

Durabilité naturelle et composition en extractibles du bois de *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus* du Nord-Ouest de l'Algérie

Djilali OUAAR¹
Aïcha MEGHERBI BENALI¹
Fawzia TOUMI BENALI¹
Marie-France THÉVENON^{2,3}
Kévin CANDELIER^{2,3}
Luc PIGNOLET^{2,3}
Jean GÉRARD^{2,3}

¹ Université Djilali Liabes
LR Écodéveloppement des espaces (Ecodev)
Sidi Bel Abbès
Algérie

² Cirad
UPR BioWooEB
34398 Montpellier
France

³ BioWooEB
Univ Montpellier
Cirad
Montpellier
France

**Auteur correspondant /
Corresponding author:**
Jean Gérard - jean.gerard@cirad.fr



Photo 1.

Aspect général d'un genévrier oxycède (*Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus*) aux environs de Sidi Bel Abbès, dans la station de Moulay Slissen.
*General aspect of a juniper (*Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus*) in the proximity of Sidi Bel Abbès, in the station of Moulay Slissen.*
Photo D. Ouaar.

Doi : 10.19182/bft2021.350.a36837 – Droit d'auteur © 2021, Bois et Forêts des Tropiques – © Cirad – Date de soumission : 4 janvier 2021 ; date d'acceptation : 17 août 2021 ; date de publication : 1er décembre 2021.



Licence Creative Commons :
Attribution - 4.0 International.
Attribution-4.0 International (CC BY 4.0)

Citer l'article / To cite the article

Ouaar D., Megherbi Benali A., Toumi Benali F., Thévenon M.-F., Candelier K., Pignolet L., Gérard J., 2021. Durabilité naturelle et composition en extractibles du bois de *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus* du Nord-Ouest de l'Algérie. Bois et Forêts des Tropiques, 350 : 57-69.
Doi : <https://doi.org/10.19182/bft2021.350.a36837>

RÉSUMÉ

Durabilité naturelle et composition en extractibles du bois de *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus* du Nord-Ouest de l'Algérie

Les bois de *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus* étudiés sont issus de deux provenances du Nord-Ouest algérien aux conditions climatiques et édaphiques différentes (régions de Sidi Bel Abbès et de Tiaret). Les extractibles et les polyphénols totaux du duramen ont été quantifiés et caractérisés. La durabilité naturelle du duramen a été évaluée vis-à-vis de deux champignons de pourriture brune (*Rhodonia placenta* et *Coniophora puteana*) et de termites (*Reticulitermes flavipes*). Les taux d'extractibles les plus élevés sont ceux obtenus pour les bois de Sidi Bel Abbès. L'extraction au mélange toluène-éthanol a permis d'obtenir des taux plus élevés que l'extraction à l'eau, respectivement 14,17 % et 1,35 % pour les bois de Sidi Bel Abbès contre 9,84 % et 1,19 % pour ceux de Tiaret. Les analyses par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC/MS) montrent que les familles chimiques majoritairement identifiées dans les extraits aqueux sont les sesquiterpénoïdes, les acides gras et les stérols. Dans les extraits au toluène-éthanol, les sesquiterpènes et les sesquiterpénoïdes sont les composés majeurs. La composition en sesquiterpènes et sesquiterpénoïdes est différente en fonction de la provenance des bois, mais reste très similaire quantitativement. La teneur en polyphénols totaux des extraits au méthanol de la provenance Sidi Bel Abbès est supérieure à celle de Tiaret. Aucune différence significative n'est observée entre les deux provenances pour la durabilité naturelle vis-à-vis de *C. puteana*. En revanche, la résistance à *R. placenta* est significativement plus élevée pour la provenance Sidi Bel Abbès. Pour les deux provenances, le bois de *J. oxycedrus* subsp. *oxycedrus* est très durable vis-à-vis des champignons de pourriture. Il est aussi répulsif et résistant aux attaques de termites. Une analyse ciblée des relations entre la composition chimique et la durabilité naturelle permettra de mettre en évidence la nature ou des constituants responsables de la durabilité naturelle du bois de *J. oxycedrus* subsp. *oxycedrus*, tant vis-à-vis des champignons lignivores que des termites.

Mots-clés : *Juniperus oxycedrus*, durabilité naturelle, extractibles, duramen, termites, Algérie nord-occidentale.

ABSTRACT

Natural resistance and extractives of *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus* wood from north-western Algeria

The wood samples of *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus* studied were obtained from two provenances in north-western Algeria characterised by different climatic and edaphic conditions (Sidi Bel Abbès and Tiaret regions). The extractive compounds and total polyphenols of the heartwood were quantified and characterised. This study assessed the natural resistance of the heartwood to two brown rot fungi (*Rhodonia placenta* and *Coniophora puteana*) and to termites (*Reticulitermes flavipes*). The highest extractive rates were obtained for the wood from Sidi Bel Abbès. Extraction with a toluene-ethanol mixture produced higher rates than extraction with water, respectively 14.17% and 1.35% for the wood samples from Sidi Bel Abbès as against 9.84% and 1.19% for the samples from Tiaret. Gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS) analyses showed that the majority of the chemical families identified in the aqueous extracts are sesquiterpenoids, fatty acids and sterols. The main compounds in the toluene-ethanol extracts were sesquiterpenes and sesquiterpenoids. The composition of the sesquiterpenes and sesquiterpenoids differs according to the origin of the wood, but remains quantitatively very similar. The total polyphenol content of the methanol extracts from Sidi Bel Abbès is higher than in those from Tiaret. No significant difference in natural durability against *C. puteana* was observed between the two provenances. However, resistance to *R. placenta* was significantly higher in the Sidi Bel Abbès provenance. For both provenances, the wood of *J. oxycedrus* subsp. *oxycedrus* is highly resistant to decay fungi and also repellent and resistant to termite attacks. A targeted analysis of the relationships between chemical composition and natural durability should reveal the nature of the constituent(s) responsible for the natural resistance of *J. oxycedrus* subsp. *oxycedrus* wood to both lignivorous fungi and termites.

Keywords: *Juniperus oxycedrus*, natural resistance, extractives, duramen, termites, north-western Algeria.

RESUMEN

Durabilidad natural y composición extractiva de la madera de *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus* del noroeste de Argelia

La madera de *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus* estudiada procedía de dos zonas del noroeste de Argelia con condiciones climáticas y edáficas diferentes (regiones de Sidi Bel Abbès y Tiaret). Se cuantificaron y caracterizaron los extractos y los polifenoles totales del duramen. Se evaluó la durabilidad natural del duramen frente a dos hongos de pudrición marrón (*Rhodonia placenta* y *Coniophora puteana*) y frente a las termitas (*Reticulitermes flavipes*). Las tasas de extractos más altas se obtuvieron para la madera de Sidi Bel Abbès. La extracción con una mezcla de tolueno y etanol produjo niveles más elevados que la extracción con agua, respectivamente del 14,17 % y del 1,35 % para la madera de Sidi Bel Abbès y del 9,84 % y 1,19 % para la madera de Tiaret. Los análisis mediante cromatografía de gases combinada con espectrometría de masas (CG/EM) muestran que las familias químicas identificadas en los extractos acuosos son principalmente sesquiterpenoides, ácidos grasos y esteroides. En los extractos de tolueno-etanol, los sesquiterpenos y los sesquiterpenoides son los compuestos principales. La composición de sesquiterpenos y sesquiterpenoides difiere según el origen de la madera, pero es cuantitativamente muy similar. El contenido total de polifenoles de los extractos con metanol provenientes de Sidi Bel Abbès es mayor que en los provenientes de Tiaret. No se observaron diferencias significativas entre las dos procedencias en cuanto a la durabilidad natural frente a *C. puteana*. Por el contrario, la resistencia a *R. placenta* fue significativamente mayor para la madera originaria de Sidi Bel Abbès. En ambas procedencias, la madera de *J. oxycedrus* subsp. *oxycedrus* es muy resistente a los hongos de la podredumbre. También es repelente y resistente al ataque de las termitas. Un análisis específico de las relaciones entre la composición química y la durabilidad natural revelará la naturaleza de los constituyentes responsables de la durabilidad natural de la madera de *J. oxycedrus* subsp. *oxycedrus*, tanto ante los hongos lignívoros como ante las termitas.

Palabras clave: *Juniperus oxycedrus*, durabilidad natural, extractos, duramen, termitas, noroeste de Argelia.

Introduction

La forêt algérienne, partie intégrante de la région méditerranéenne, présente des richesses naturelles importantes mais souvent sous-valorisées. Parmi les espèces forestières présentes dans le pays, le genévrier oxycèdre ou cade (*Juniperus oxycedrus*, famille des Cupressaceae), espèce typique et endémique de la région méditerranéenne, représente un élément pionnier très dynamique, notamment en milieu forestier dégradé. Cette essence a la capacité de pouvoir se développer de manière très locale sous des bioclimats semi-arides, en résistant à la sécheresse, en étant peu exigeante, et en étant plastique quant à la nature et la fertilité des sols.

Klimko *et al.* (2007) ont subdivisé *Juniperus oxycedrus* en quatre sous-espèces : subsp. *oxycedrus*, subsp. *macrocarpa* (Sibth. & Sm.) Ball, subsp. *badia* (H. Gay) Debeaux, subsp. *trastagana* (Franco). Parmi ces quatre sous-espèces, *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus* (photo 1) est l'espèce la plus abondante en Algérie (Chaouche *et al.*, 2015). Durant ces quinze dernières années, plusieurs travaux de recherche ont été conduits sur *Juniperus oxycedrus*, notamment en Algérie. Ces études ont porté sur des sujets variés tels que les variations morphologiques des populations (Klimko *et al.*, 2007 ; Hafsi *et al.*, 2017) ou l'activité des composés phénoliques présents dans l'écorce des racines (Chaouche *et al.*, 2015). Elles sont cependant principalement axées sur l'obtention, la composition et l'activité, d'une part, de l'huile de cade obtenue par distillation du bois, cette huile étant très utilisée en médecine vétérinaire, en dermatologie et en médecine traditionnelle (Quézel et Gast, 1998 ; Loizzo *et al.*, 2007 ; Julin, 2008 ; Abdellah *et al.*, 2018 ; Al-Snafi, 2018), et, d'autre part, des huiles essentielles issues des feuilles, des baies, des cônes ou des écorces (Marongiu *et al.*, 2003 ; Dob *et al.*, 2006 ; Medini *et al.*, 2013 ; Hayta et Bagci, 2014 ; Al-Snafi, 2018).

