

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERSITE ABBES LAGHROUR –KHENCHELA-
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

Département : Ecologie et Environnement



Mémoire de fin d'étude
Présenté en vue de l'obtention du diplôme de
Master Académique



FILIERE : Ecologie fondamentale et appliquée

Thème :

Les produits de préservation du bois.
Identification préliminaire de la flore fongique responsable
de la pourriture du bois de *Pinus halepensis* et essais de
valorisation de déchets ligneux.

Présenté par

Yacoub Nesma

Charidi Amina

Jury de soutenance :

Président : Mme Dib Dounia

M.C.B. Université Abbès Laghrou –Khenchela

Examinatrice : Mme Ounnes Mayada

M.A.A Université Abbès Laghrou –Khenchela

Promotrice : Mme Bensouici Karima

M.A.A Université Abbès Laghrou -Khenchela

Année universitaire: 2018 /2019

Remerciement

Tout la gratitude et le merci au dieu le tout puissant qui a fait que ce travail soit mené et terminé.

Nous adressons nos vifs remerciements à notre promoteur consultant: Mme BENSOUICI Karima pour nous avoir diligentés tout au long de ce travail, pour sa compréhension, sa patience, sa compétence, et ces remarques qui nous ont été précieuses.

Nous tenons à remercier également les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant de juger et d'évaluer notre travail.

Un très grand merci à tous ceux qui, de près ou de loi, ont contribue l'élaboration de ce travail.

Mes sincères remerciements

Merçi

DEDICACE

Je dédie ce mémoire:

Je commence par remercier infiniment Dieu, le tout puissant pour avoir éclairé mon chemin et ma donné santé et clairvoyance pour arriver à ce stade.

C'est avec immense et réel plaisir que je dédie ce travail aux êtres les incrustés dans mon cœur, en premier lieu : A mes parents, pour toutes les souffrances qu'ils ont endurés et pour nous assurer une bonne éducation et nous permettre une vie décente.

A mes chers frères et mes chères sœurs

Que DIEU nous garde toujours unis

Au ma petite sœur la plus douce et aimable du monde

Karima

A la mémoire de mon frère –BOUDJAMAA- Rabi yarehemou.

A mes poussins: Miral -jaoued – jana et rafif.

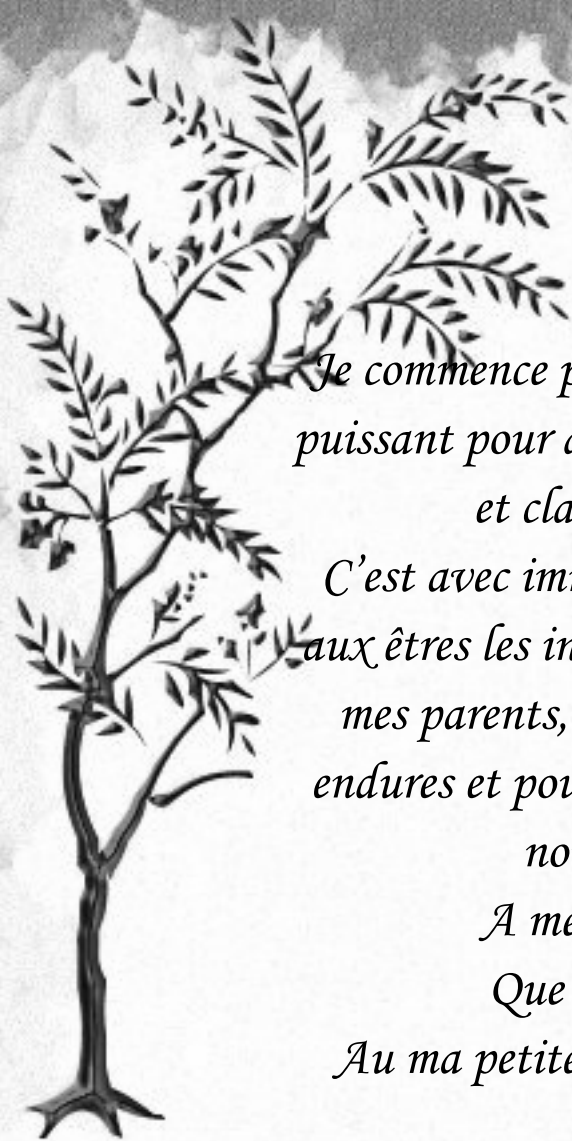
A ma chère enseignante de la faculté : Mme

BENSOVICI

Enfin, à tous ceux et toutes celles qui j'aime et qui m'aiment.

