (*Eucalyptus marginata* Sm.). *Holzforschung*, 18 (6): 172-177.
- Schultz T. P., Harms W. B., Fischer H. T., McMurtrey K. D., Minn J., Nicholas D. D., 1995. Durability of angiosperm heartwood: the importance of extractives. *Holzforschung*, 49 (1): 29-34.
- Schultz T. P., Nicholas D. D., 2000. Naturally durable heartwood: evidence for a proposed dual defensive function of the extractives. *Phytochemistry*, 54 (1): 47-52.