Les études sur le bois de *Juniperus oxycedrus* ont donc essentiellement porté sur la composition et l'activité biologique des huiles essentielles alors que les connaissances sur son bois en tant que matériau sont parcelaires et peu documentées. En outre, ce bois est qualifié de résistant ou durable sans qu'aucune référence solide ne soit associée à cette constatation (Uçar et Balaban, 2002 ; Balaban *et al.*, 2003 ; Julin, 2008).

La durabilité naturelle du bois correspond à sa résistance intrinsèque aux attaques d'agents biologiques de détérioration, sans traitement chimique ou physique de préservation (Dulbecco et Luro, 2001).

Cette caractéristique est généralement associée à la teneur et à la composition chimique des extractibles présents naturellement dans le bois (Taylor *et al.*, 2006), sachant que les classes de durabilité concernent uniquement le duramen, l'aboyer étant toujours considéré comme non durable (EN 350, 2016 ; Fouquet, 2009).

Nos recherches répondent à deux objectifs : évaluer la durabilité naturelle du duramen de *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus* vis-à-vis de deux espèces de champignons de pourriture brune (*Rhodonia placenta* et *Coniophora puteana*) et d'une espèce de termites (*Reticulitermes flavipes*) ; caractériser et quantifier les fractions extractibles et les polyphénols totaux de ces bois.

La durabilité naturelle évaluée sera mise en corrélation avec la composition chimique de ces bois. Ces résultats s'inscrivent dans une étude de valorisation multifactorielle du bois de *J. oxycedrus* subsp. *oxycedrus*, cupressacée de l'Ouest algérien, dont les usages locaux vont du bois matériau à la pharmacopée traditionnelle

Matériel et méthodes

Origines des bois

L'étude a été réalisée sur des échantillons de bois prélevés sur deux arbres de même âge (environ 130 ans) issus de deux provenances du Nord-Ouest algérien, différentes de par leurs caractéristiques bioclimatiques : station de Moulay Slissen dans la région de Sidi bel Abbès et station de Medroussa dans la région de Tiaret (figure 1). Le choix de ces deux provenances a pour finalité d'évaluer l'influence des conditions de croissance locales sur la composition en

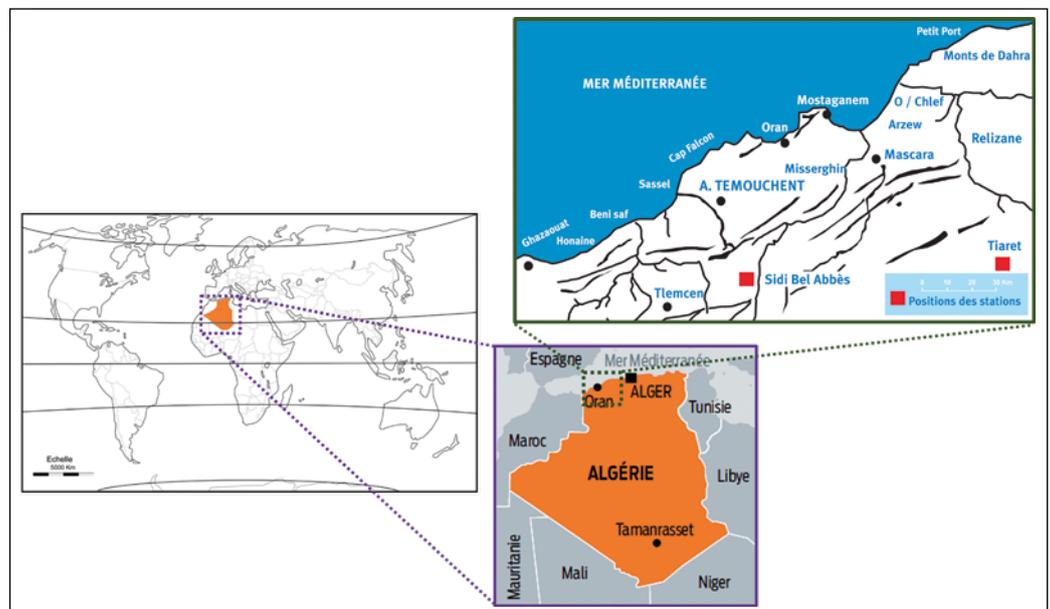
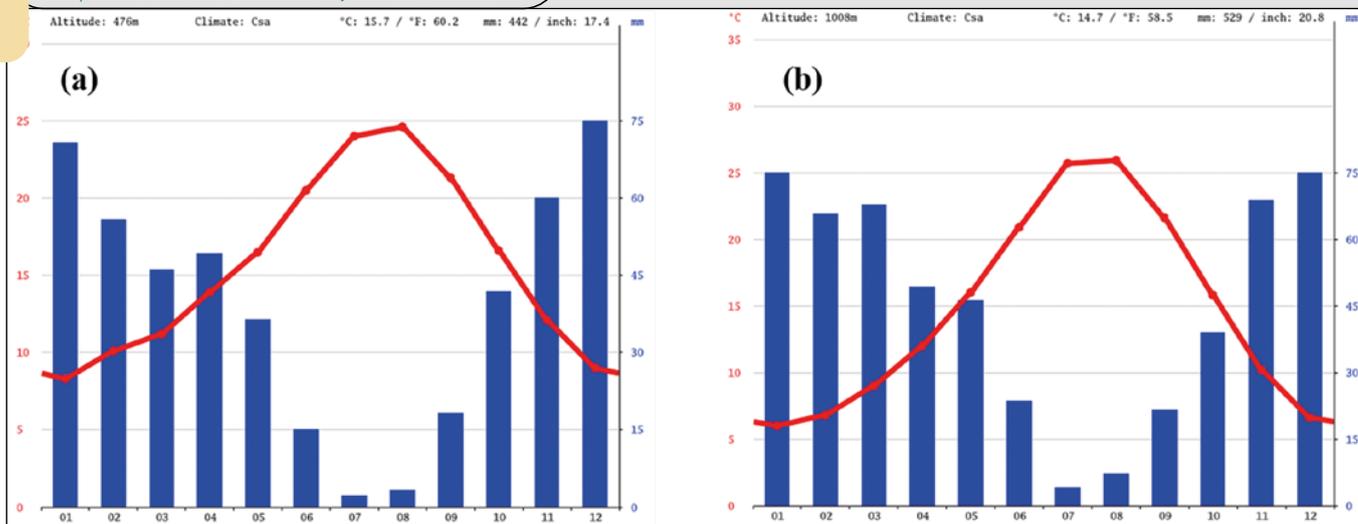


Figure 1. Localisation des deux régions de prélèvement des échantillons de *Juniperus oxycedrus* dans le Nord-Ouest de l'Algérie (Boudouaya *et al.*, 2015).
 Location of the two sampling regions of *Juniperus oxycedrus* in Northwest Algeria (Boudouaya *et al.*, 2015).

**Figure 2.**

Diagrammes ombrothermiques de la région de Sidi Bel Abbès (a) et de la région de Tiaret (b) sur la période 1982-2012 (source : <https://fr.climate-data.org>). En rouge la température, en bleu les précipitations.

Umbrothermal diagrams of the Sidi Bel Abbès region (a) and the Tiaret region (b) over the period 1982-2012 (source : <https://fr.climate-data.org>). In red the temperature, in blue the precipitation.

extractibles et la durabilité naturelle du bois. Ces deux provenances correspondent en effet à des conditions écologiques différentes (altitude, climat et nature du sol) qui impactent la croissance des arbres.

La région de Sidi Bel Abbès (35°12'0" N ; 0°38'29" W), située à une altitude de 600 m, est caractérisée par un climat méditerranéen. Elle appartient à l'étage bioclimatique semi-aride à tendance continentale avec des hivers humides et froids, des étés secs et chauds, et des saisons intermédiaires courtes (Bennabi *et al.*, 2012). Sidi Bel Abbès affiche une température annuelle moyenne de 15,7 °C (moyenne minimum de 8,3 °C en janvier et moyenne maximum de 24,6 °C en août). Sur l'année, la précipitation moyenne est de 442 mm, avec une amplitude de 68 mm entre le mois le plus sec et le mois le plus humide (figure 2a).

La région de Tiaret (35°22'2,478" N ; 1°19'19,315" E), située à une altitude de 1 000 m, est caractérisée par un climat du type méditerranéen. Elle appartient à l'étage bioclimatique semi-aride inférieur, avec des hivers rigoureux et des étés chauds et secs (Achir et Hellal, 2016). Tiaret affiche une température annuelle moyenne de 14,7 °C (moyenne minimum de 6,0 °C en janvier et moyenne maximum de 25,9 °C en août). Sur l'année, la précipitation moyenne est de 529 mm, avec une moyenne minimum de 4 mm en juillet et une moyenne maximum de 73 mm en janvier (figure 2b).

Des analyses physico-chimiques (texture, conductivité électrique, pH, calcaire total, calcaire actif et matière organique) réalisées selon les méthodes décrites par Aubert (1978) ont mis en évidence des différences entre les natures des sols des deux stations étudiées. Le sol de la station de Moulay Slissen (région de Sidi Bel Abbès) est caractérisé par une texture de type limono-sableux, peu calcaire, non salé, pauvre en matière organique, avec un pH légèrement alcalin. Le sol de la station de Medroussa (région de Tiaret) est caractérisé par une texture de type limoneux, caillouteux, fortement calcaire, non salé, très pauvre en matière organique et avec un pH légèrement alcalin. Les conditions édaphiques

de croissance de *Juniperus oxycedrus* sont donc moins favorables sur la station de Medroussa.