A toutes les personnes qui ont participées de près ou de loin pour l'accomplissement de ce travail.

Nesma



Dédicace

*c'est avec une grande joie que je dédie ce modeste mémoire , à tous
mes proches particulièrement :*

à ma cher mère

à mon père

à mon frère Dawed

mes sœurs Nassira et sa marie Rachid et ses filles

à mon fiancé Ramzi

à mon binôme Nesma

*à toutes mes chères amies Awatif , Roumaïssa, Soumia , Khawla ,
Salwa*

*à toues mes camarades surtout les étudiants de écologie fondamental
et appliqué*

Merci infiniment

Amina ...

Liste des figures

Liste des figures

Figure	Titre	Page
01	Photographies des dégradations liées au bleuissement sur bois fraîchement abattus (à gauche), ou en service (à droite) (Gérardin, 2008).	05
02	Développement d'échauffure sur du hêtre, à gauche; échauffure sur épicéa : sporophore sur une coupe transversale (a) ; décoloration du bois quelques cm sous la surface (b) (Schmidt, 2006)	06
03	Aspect du bois dégradé par la Mérule en « petits cubes » (à gauche); fructifications (à droite) (Schmidt, 2006).	07
04	Le bois de bouleau attaqué par la pourriture blanche (à gauche), et de sporophores de <i>Coriolus versicolor</i> (à droite) (Wood et Stevens, 2013).	08
05	Aspects du bois dégradé par la pourriture molle	09
06	Bois d'épicéa atteint de pourriture rouge.	09
07	Aire de répartition du pin d'Alep dans le monde (Kharchouche, 2003)	23
08	Aire de répartition du pin d'Alep en Algérie (Bentouati, 2006)	24
09	Echantillons de bois de pin d'Alep infestés de champignons	28
10	Aspects macroscopiques des isolats fongiques	31
11	Aspects macroscopiques de trois isolats fongiques après purification	31

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
01	Répartition du bois en classe de risque biologique selon les normes Européennes EN335	13
02	La systématique du Pin d'Alep	21
03	Caractères macroscopiques des trois isolats sélectionnés	32
04	Caractères microscopiques des isolats au grossissement 40X, photographie de référence et identification présumée	33
05	Croissance des souches fongiques sur les sciures fines du bois	36
06	Croissance des souches fongiques sur les copeaux de bois	37

Table des matières

Liste des figures.....	I
Liste des tableaux.....	II
	Page
Introduction.....	01
ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	
Chapitre 1 : les champignons du bois	
1.Les agents de dégradations du bois	03
1 .1 les champignons de colorations	03
1 .1.1. le bleuissement	04
1.1.2. les moisissures	05
1.1.3. les échauffures	05
1.2. Les champignons de pourritures	06
1.2.1.Les pourritures cubiques	07
1.2.2.Les pourritures fibreuses	07
1.2.3.La Pourriture molle.....	08
1.2.4.La pourritures rouge	09
2 . les facteurs de croissance des champignons xylophages	10

○ L’humidité	10
○ La lumière	10
○ La température	10
○ L’oxygène	10
○ L’humidité de l’air	11
○ La nature du bois	11
○ Le pH	11
3. Effets des champignons xylophages sur la santé humaine	11

Chapitre 2 : la préservation du bois

1.Intérêt de la préservation du bois	13
2.Les différents types de traitement du bois	13
2.1.Les techniques préventives	13
2.1.1.Le trempage court	15
2.1.2.L’imprégnation profonde à l’autoclave	15
2.1.3. La pulvérisation	15
2.1 .4. Les traitements thermiques	15
➤ Le séchage	16
➤ Les traitements thermiques	16
➤ L’oléothermie	16
2 .2.Les traitements curatifs	16
2.2.1.Les produits de préservation classiques	17
2.2.1.1.Produits huileux ou goudrons	17
➤ La créosote	17
➤ Les naphtésates métalliques	17
2.2.1.2Les produits organiques	18