Dans la station de Moulay Slissen, l'essence principale est le pin d'Alep (*Pinus halepensis*), *Juniperus oxycedrus* étant considéré comme une essence secondaire. La strate herbacée est dominée par l'alfa (*Stipa tenacissima*). La station de Medroussa est caractérisée par la présence de *Juniperus oxycedrus* avec quelques sujets de chêne kermès (*Quercus coccifera*). Cette formation à dominance arbustive est représentée par le pistachier lentisque (*Pistacia lentiscus*) et le filaire à feuilles étroites (*Phillyrea angustifolia*). La strate herbacée est composée essentiellement de ciste épineux (*Calycotome intermedia*) et de romarin (*Rosmarinus officinalis*).

Le choix s'est porté sur des arbres non fourchus, bienvenants, aux troncs sans défaut avec un diamètre compris entre 12 et 21 cm (arbres considérés comme matures) et d'une hauteur comprise entre 2,70 et 4 m.

Échantillonnage

Dans chacune des deux régions, les arbres sélectionnés ont été abattus à 40 cm au-dessus du sol pour faciliter l'abatage manuel. Des tronçons de 30 à 80 cm ont été débités pour les expérimentations. Dans chaque arbre ont été prélevées 100 éprouvettes de duramen, réparties en plusieurs points de prélèvement, de dimensions 25 mm x 10 mm x 5 mm (selon les directions longitudinale (L), radiale (R) et tangentielle (T)). Parmi ces 100 éprouvettes, 70 ont été sélectionnées pour les essais fongiques et 10 pour les essais de résistance vis-à-vis des termites. Le reste des échantillons a été broyé puis tamisé (broyeur RETSCH SM200), avec une granulométrie comprise entre 0,2 et 0,5 mm pour la détermination des fractions extractibles, et une granulométrie comprise entre 750 et 800 µm pour le dosage des polyphénols totaux. Avant chaque protocole d'essais, les échantillons (éprouvettes et poudres) ont été stockés et conditionnés en enceinte climatique, à 20 ± 2 °C et 65 ± 5 % d'humidité relative (HR).

Extraction et caractérisation des fractions extractibles

Les échantillons sous forme de poudres ont été séchés en étuve à 103 ± 2 °C jusqu'à stabilisation de leur masse (m_1). La procédure suivie est similaire à celle de Rowell *et al.* (2005). Trois réplicats des poudres de bois ont subi une extraction au Soxhlet à l'eau distillée (9 h, solvants de qualité technique, Carlo Erba Reagents Val-de-Reuil, France) puis avec une solution toluène/éthanol (2:1, v/v, 9 h) (Carlo Erba Reagents – Val-de-Reuil, France). Après chacune des extractions, les échantillons sont séchés à 103 ± 2 °C pendant 48 h, puis pesés (m_2 après extraction à l'eau ; m_3 après extraction toluène/éthanol). En parallèle, les extraits récupérés sont concentrés par évaporation à sec à l'aide d'un évaporateur rotatif (Rotavapor R-200 Büchi, Suisse : 40 °C – 7,2 MPa pour les extraits à l'eau ; 40 °C – 9,5 MPa pour les extraits toluène/éthanol).

Les taux d'extractibles sont déterminés par les formules suivantes :

$$\text{Ext.}_{\text{eau}} (\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (\text{équation 1})$$

$$\text{Ext.}_{\text{tol/eth}} (\%) = \frac{m_2 - m_3}{m_2} \times 100 \quad (\text{équation 2})$$

avec :

- Ext._{eau} : taux d'extraits à l'eau en %, sur base anhydre ;
- $\text{Ext.}_{\text{tol/eth}}$: taux d'extraits à la solution toluène/éthanol (2:1, v/v) en %, sur base anhydre ;
- m_1 : masse anhydre initiale en grammes ;
- m_2 : masse anhydre après extraction à l'eau en grammes ;
- m_3 : masse anhydre après extraction à la solution toluène/éthanol en grammes ;

Les compositions chimiques des différentes fractions d'extractibles ainsi récupérées ont été analysées par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC/MS).

Ces analyses ont été réalisées sur un chromatographe en phase gazeuse TRACE™ 1300 (Thermo) équipé d'une colonne TG5-MS (5% phenyl methyl siloxane) 30 m x 0,25 mm i.d., épaisseur de film 0,25 µm (Thermo).

Le spectromètre couplé à la chaîne chromatographique est un DSQII (Thermo) équipé d'une source EI à 70 eV. Le spectre de masse est enregistré entre 50 et 650 Da (m/z unité équivalente). Les injections sont effectuées en mode split 1/350. Les extraits ne sont pas dérivés avant injection.

Les caractéristiques de l'analyse sont les suivantes :

- volume injecté, 1 µl ;
- gaz porteur, hélium, avec un débit linéaire de 1,2 ml/min.

L'identification des composés a été réalisée par comparaison de leur spectre de masse avec ceux de la librairie (NIST2017 v2.3 / Xcalibur data system) associée à l'équipement.

Extraction et dosage des polyphénols totaux

Extraction des polyphénols totaux

L'extraction a été réalisée selon le protocole de Boizot et Charpentier (2006) avec quelques modifications. Pour chaque arbre, une quantité de 50 mg de duramen broyé (granulométrie 750-800 µm) est mélangée avec soit 1,8 ml de solution de méthanol (qualité analytique) concentré à 80 % (Carlo Erba – Val-de-Reuil, France), soit 1,8 ml de solution d'acétone (qualité analytique) concentré à 80 % (Carlo Erba – Val-de-Reuil, France), dans un tube Eppendorf 2 ml. Ensuite, les mélanges sont placés dans un bain à ultrasons et laissés à soniquer pendant une heure, tout en étant secoués toutes les dix minutes. Ensuite, les tubes sont laissés à macérer pendant une heure à 4 °C à l'aide d'un agitateur rotatif (20 rpm). Après centrifugation, le surnageant contenant les polyphénols est récupéré à l'aide d'une pipette équipée d'un cône à filtre à charbon actif, puis placé dans un tube à hémolyse.

Une seconde extraction identique sur le culot est réalisée pour extraire des polyphénols supplémentaires. Les surnageants de ces deux extractions successives sont recueillis dans le même tube à hémolyse. Un volume de 500 µl de surnageant est ainsi récolté, puis évaporé à sec pendant trois heures au concentrateur sous vide (Thermo Scientific Savant SpeedVac™, ThermoFischer, États-Unis). Les résidus secs sont ensuite solubilisés dans 250 µl de méthanol pur (Carlo Erba – Val-de-Reuil, France), puis stockés à 4 °C jusqu'au dosage des polyphénols totaux.

Dosage des polyphénols totaux

Le dosage des polyphénols totaux au réactif de Folin-Ciocalteu (Folin-Ciocalteu's phenol reagent 2N, Sigma-F9252, Saint Quentin Fallavier) a été réalisé selon la méthode décrite par Singleton et Rossi (1965). En milieu alcalin, les polyphénols réagissent avec le mélange phosphomolybdique/phosphotungstique du réactif de Folin-Ciocalteu pour former un complexe bleu visible à 735 nm. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans l'extrait de bois. La teneur en composés phénoliques est déterminée à partir d'une gamme étalon d'acide gallique : 8 points de concentration de 0 à 20 µg/ml ; 1,5 ml de solution pour chaque point de la gamme d'étalonnage en tubes Eppendorf.

Les extraits préalablement récoltés sont dilués avec de l'eau ultra-pure (50 µl extrait : 50 µl eau). Dans un tube Eppendorf, un volume de 500 µl de réactif de Folin-Ciocalteu (dilué 10 fois dans de l'eau ultra pure) est ajouté à 100 µl d'extrait préalablement dilué dans de l'eau ultra-pure (50:50 ; v:v). 400 µl de solution de carbonate de sodium (Na_2CO_3 , 75 g/l) sont ajoutés. Ensuite, les tubes sont agités et placés pendant 5 minutes à 40 °C dans une étuve. Le contenu de chaque tube est déposé en triplicata à raison de 250 µl par puits sur une plaque de micro-titration à fond plat (Greiner) (Boizot et Charpentier, 2006).

L'absorbance est lue à 735 nm par un spectrophotomètre lecteur de plaques (Multiskan Spectrum Thermo) contre le blanc de la réaction. La quantité de polyphénols totaux (Q) contenue dans la poudre extraite est calculée

selon la formule suivante et exprimée en mg d'équivalent acide gallique par gramme de matière sèche :

$$Q = \left(\frac{C_m}{MS} \right) \times \left(\frac{V_e}{V_s} \right) \times \left(\frac{V_r}{V_i} \right) \times F \quad (\text{équation 3})$$

avec :

- Q : quantité de polyphénols totaux en mg d'équivalent acide gallique par g de matière sèche ;
- Cm : concentration massique en µg d'équivalent acide gallique par ml ;
- MS : masse de matière sèche pesée au départ en mg ;
- Ve : volume de solvant utilisé pour l'extraction en ml ;
- Vs : volume de surnageant prélevé pour l'évaporation sous vide en ml ;
- Vr : volume de reprise du résidu sec après évaporation en µl ;
- Vi : volume utilisé pour le dosage en µl ;
- F : facteur de dilution (= 2).

Durabilité naturelle vis-à-vis des champignons Basidiomycètes

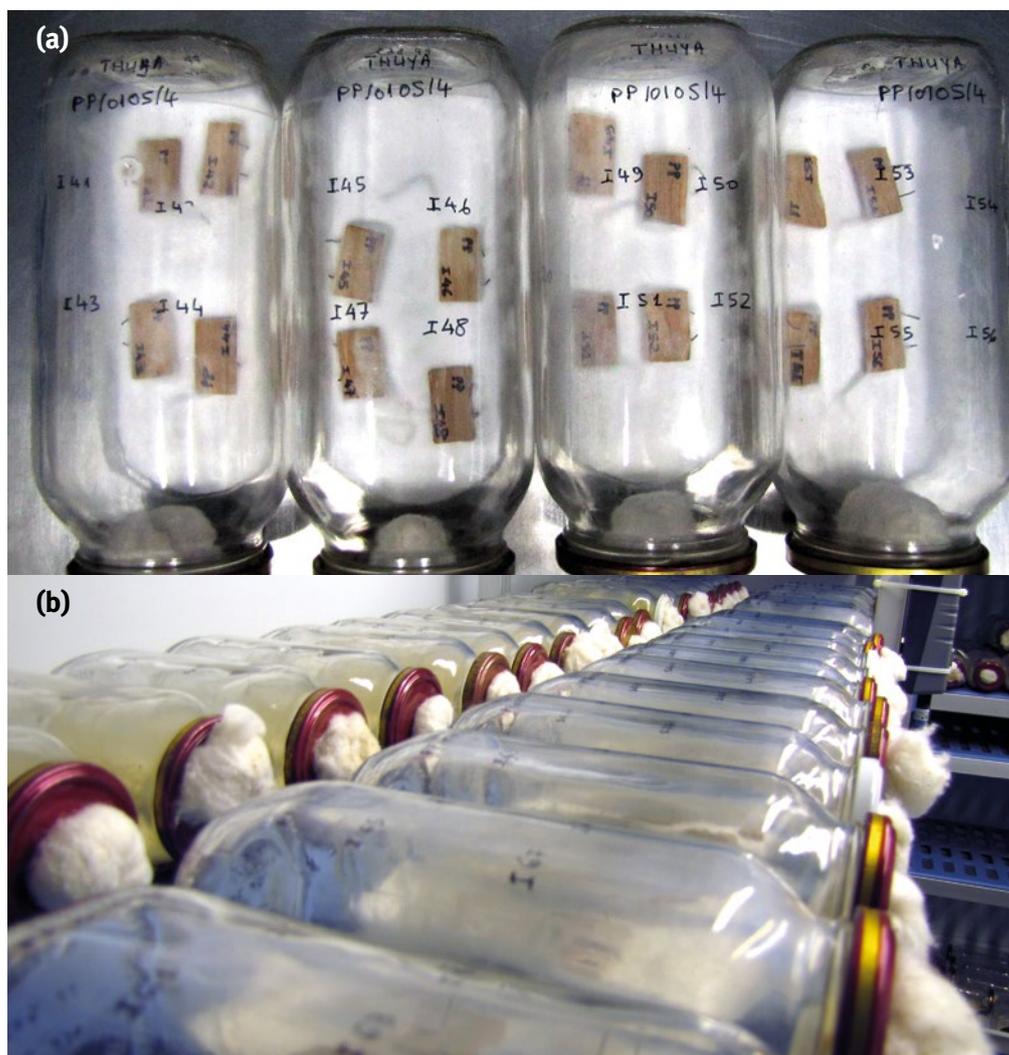
Les essais fongiques ont été effectués en adaptant les spécifications requises par la norme XP CEN/TS 15083-1 (2006) sur des éprouvettes de duramen de dimensions 25 mm x 10 mm x 5 mm (L, R, T). Deux champignons lignivores de type pourriture cubique ont été utilisés : *R. placenta* (RP) ((Fries) Cooke sensu J. Eriksson, strain FPRL 280) et *C. puteana* (CP) ((Schumacher ex Fries) Karsten, strain BAM Ebw.15) (Boudouaya *et al.*, 2015 ; Bopenga, 2020).

Pour chaque provenance, trente éprouvettes de duramen (conditionnées à 20 ± 2 °C et 65 ± 5 % HR) ont été soumises à *C. puteana* et à *R. placenta*. Dix éprouvettes de calcul de teneur en humidité ont également été utilisées pour déterminer les masses anhydres des éprouvettes testées vis-à-vis des champignons (m_d). Huit éprouvettes de hêtre (*Fagus sylvatica* L.) et huit éprouvettes d'aubier de pin sylvestre (*P. sylvestris* L.) de mêmes dimensions ont été utilisées comme témoins de virulence pour les deux champignons de pourriture cubique. Ces éprouvettes de contrôle de virulence ont été séchées à

103 ± 2 °C, jusqu'à stabilisation de leur masse anhydre (m_d), avant d'être soumises aux essais fongiques. Toutes les éprouvettes ont été stérilisées deux fois à la vapeur d'eau avant essai.

Des flacons en verre (720 ml) ont été remplis de 72 ml de milieu de culture, composé de 40 ± 0,5 g de malt en poudre et de 20 ± 0,5 g d'agar-agar pour 1 litre d'eau distillée. Les flacons fermés ont été ensuite stérilisés à l'autoclave (121 °C – 1 bar) pendant 20 minutes. Lorsque les milieux de culture sont refroidis et gélifiés (après 24 h), les flacons sont inoculés avec deux disques de mycélium de 1 cm de diamètre, provenant d'une culture de champignon âgée de 2 semaines, puis placés en chambre climatique (22 ± 2 °C et 70 ± 5 % HR) jusqu'à ce que le mycélium recouvre l'ensemble de la surface du milieu de culture (2 semaines).

Dans chaque dispositif, quatre éprouvettes d'une même essence de bois sont déposées sur des supports métalliques préalablement stérilisés à l'autoclave (photos 2) afin de limiter la reprise excessive d'humidité. Les dispositifs sont ensuite placés à l'obscurité en enceinte climatique (22 ± 2 °C et 70 ± 5 % HR) pendant 8 semaines (photo 2b).



Photos 2.

Exposition des éprouvettes de bois aux champignons (a) et incubation des éprouvettes dans une enceinte climatique pendant 8 semaines (b).

Exposure of wood specimens to fungi (a) and incubation of specimens in a climate chamber for 8 weeks (b).

Photos M.-F. Thévenon

Tableau I.

Classes de durabilité (DC) du bois vis-à-vis des attaques fongiques (Basidiomycètes) selon la norme XP CEN/TS 15083-1 (2006).
Durability classes (DC) of wood against fungal attack (Basidiomycetes) according to XP CEN/TS 15083-1 (2006).

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

PM : perte de masse médiane (en %) obtenue avec le champignon le plus virulent parmi les champignons testés.

À la fin de la période d'incubation, les éprouvettes de bois sont retirées des dispositifs d'essais, nettoyées avec une brosse douce, et pesées immédiatement afin de déterminer leur masse humide (m_5). Les échantillons sont ensuite séchés à l'étuve à 103 ± 2 °C pendant 24 h, puis pesés afin de déterminer leur masse anhydre finale (m_6).

L'humidité en fin d'essai (H) et la perte de masse des échantillons (PM) sont déterminées par les formules suivantes :

$$H(\%) = \left(\frac{m_5 - m_6}{m_6} \right) \times 100 \quad (\text{équation 4})$$

$$PM(\%) = \left(\frac{m_4 - m_6}{m_4} \right) \times 100 \quad (\text{équation 5})$$

avec :

- H : teneur en humidité des éprouvettes exposées aux champignons, en grammes ;
- PM : perte de masse des éprouvettes exposées aux champignons, en grammes (sur base anhydre) ;
- m_4 : masse anhydre initiale, en grammes ;
- m_5 : masse humide après exposition fongique, en grammes ;
- m_6 : masse anhydre après exposition fongique, en grammes.

Selon la norme XP CEN/TS 15083-1 (2006), les valeurs médianes des pertes de masse ainsi établies permettent de déterminer la classe de durabilité naturelle des bois testés (tableau I).

Durabilité naturelle vis-à-vis des termites

Les essais de résistance aux termites ont été réalisés par une méthode de test rapide (*screening test*) de non-choix en boîte de Petri, adaptée de la norme EN 117 (2013). Pour chaque provenance de bois, 10 éprouvettes de duramen de dimensions 25 mm x 10 mm x 5 mm (L, R, T), préalablement conditionnées en enceinte climatique (20 ± 2 °C et 65 ± 5 % HR), ont été testées vis-à-vis de l'attaque de termites de l'espèce *Reticulitermes flavipes* (ex *santonensis*).

Une quantité de 30 g de sable de Fontainebleau humide (4 volumes de sable pour 1 volume d'eau) a été placée sur la périphérie de la boîte de Petri de 9 cm de diamètre. Dans chaque dispositif d'essai, 50 termites ouvriers, 1 soldat et 1 nymphe ont été introduits. L'échantillon de bois à tester est placé au centre de la boîte, sur une grille en plastique afin d'éviter le contact direct avec le plastique et de limiter l'absorption d'humidité. Les dispositifs sont placés dans l'obscurité en enceinte climatique à 27 ± 2 °C et à une humidité relative supérieure à 75 %, pendant 4 semaines (photo 3). Des contrôles réguliers des dispositifs d'essais (suivi des comportements des termites et réhumidification du sable si nécessaire) ont été réalisés deux fois par semaine.

Dans ces mêmes conditions, cinq éprouvettes d'aubier de pin sylvestre (*P. sylvestris* L.), de dimensions 25 mm x 10 mm x 5 mm (L, R, T), ont été testées en tant que témoins de virulence.

À la fin de l'essai, les taux de survie des termites sont déterminés. Les éprouvettes sont nettoyées à l'aide d'une brosse douce, séchées à l'air libre pendant 24 h puis une

Photo 3. Exposition des éprouvettes de bois aux termites. *Exposure of wood specimens to termites.* Photo M.-F. Thévenon

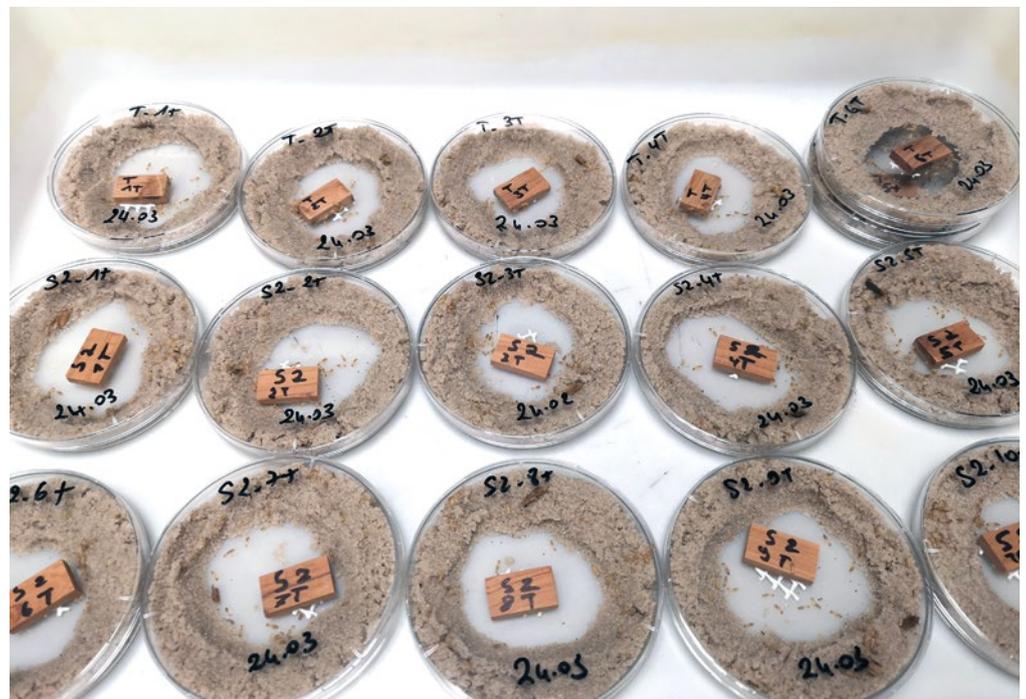


Photo 3.
 Exposition des éprouvettes de bois aux termites.
Exposure of wood specimens to termites.
 Photo M.-F. Thévenon

Tableau II.