➤ Les triazoles	18
➤ Les carbamates	18
➤ Les sels d'ammonium quaternaires	18
➤ Les pyréthroïdes	18
2.2.1.3. Les produits hydrosolubles	18
2.2.2. Nouveaux procédés et agents non polluants	19
2.2.1.1. Utilisation des produits du héné	19
2.2.1.2. Application des tropolones	19
2.2.1.3. Utilisation d'agents chélateurs	20
3. Évaluation des risques des produits de traitements sur la santé et l'environnement	21
Chapitre 3 : généralités sur le pin d'Alep	
1. Définition	22
2. Systématique	22
3. Caractères botaniques et dendrologiques	22
3.1. taille	22
3.2. La longévité	22
3.3. L'écorce	23
3.4. Le tronc	23
3.5. Les feuilles	23
3.6. Les fruits	23
3.7. Les bourgeons	23
3.8. La fructification	23

3.9.Enracinement	23
3.10.Bois	23
3.11.Oléorésine	23
4.Aire naturelle du pin d'Alep	24
5.Distribution biogéographique du pin d'Alep en Algérie	24
6.Reboisements	25
7.Caractéristiques écologiques de <i>Pinus halepensis</i>.....	26
7.1. Altitude et distribution	26
7.2. Climat	26
7.3. Sol	26
7.4. Associations du pin d'Alep	26
7.5.les ravageurs du pin d'Alep	27
○ La rouille vésiculeuse de l'écorce	27
○ Le chancre des rameaux	27
○ Le fomes	27
8 . Importance industrielle du pin d'Alep en Algérie	27
● Le sciage	28
● Les piquets ordinaires	28
● Les perches de construction	28
● Bois de mine	28
● Panneaux de particules	28
● Poteaux	28
● Bois de chauffage	28
Matériels et méthodes :	
1. Recueil des échantillons de bois	29
2. Milieux d'isolement	29

3. Isolement des champignons	30
3.1.Préparation des dilutions	30
3.2. Ensemencement et incubation	30
3.3. Repiquage et purification des souches isolées	30
4. Identification des souches purifiées	30
4.1.Identification macroscopiques	30
4.2. Identification microscopique	30
5.Tests de valorisation des sciures de bois	30
5.1.Sciures de bois	30
5.2. Préparation des suspensions fongiques	31
5.3. Ensemencement des cultures fongiques sur les sciures de bois	31

Résultats et discussion

1. Isolement et identification des champignons du bois de pin d'Alep	32
1. 1. Isolement des champignons	32
1.2. Repiquage et purification.....	33
1.3. Identification macroscopique.....	33
1.4. Identification microscopique.....	34
2. Essais de valorisation des sciures de bois.....	37
Discussion.....	39
Conclusion générale.....	40
Référence bibliographique.....	41
Référence électronique	47

Résumés

Le bois est un matériau composite naturel, utilisé depuis fort longtemps dans de nombreuses applications. Il présente des avantages techniques considérables comme la grande résistance à la traction, module, faible densité, propriétés isolantes, caractère renouvelable, faible coût et esthétisme. Ce matériau précieux peut cependant subir des attaques biologiques par plusieurs champignons lignivores et insectes xylophages pouvant entraîner l'altération de toutes ses propriétés. Ces organismes détruisent et pourrissent le bois, par leur capacité à décomposer les polymères complexes (cellulose, lignine ou hémicellulose) qui constituent sa structure fibreuse (CTBA, 2002). Les champignons essentiels qui colonisent le bois peuvent être identifiés comme des champignons de coloration ou des champignons de pourriture (Vernay et Mouras, 2002). Les spores de ces champignons sont ubiquistes dans l'air pendant la plus grande partie de l'année et peuvent par conséquent attaquer le bois généralement vulnérable et exposé aux conditions extérieures (Chapelet *et al.*, 1991).

La préservation du bois est très importante car il est souvent utilisé comme éléments de charpente, tels que des traverses de chemin de fer, des poutres de ponts et des pieux de glissières sur les autoroutes.

L'utilisation des différents agents de préservation, rendent le bois toxique pour les organismes qui s'en nourrissent. Ces produits chimiques s'avèrent le moyen le plus efficace pour protéger le bois exposé contre ces organismes nuisibles. Il existe une grande variété de produits de traitement permettant de pallier la sensibilité du bois brut. Ces produits ne doivent pas être confondus avec certains produits de finition comme les vernis, qui constituent une barrière à l'humidité. Ils sont à degrés moindre, toxiques car ils dégagent des composés organiques volatils. Les traitements de préservation utilisés contre les agents pathogènes sont très toxiques pour l'homme, les animaux et l'environnement. Ces produits, sont utilisés principalement sous forme de formulations multi-sels comme les mélanges Chrome/Cuivre/Arsenic (CCA) ou des produits huileux comme la créosote.