Taux d'extractibles du bois de duramen de *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus* pour les deux provenances étudiées.

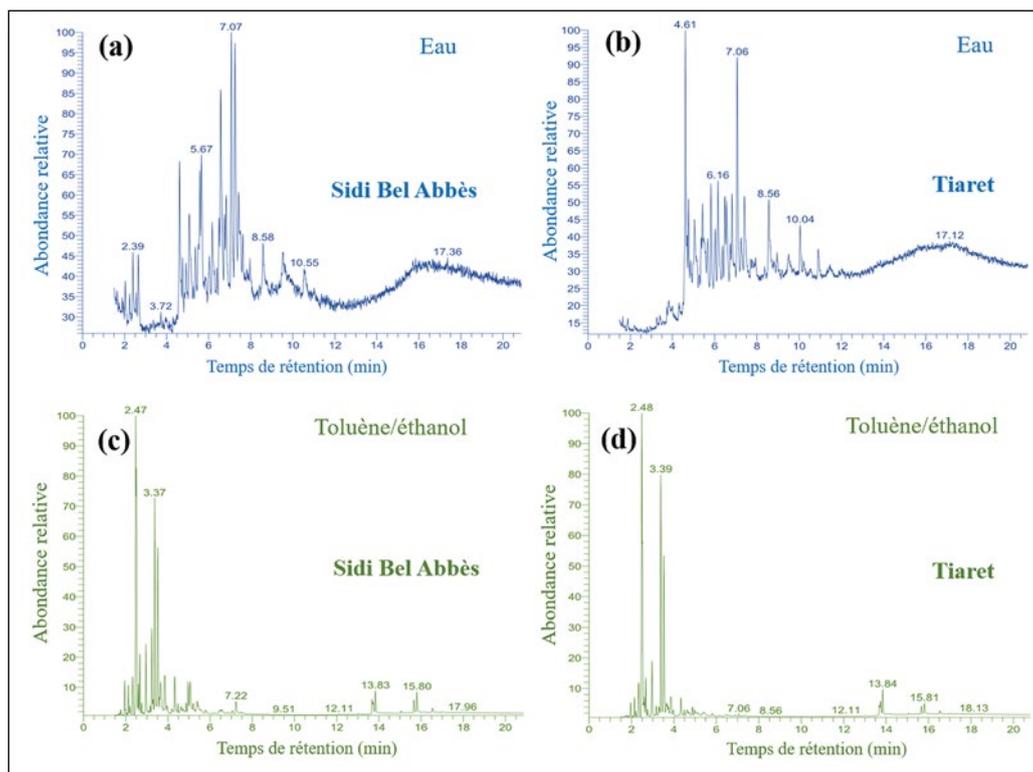
Extractives content of heartwood of Juniperus oxycedrus subsp. oxycedrus for the two provenances studied.

Solvant	Taux d'extractibles (% m/m)	
	Sidi Bel Abbès	Tiaret
Eau	1,35 ± 0,06	1,19 ± 0,02
Toluène/éthanol (2/1, v/v)	14,17 ± 0,87	9,84 ± 0,79
Total	15,52 ± 0,83	11,03 ± 0,81

cotation visuelle leur est attribuée, en fonction des critères définis dans la norme EN 117 (2013), avec une adaptation des critères à la taille des éprouvettes d'essai (Bedoungindzi *et al.*, 2020).

Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel IBM SPSS v 26. La comparaison entre les résultats des bois issus des deux provenances est établie avec le test U de Mann-Whitney pour un seuil de signification de 0,05.

**Figure 3.**

Chromatogrammes issus des analyses GC-MS des extraits du duramen des bois de *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus* : (a) extraits à l'eau du bois de Sidi Bel Abbès ; (b) extraits à l'eau du bois de Tiaret ; (c) extraits au mélange toluène/éthanol du bois de Sidi Bel Abbès ; (d) extraits au mélange toluène/éthanol du bois de Tiaret.

Chromatograms from GC-MS analyses of the heartwood extracts of Juniperus oxycedrus subsp. oxycedrus: (a) water extracts from Sidi Bel Abbès wood; (b) water extracts from Tiaret wood; (c) toluene/ethanol extracts from Sidi Bel Abbès wood; (d) toluene/ethanol extracts from Tiaret wood.

Résultats

Quantification et caractérisation des extractibles

Taux d'extractibles

Le tableau II présente les taux d'extractibles du duramen des bois de *Juniperus oxycedrus* provenant de Sidi Bel Abbès et de Tiaret en fonction du solvant utilisé. Les rendements en extraits sont significativement différents en fonction de la provenance du bois et du solvant utilisé. Les taux d'extractibles les plus élevés ont été obtenus au mélange toluène/éthanol (14,17 % et 9,84 % m/m) par rapport à l'eau (1,35 % et 1,19 % m/m) pour les bois provenant de Sidi Bel Abbès et Tiaret respectivement. Le taux d'extractibles totaux du bois provenant de Sidi Bel Abbès est plus élevé que celui provenant de Tiaret (respectivement 15,52 % contre 11,03 % m/m).

Composition chimique des fractions extractibles

Extractibles solubles dans l'eau

Les figures 3a et 3b présentent les chromatogrammes issus des analyses GC-MS des fractions extractibles solubles dans l'eau des duramens des bois des deux provenances. Les familles chimiques majoritairement identifiées dans ces extraits aqueux sont les sesquiterpénoïdes, les acides gras et les stérols. Le groupe des sesquiterpénoïdes obtenus pour la provenance de Sidi Bel Abbès est dominé par l'alloaromadendrene oxyde-(2) (temps de rétention - tr 7,24 min), tandis que le bois provenant de Tiaret est dominé par l'aromadendrene oxyde-(2) (tr 8,56 min) (tableau III). Pour les deux provenances, les acides gras majoritairement présents dans les extraits aqueux sont l'acide tridécanoïque (tr 7,07 min), l'acide butanoïque (tr 6,57 min) et l'acide acétique (tr 6,82 min). Le campestérol (tr 4,6 min) est l'élément qui représente en majorité la famille des stérols ; il est présent en quantité plus importante dans le duramen des bois de Tiaret que dans les bois de Sidi Bel Abbès (tableau III).

Extractibles au toluène/éthanol

Les figures 3c et 3d présentent les chromatogrammes issus des analyses GC-MS des fractions extractibles au toluène/éthanol des duramens des bois des deux provenances. Une

importante quantité de molécules a été identifiée pour cette extraction. Les sesquiterpènes et les sesquiterpénoïdes représentent la fraction majeure pour les deux provenances des bois et sont majoritairement représentés par le naphthalène (tr 2,47 min), le cubénol (tr 3,37 min et 3,52 min), le β -élémente (tr 2,96 min) et l' α -calacorène (tr 2,66 min). On remarque également que l'epicedrol (tr 5,06 min) est présent

uniquement dans les extraits des bois de Sidi Bel Abbès. La composition en sesquiterpènes et sesquiterpénoïdes des extraits au toluène/éthanol est différente en fonction de la provenance des bois, mais reste très similaire en termes de quantité de molécules. Par ailleurs, on constate l'absence de composés phénoliques pour les deux extraits et une présence minimale d'acide rétinoïque (tr 15,81 min) (tableau III).

Tableau III.

Composition chimique des extraits, à l'eau et à la solution toluène/éthanol, du bois de duramen de *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus* des deux provenances étudiées.
Chemical composition of the extracts, with water and toluene/ethanol solution, of the heartwood of Juniperus oxycedrus subsp. oxycedrus from the two provenances studied.

Extraits à l'eau			
Temps de rétention (tr en minutes)	Composés	Aire des pics (en %)	
		Sidi Bel Abbès	Tiaret
2,39	Terpinolène	2,41	0,00
2,64	Acide nanodecanoïc ethyl ester	2,62	0,00
3,72	Caryophyllène	0,10	1,05
4,61	Campestérol	5,87	12,43
5,08	Acide isovalérique phenethyl ester	7,25	3,09
5,67	2,5 Diméthoxyphenol	4,81	2,74
6,17	Iso-furano-germacrene	4,23	6,10
6,57	Acide butanoïque	7,82	3,09
6,82	Acide acétique	3,88	4,56
7,07	Acide tridécanoïque	12,08	11,01
7,24	Alloaromadendrene oxide-(2)	9,97	2,16
8,56	Aromadendrene oxide-(2)	2,01	5,43
10,55	Aromadendrene oxide-(1)	1,83	1,73
Autres composés minoritaires ou non identifiés		35,12	46,61
Extraits à la solution toluène/éthanol			
Temps de rétention (rt en minutes)	Composés	Aire des pics (en %)	
		Sidi Bel Abbès	Tiaret
2,12	Caryophyllène	1,59	1,39
2,47	Naphtalène	27,49	32,68
2,66	α -calacorène	3,25	2,72
2,96	β -élémente	4,38	4,63
3,24	Epicedrol	5,06	0,00
3,37	Cubénol	12,83	19,22
3,52	Cubénol	12,13	15,75
3,65	Aromadendrene oxide-(1)	2,70	0,77
4,32	Aromadendrene oxide-(1)	2,79	1,56
7,22	Aromadendrene oxide-(1)	1,12	0,00
13,83	Ingénol	1,62	2,32
15,81	Acide rétinoïque	1,54	1,01
Autres composés minoritaires ou non identifiés		23,5	17,95

Dosage des polyphénols totaux

Les teneurs en polyphénols totaux des bois de deux provenances ont été déterminées en milligrammes d'équivalent de l'acide gallique par gramme de matière sèche (mg EAG/g) en se référant à la courbe d'étalonnage établie préalablement.

D'après les résultats obtenus, la teneur en polyphénols totaux des bois extraits au méthanol et provenant de Sidi Bel Abbès (8,46 \pm 0,30 mg EAG/g MS) est significativement supérieure à celle de Tiaret (7,28 \pm 0,23 mg EAG/g MS) (figure 4). Pour les deux provenances, les teneurs en polyphénols totaux extraits à l'acétone sont légèrement inférieures à celles obtenues avec le méthanol, mais cet écart n'est pas significatif. Cependant, la teneur en polyphénols totaux extraits à l'acétone et provenant de Sidi Bel Abbès (7,99 \pm 0,19 mg EAG/g MS) est supérieure à celle de la provenance Tiaret (7,07 \pm 0,30 mg EAG/g MS) (figure 4).

Durabilité naturelle vis-à-vis des champignons

Compte tenu des pertes de masse enregistrées après 8 semaines d'exposition sur les échantillons témoins de hêtre (32,40 \pm 0,88 % pour *C. puteana*, 32,73 \pm 0,90 % pour *R. placenta*) et d'aubier de pin sylvestre (29,02 \pm 0,08 % pour *C. puteana*, 37,62 \pm 0,06 % pour *R. placenta*), la virulence des champignons permet de valider les essais fongiques. Par ailleurs, les taux d'humidité finale des éprouvettes de virulence après 8 semaines d'incubation doivent être supérieurs à 20 % : ils varient de 21,29 à 78,43 %. Ces taux d'humidité permettent donc le développement d'une attaque fongique.

L'étude statistique n'a révélé aucune différence significative entre les deux provenances pour l'espèce *C. puteana*. En revanche, on observe une différence très significative pour l'espèce *R. placenta* (figure 5).

Le test de durabilité naturelle vis-à-vis des deux champignons de pourriture brune a montré que la perte de masse médiane est toujours inférieure à 5 % après 8 semaines d'incubation pour les deux provenances. D'après la norme XP CEN/TS 15083-1 (2006), le bois de cette essence peut être classé comme très durable (CD1).

Durabilité naturelle vis-à-vis des termites

Les résultats obtenus sur les éprouvettes de témoins de virulence (aubier de pin sylvestre) attestent la validité des essais de résistance aux termites (taux de survie supérieur à 50 %, $81,6 \pm 8,4$ %, et cotation visuelle de 4 correspondant à une forte attaque).

Quelle que soit la provenance du bois de duramen de *Juniperus oxycedrus*, après 4 semaines d'exposition aux termites (*Reticulitermes flavipes*), les taux de survie des termites sont nuls (sauf pour un échantillon provenant de

Tiaret, où il reste un termite vivant) et les cotations visuelles des éprouvettes sont de 0 (aucune attaque, excepté pour deux éprouvettes provenant de Tiaret qui présentent une cotation visuelle de 1 traduisant une tentative d'attaque).

Lors des suivis réguliers des dispositifs d'essais, il a également été remarqué que les termites restaient bien à distance des éprouvettes de bois de *Juniperus oxycedrus* durant les 4 semaines d'exposition aux termites, indiquant un effet répulsif du bois.

Discussion

L'analyse des taux et de la nature des extraits selon le solvant utilisé a révélé une variabilité importante des résultats obtenus selon la provenance des bois, avec notamment une variabilité de rendement d'extraction nette dans le cas des extractions éthanol/toluène. Les bois ayant bénéficié de conditions de croissance plus favorables (Sidi Bel Abbès) présentent de façon significative des taux d'extractibles plus élevés pour les deux solvants utilisés. La différence de polarité des solvants explique la différence en quantité et en nature des extraits. Le mélange éthanol/toluène est généralement utilisé pour extraire les extractibles lipophiles et hydrophiles.

Les sesquiterpènes et les sesquiterpénoïdes sont les composés majoritairement identifiés dans les extraits obtenus. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Marongiu *et al.* (2003) qui ont montré que la composition chimique de l'huile essentielle du bois de *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus* est dominée par les sesquiterpènes et les sesquiterpénoïdes, plus précisément le δ -cadinène, le 1-epi-cubénol et le cubénol qui en sont les principaux composants.

Loizzo *et al.* (2007) ont aussi mis en évidence des différences dans la nature et la composition des extractibles selon la provenance des bois. Ils ont montré que la composition chimique de l'huile essentielle du bois de *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus* provenant du Liban est caractérisée par le δ -cadinène (14,5 %) et le cis-thujopsène (9,2 %), comme composés majoritaires, suivis des α -muurolène (4,9 %), cadalène (3,7 %), eremophilène (2,5 %), et le α -cédrol (2,2 %), alors que celle provenant de Sardaigne (Marongiu *et al.*, 2003) est composée de δ -cadinène (14 %), de 1-epi-cubénol (12,5 %), de cubénol (10,5 %), de α -muurolol (4,8 %), de α -cadinol (3,6 %) et de α -humulène (3,2 %).

Les polyphénols totaux ont été extraits par sonication puis macération à partir de méthanol ou d'acétone à 80 %. L'intérêt de cette technique par ultrasons pour améliorer les rendements en polyphénols totaux a été démontré par Bourgou *et al.* (2016) et Boggia *et al.* (2016). Les résultats obtenus sont difficilement comparables à ceux disponibles dans la littérature car la structure et la proportion d'extractibles peuvent varier selon l'es-

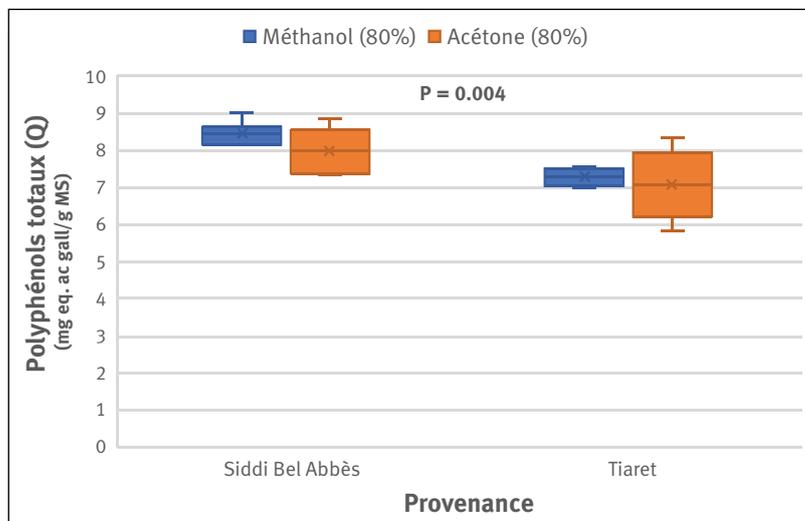


Figure 4.

Teneur en polyphénols totaux du bois de *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus* des deux provenances, extraits au méthanol et à l'acétone.

Total polyphenol content of *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus* wood from both provenances, extracted with methanol and acetone.

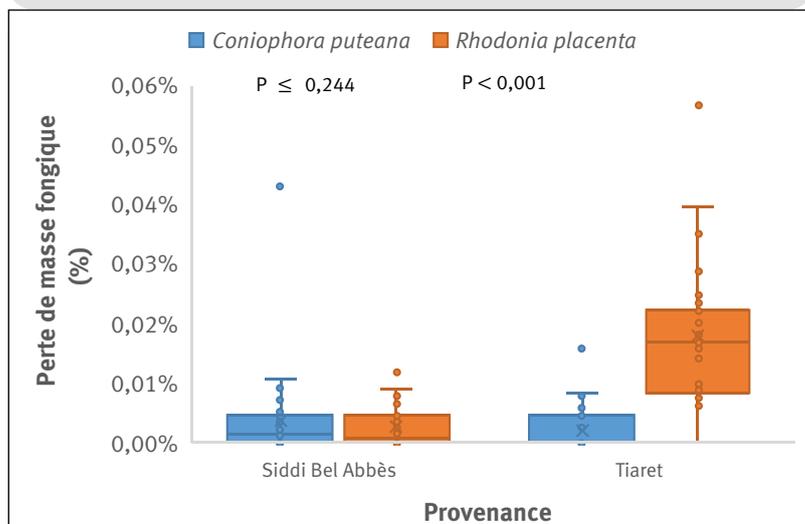


Figure 5.

Pertes de masse (%) dues aux deux champignons.

Mass losses (%) due to both fungi.

pèce mais aussi selon la partie de l'arbre considérée (aubier ou duramen), l'âge de l'arbre, et les conditions environnementale et saisonnière (Chaouche *et al.*, 2013 ; Thévenon, 2015). La méthode d'extraction et le solvant utilisé influencent aussi la teneur en polyphénols (Bourgou *et al.*, 2016). Dans le cas présent, les différences observées entre les deux provenances étudiées concernent aussi bien les teneurs en polyphénols totaux (teneurs plus élevées pour les bois de Sidi Bel Abbès pour les deux solvants) que la nature de ces polyphénols (différences entre les deux solvants utilisés).

La durabilité naturelle du bois provenant de Sidi bel Abbès vis-à-vis de *R. placenta* (champignon causant la plus forte perte de masse chez les témoins en pin) est plus élevée que celle du bois provenant de Tiaret, avec une dispersion moindre des résultats obtenus. Cette différence pourrait être attribuée aux variations de la teneur et de la composition en extractibles entre les deux provenances, et notamment la différence de richesse en polyphénols, ces derniers intervenant par leurs propriétés anti-oxydantes dans la résistance vis-à-vis d'organismes xylophages (Schultz et Nicholas, 2000 ; Anouhe *et al.*, 2018). La question reste cependant posée quant à la nature des constituants chimiques concernés. Pollet *et al.* (2013) démontrent que la durabilité naturelle peut varier en fonction de l'espèce de champignon utilisée, de l'origine génétique de l'arbre et de la zone de croissance de l'arbre. Néanmoins, sur le pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica*), Boudouaya *et al.* (2015) ont montré que les pertes de masse du bois de deux arbres de même âge, de deux régions différentes du point de vue bioclimatique, ne présentent aucune différence significative pour le même type de bois.

En effet, une résistance élevée aux attaques de champignons lignivores peut être liée à la présence de substances antifongiques telles que les sesquiterpènes et les polyphénols totaux (Broda, 2020). Fidah *et al.* (2016) ont ainsi montré que le pouvoir antifongique de l'huile essentielle du bois de cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*) pourrait être attribué à sa richesse en cétones sesquiterpéniques, composés volatiles, principalement les atlantones. De même, Mun et Prewitt (2011) ont constaté que la résistance du bois de cœur du genévrier de Virginie (*Juniperus virginiana*) à l'attaque des champignons est attribuée aux sesquiterpènes tels que le cédrol et le thujopsène.

Plusieurs auteurs ont aussi mis en évidence le rôle des extractibles phénoliques dans la durabilité naturelle du bois. Boizot et Charpentier (2006) ont montré que l'accumulation de polyphénols solubles dans le bois, et plus particulièrement dans le duramen, explique son niveau de durabilité naturelle. Aloui *et al.* (2004) et Niamké *et al.* (2011) ont démontré que la présence des polyphénols totaux est positivement corrélée à la durabilité naturelle du bois vis-à-vis des champignons lignivores pour deux espèces de chêne (*Q. robur* et *Q. petraea*) et pour le teck (*Tectona grandis*). En outre, Fidah (2016) a attribué la supériorité de l'activité antifongique des huiles essentielles de la loupe de thuya (*Tetraclinis articulata*) à la synergie d'effets du thymol ou de 3-tert-butyl-4-méthoxyphénol avec certains terpénoïdes. De même, Schultz *et al.* (1995) ont constaté que la durabilité

naturelle très élevée du duramen du mûrier rouge (*Morus rubra*) et du robinier faux-acacia (*Robinia pseudoacacia*) n'est pas due à un constituant unique mais à l'action combinée (synergie) de plusieurs composés.

Les essais de résistance aux termites ne montrent qu'aucune des deux provenances n'est sensible aux attaques de l'espèce *Reticulitermes flavipes*, et que le bois présente un caractère répulsif. Cette résistance est généralement attribuée à la présence dans le bois de certains des composés chimiques comme les sesquiterpènes et sesquiterpénoïdes qui sont particulièrement abondants dans le bois de l'espèce étudiée. Angelier (2008) indique ainsi que les sesquiterpènes contenus dans le bois de teck ou de cyprès (*Cupressus sempervirens*) éloignent les termites. De même, les travaux de Sharma *et al.* (1994) ont montré que les terpénoïdes présentent des propriétés toxiques et répulsives contre l'espèce de termites *Odontotermes brunneus*.

Conclusion

L'étude conduite sur le bois de *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus* a porté sur des spécimens issus de deux provenances algériennes associées à des conditions écologiques différentes, dans la région de Sidi Bel Abbès d'une part et de Tiaret d'autre part.

Les taux d'extractibles du bois (1,35 % et 1,19 % extraction à l'eau ; 14,17 % et 9,84 % extraction au toluène/éthanol ; pour les provenances Sidi Bel Abbès et Tiaret respectivement) ont été comparés pour les deux provenances et leur composition chimique a été analysée. La durabilité naturelle du duramen a été évaluée vis-à-vis de deux espèces de champignons de pourriture brune (*R. placenta* et *C. puteana*) et d'une espèce de termites (*Reticulitermes flavipes*).

Les bois de la provenance Sidi Bel Abbès présentent un taux d'extractibles plus élevé que ceux de la provenance Tiaret, en relation avec des conditions de croissance plus favorables. La caractérisation des extractibles a montré la richesse du duramen en sesquiterpènes et sesquiterpénoïdes. Malgré les différences marquées de nature des molécules et leur variation quantitative en fonction de la provenance des bois, les tests de durabilité naturelle ont montré que le bois de cette espèce est très durable vis-à-vis des champignons de pourriture cubique et résistant aux attaques de termites de l'espèce *Reticulitermes flavipes*.

La durabilité naturelle du bois vis-à-vis de ces agents biologiques de détérioration est liée à la teneur et à la nature des substances que constituent les extractibles et les polyphénols totaux identifiés et analysés dans les bois.

Pour l'espèce étudiée, une analyse ciblée des relations entre la composition chimique du bois et sa durabilité naturelle permettra de déterminer la nature du constituant ou des constituants combinés qui confèrent cette durabilité naturelle au bois, tant vis-à-vis des champignons lignivores que des termites.

L'huile de cade et les huiles essentielles de *J. oxycedrus* sont bien connues et largement utilisées dans la pharmacopée et à diverses fins thérapeutiques. En revanche, une connaissance plus approfondie des composants à l'origine

de la durabilité du bois de *J. oxycedrus* pourrait permettre de mettre en exergue des molécules d'intérêt valorisables pour des applications à forte valeur ajoutée, notamment à vocation cosmétique ou médicinale.

Cependant, le développement de ce type d'application ne peut être envisagé sans la mise en place puis l'exploitation de plantations de cette espèce. En effet, les peuplements naturels fragilisés par le phénomène de désertification et par la pression anthropique doivent être protégés et ne peuvent en aucune façon faire l'objet d'une exploitation, même à une échelle modérée.

Remerciements

Nous tenons à remercier tous les participants à la réalisation de cette étude tant en Algérie qu'en France, chercheurs, ingénieurs, techniciens et forestiers de terrain. Nous remercions aussi le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique d'Algérie, l'Université Djilali Liabes de Sidi Bel Abbès et le Cirad-Montpellier pour le soutien scientifique, technique et financier de ces travaux.

Références

- Abdellah F., Laid B., Hammoudi S. M., Benaraba R., 2018. In vitro evaluation of the antimicrobial and antioxidant activities of *Juniperus oxycedrus* essential oil (cade oil). International Journal of Innovation Engineering and Science Research, 2 (6): 66-76. <http://www.ijiesr.com/liebrary/e17/9114261004.pdf>
- Achir M., Hellal B., 2016. Réflexions sur les variations pluviométriques de la région de Tiaret (Algérie occidentale) durant la période 1984-2015. European Scientific Journal, 11 : 498-508. <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n11p498>
- Al-Snafi A. E., 2018. Pharmacological and therapeutic effects of *Juniperus oxycedrus* – A review. Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences, 5 (4): 2198-2205. <http://doi.org/10.5281/zenodo.1214996>
- Aloui F., Ayadi N., Charrier F., Charrier B., 2004. Durability of European oak (*Quercus petraea* and *Quercus robur*) against white rot fungi (*Coriolus versicolor*): relations with phenol extractives. Holz als Roh- und Werkstoff, 62: 286-290. <https://doi.org/10.1007/s00107-004-0489-7>
- Angelier E., 2008. Les sciences de la complexité et le vivant. Paris, France, Éditions Lavoisier Tec & Doc, 204 p.
- Anouhe J. B. S., Niamké F. B., Faustin, M., Virieux D., Pirat J. L., Adima A. A., et al., 2018. The role of extractives in the natural durability of the heartwood of *Dicorynia guianensis* Amsh: new insights in antioxidant and antifungal properties. Annals of Forest Science, 75: 15. <https://doi.org/10.1007/s13595-018-0691-0>
- Aubert G., 1978. Méthodes d'analyses des sols. Marseille, France, Centre régional de documentation pédagogique, 191 p.
- Balaban M., Atik C., Uçar G., 2003. Fungal growth inhibition by wood extracts from *Juniperus foetidissima* and *J. oxycedrus*. Holz als Roh- und Werkstoff, 61: 231-232. <https://doi.org/10.1007/s00107-003-0377-6>
- Bedoungindzi W. F., Candelier K., Edou Engonga P., Dumarçay S., Thévenon M.-F., Gérardin P., 2020. Anti-termite and anti-fungal bio-sourced wood preservation ingredients from *Dacryodes edulis* (G. Don) H.J. Lam resin. Holzforschung, 74 (8). <https://doi.org/10.1515/hf-2019-0106>
- Bennabi F., Hamel L., Bachir Bouiadra S. E., Ghomari S., 2012. Ressources hydriques sous tension et enjeux de développement durable dans la wilaya de Sidi Bel Abbes (Algérie occidentale). Méditerranée, 118 (Dynamique et gestion des cours d'eau méditerranéens et de leurs marges) : 105-111. <https://doi.org/10.4000/mediterranee.6330>
- Boggia R., Turrini F., Villa C., Lacapra C., Zunin P., Parodi B., 2016. Green Extraction from Pomegranate Marcs for the Production of Functional Foods and Cosmetics. Pharmaceuticals, 9 (4): 63. <https://doi.org/10.3390/ph9040063>
- Boizot N., Charpentier J.-P., 2006. Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier. Cahier des Techniques de l'INRA, 2006 : 79-82. <https://hal.inrae.fr/hal-02669118/document>
- Bopenga C., 2020. Valorisations potentielles des substances extractibles et étude de la composition chimique en relation avec la durabilité naturelle du Noisetier du Gabon : *Coula edulis* Baill. Doctorat en sciences et technologies industrielles, spécialité sciences du bois, Université de Lorraine, France, 209 p. <https://www.theses.fr/2020LORR0075>
- Boudouaya M., Benhassaini H., Bendimered F. Z., Mothe F., Fournier M., 2015. Évaluation de la durabilité naturelle du bois de *Pistacia atlantica* Desf. du nord de l'Algérie. Bois et Forêts des Tropiques, 325 (3) : 49-58. <https://doi.org/10.19182/bft2015.325.a31272>
- Bourgou S., Serairi Beji R., Medini F., Ksouri R., 2016. Effet du solvant et de la méthode d'extraction sur la teneur en composés phénoliques et les potentialités antioxydantes d'*Euphorbia helioscopia*. Journal of New Sciences, 28 (12): 1649-1655. <https://www.insciences.org/component/content/article.html?id=159:effet-du-solvant-et-de-la-methode-d-extraction-sur-la-teneur-en-composes-phenoliques-et-les-potentialites-antioxydantes-d-euphorbia-helioscopia>
- Broda M., 2020. Natural Compounds for Wood Protection against Fungi – A Review. Molecules, 25: 3538. <https://doi.org/10.3390/molecules25153538>
- Chaouche T. M., Haddouchi F., Atik-Bekara F., Ksouri R., Azzi R., Boucherit Z., et al., 2015. Antioxidant, haemolytic activities and HPLC-DAD-ESI-MSⁿ characterization of phenolic compounds from root bark of *Juniperus oxycedrus* subsp *oxycedrus*. Industrial Crops and Products, 64: 182-187. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.10.051>
- Chaouche T. M., Haddouchi F., Ksouri R., Medini F., Atik-Bekara f., 2013. In vitro evaluation of antioxidant activity of the hydro-methanolic extracts of *Juniperus oxycedrus* subsp *oxycedrus*. Phytotherapie, 11: 244-249. <https://doi.org/10.1007/s10298-013-0779-5>
- Dob T., Dahmane D., Chelghoum C., 2006. Essential oil composition of *Juniperus oxycedrus* growing in Algeria. Pharmaceutical Biology, 44 (1): 1-6. <https://doi.org/10.1080/13880200500530922>
- Dulbecco P., Luro D., 2001. L'essentiel sur le bois. Paris, France, CTBA, 184 p.
- EN 117, 2013. Wood preservatives – Determination of toxic values against *Reticulitermes* species (European termites) (laboratory method). Brussels, Belgium, European Committee for Standardization, 22 p. <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/275e8dea-9fd6-4a40-9ed4-3180e9920b18/en-117-2012>
- EN 350, 2016. Durability of wood and wood-based products – testing and classification of the durability to biological agents of wood and wood-based materials. Brussels, Belgium, European Committee for Standardization. <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/b02d18a7-87ce-4a20-84c7-c0de641a2780/en-350-2016>
- Fidah A., 2016. Étude de la durabilité naturelle des bois de *Cedrus atlantica* (Manetti) et de *Tetraclinis articulata* (Vahl) Mast. et évaluation de la bioactivité de leurs huiles essentielles sur les champignons basidiomycètes lignivores. Thèse de doctorat, Université Mohammed V, Rabat, Maroc, 147 p. <https://thesesenafrique.imist.ma/handle/123456789/1805?show=full>
- Fidah A., Salhi N., Rahouti M., Kabouchi B., Ziani M., Aberchane M., et al., 2016. Natural durability of *Cedrus atlantica* wood related to the bioactivity of its essential oil against wood decaying fungi. Maderas. Ciencia y Tecnología, 18 (4): 567-576. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2016005000049>

Fouquet D., 2009. Durabilité naturelle et préservation des bois tropicaux. Versailles, France, Éditions Quæ, 127 p.

Hafsi Z., Belhadj S., Derridj A., Mevy J.-P., Notonnier R., Tonetto A., *et al.*, 2017. Étude de la variabilité morphologique (aiguilles, galbules) du complexe spécifique *Juniperus oxycedrus* L., le genévrier oxycedre, au sein de sept populations d'Algérie. Revue d'Écologie (La Terre et la Vie), 72 (4) : 353-373. <http://hdl.handle.net/2042/62680>

Hayta S., Bagci E., 2014. Essential oil constituents of the leaves, bark and cones of *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus* L. from Turkey. Acta Botanica Gallica, 161 (2): 201-207. <https://doi.org/10.1080/12538078.2014.921642>

Julin M., 2008. Tar production – Traditional medicine and potential threat to biodiversity in the Marrakesh region – An ethnobotanical study. Committee of Tropical Ecology, Uppsala University, Sweden, Minor Field Study 133, 49 p. <http://files.webb.uu.se/uploader/858/MFS-133julin-madeleine.pdf>

Klimko M., Boratynska K., Montserrat J. M., Didukh Y., Romo A., Gómez D., *et al.*, 2007. Morphological variation of *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus* (Cupressaceae) in the Mediterranean region. Flora – Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants, 202 (2): 133-147. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2006.03.006>

Loizzo M. R., Tundis R., Conforti F., Saab A. M., Statti G. A., Menichini F., 2007. Comparative chemical composition, antioxidant and hypoglycaemic activities of *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus* L. berry and wood oils from Lebanon. Food Chemistry, 105: 572-578. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.04.015>

Marongiu B., Porcedda S., Caredda S., De Gioannis B., Vargiu L., La Colla P., 2003. Extraction of *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus* essential oil by supercritical carbon dioxide: Influence of some process parameters and biological activity. Flavour and Fragrance Journal, 18: 390-397. <https://doi.org/10.1002/ffj.1224>

Medini H., Manongiu B., Neffati A., Chekir-Ghedira L., Harzalla-Skhiri F., Khouja M. L., 2013. Chemical and anti-bacterial polymorphism of *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus* and *Juniperus oxycedrus* subsp. *macrocarpa* (Cupressaceae) leaf essential oils from Tunisia. Journal of Chemistry, 2013: ID 389252. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/389252>

Mun S. P., Prewitt L., 2011. Antifungal activity of organic extracts from *Juniperus virginiana* heartwood against wood decay fungi. Forest Products Journal, 61 (6): 443-449. <https://doi.org/10.13073/0015-7473-61.6.443>

Niamké F. B., Amusan N., Charpentier J.-P., Chaix G., Baissac Y., Boutahar N., *et al.*, 2011. Relationships between biochemical attributes (non-structural carbohydrates and phenolics) and natural durability against fungi in dry teak wood (*Tectona grandis* L. f.). Annals of Forest Science, 68: 201-211. <https://doi.org/10.1007/s13595-011-0021-2>

Pollet C., Verheyen C., Hébert J., Jourez B., 2013. Le bois de Robinier faux-acacia : propriétés physiques, mécaniques et de durabilité naturelle. Forêt Wallonne, 126 : 3-16. <http://hdl.handle.net/2268/157677>

Quézel P., Gast M., 1998. Genévrier. Encyclopédie berbère, Gauda-Girre, Aix-en-Provence, Edisud, 20-1998 (20) : 3016-3023. <https://doi.org/10.4000/encyclopedieberbere.1863>

Rowell R. M., Pettersen R., Han J. S., Rowell J. S., Tshabalala M. A., 2005. Cell wall chemistry. In: Rowell R. M. (ed.). Handbook of wood chemistry and wood composites. Boca Raton, FL, USA, CRC Press, 35-72. <https://www.fs.usda.gov/treesearch/pubs/22043>

Schultz T. P., Harms W. B., Fisher T. H., Mc Murtrey K. D., Minn J., Nicholas D. D., 1995. Durability of Angiosperm Heartwood: The Importance of Extractives. Holzforschung, 49 (1): 29-34. <https://doi.org/10.1515/hfsg.1995.49.1.29>

Sharma R. N., Tungikar V. B., Pawar P. V., Vartak P. H., 1994. Vapour toxicity and repellency of some oils and terpenoids to the termite, *Odontotermes brunneus*. International Journal of Tropical Insect Science, 15: 495-498. <https://doi.org/10.1017/S1742758400015861>

Schultz T. P., Nicholas D. D., 2000. Natural durable heartwood: evidence for a proposed dual defensive function of the extractives. Phytochemistry, 54 (1): 47-52. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(99\)00622-6](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(99)00622-6)

Singleton V. L., Rossi J. A., 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. American Journal of Enology and Viticulture, 16: 144-158. <http://www.ajevonline.org/content/16/3/144>

Taylor A. M., Gartner B. L., Morrell J. J., Tsunoda K., 2006. Effects of heartwood extractive fractions of *Thuja plicata* and *Chamaecyparis nootkatensis* on wood degradation by termites or fungi. Journal of Wood Science, 52: 147-153. <https://doi.org/10.1007/s10086-005-0743-6>

Thévenon M.-F., 2015. Chimie du bois. In : Mémento du forestier tropical. Versailles, France, Éditions Quæ, 868-872.

Uçar G., Balaban M., 2002. The composition of volatile extractives from the wood of *Juniperus excelsa*, *Juniperus foetidissima* and *Juniperus oxycedrus*. Holz als Roh- und Werkstoff, 60: 356-362. <https://doi.org/10.1007/s00107-002-0316-y>

XP CEN/TS 15083-1, 2006. Durability of wood and wood-based products. Determination of the natural durability of solid wood against wood destroying fungi. Test methods. Part 1: Basidiomycetes. Brussels, Belgium, European Committee for Standardization, 24 p. <https://standards.globalspec.com/std/276633/cen-ts-15083-1>

Ouaar *et al.* – Contribution des auteurs

Rôle du contributeur	Noms des auteurs
Conceptualisation	D. Ouaar, A. Megherbi Benali, F. Toumi Benali
Gestion des données	D. Ouaar
Analyse formelle	D. Ouaar, M.-F. Thévenon, K. Candelier
Acquisition du financement	A. Megherbi Benali, F. Toumi Benali, J. Gérard
Enquête et investigation	D. Ouaar, A. Megherbi Benali, F. Toumi Benali, M.-F. Thévenon, K. Candelier, L. Pignolet
Méthodologie	D. Ouaar, M.-F. Thévenon, K. Candelier, J. Gérard
Gestion de projet	A. Megherbi Benali, F. Toumi Benali, J. Gérard
Ressources	D. Ouaar, M.-F. Thévenon, K. Candelier, L. Pignolet
Supervision	A. Megherbi Benali, F. Toumi Benali, M.-F. Thévenon, K. Candelier, J. Gérard
Validation	M.-F. Thévenon, K. Candelier, L. Pignolet
Visualisation	D. Ouaar
Écriture – Préparation de l'ébauche originale	D. Ouaar, A. Megherbi Benali, F. Toumi Benali
Écriture – Révision et édition	D. Ouaar, M.-F. Thévenon, K. Candelier, J. Gérard

Bois et Forêts des Tropiques - Revue scientifique du Cirad - © Bois et Forêts des Tropiques © Cirad



Cirad - Campus international de Baillarguet, 34398 Montpellier Cedex 5, France - Contact : bft@cirad.fr - ISSN : L-0006-579X