Malgré leur efficacité prouvée, certains de ces produits de traitements sont déjà interdits dans la plupart des pays industrialisés. D'autres sont voués à disparaître dans un futur proche. Ces interdictions sont réglementées par plusieurs Directives Européennes comme la directive Biocides (1998) et la directive Arsenic (2003). **Bentayeb ., Djammal S., (2014)**

Ces dernières années, on observe un regain d'intérêt pour des méthodes alternatives, dites non-biocides. Ces molécules antifongiques naturelles et biodégradables, encourage les chercheurs à travailler dans plusieurs voies. Divers biocides strictement organiques sont en cours de développement, bien que relativement coûteuses, elles présentent l'avantage d'être

utilisables à faible dose. Leur principal avantage jusqu'à présent est qu'elles sont biodégradables dans le sol et sont par conséquent très écologiques (**El-Bakali *et al.*, 2004, Mabicka *et al.*, 2003**).

Les bois des différentes essences forestières ne sont pas contaminés par les mêmes agents fongiques. Cela dépend de plusieurs facteurs surtout, la nature physique et chimique du bois et le climat. Il est donc d'abord nécessaire pour combattre ces organismes nuisibles, d'identifier les agents responsables de la dégradation du bois indigène.

En Algérie, la production du bois se limite essentiellement à une seule essence forestière. Il s'agit du Pin d'Alep qui couvre une grande superficie de la forêt Algérienne. Les travaux sur l'identification des champignons qui attaque le bois de cette essence sont très rares (**Bensouici *et al.*, 2014**). Il est donc nécessaire de caractériser la nature biologique et d'identifier la flore fongique qui peut se multiplier sur le bois de cette essence. L'enjeu principal est de connaître les champignons xylophages capables de dégrader ce bois et de proposer dans le future des produits propres du point de vue santé et environnement.

En parallèle, les travaux biotechnologiques sur la valorisation des sous-produits industriels ou autres sont en plein essor. Les déchets du bois traité sous forme de sciure peuvent représenter une source nutritive pour une grande variété de champignons, à cause de la richesse du bois en cellulose, lignine ou hémicellulose. Parmi les problèmes qui limitent l'utilisation de ces sous-produits, la complexité chimique des produits qui composent le bois et la présence d'agents chimiques souvent utilisés dans la préservation de ce matériau. Il est donc intéressant de sélectionner des espèces fongiques à intérêt biotechnologique qui possèdent des systèmes enzymatiques capables d'utiliser ces polymères complexes.

A ce titre, nous nous sommes fixés deux principaux objectifs de recherche:

Le premier consiste à isoler, purifier et d'identifier les souches fongiques colonisant le bois du pin d'Alep.

Le deuxième est dédié à des essais de valorisation des sciures de bois. Il s'agit ici de réaliser des tests préliminaires afin d'évaluer l'aptitude des champignons isolés à partir du bois de pin d'Alep à se développer sur les déchets du bois.

1. Les agents de dégradation du bois

Les pathologies biologiques liées à l'exposition du bois en service sont d'origines diverses : bactéries, champignons, insectes et térébrants marins. Ces organismes biologiques appartiennent à des groupes très divers du monde vivant qui s'attaquent au bois en fonction de leur morphologie, de leurs besoins nutritionnels et de leur mode de reproduction. Pour ces organismes, le bois est attrayant par sa constitution chimique qui représente une bonne source nutritive. Ils peuvent dégrader la cellulose, les hémicelluloses ou les lignines afin d'assurer leur croissance. Selon Rayzal (2002), les dommages qui en résultent se traduisent par une dégradation des qualités esthétiques du bois et une perte des propriétés mécaniques, pouvant aller jusqu'à la ruine du bois infesté (**Rayzal, 2002**).

Les champignons constituent un règne séparé dans la phylogénie du monde vivant. Ces organismes, dépourvus de chlorophylle, ne peuvent synthétiser les éléments nécessaires à leur développement : ils sont hétérotrophes. Ils ne peuvent donc vivre qu'aux dépens de produits carbonés élaborés par d'autres organismes vivants. Selon que les champignons prélèvent la matière organique sur des organismes vivants ou morts, ils sont qualifiés de parasites ou saprophytes respectivement. Les champignons se développant sur le bois en service sont généralement saprophytes.

Parmi les champignons du bois, on distingue les champignons lignicoles et les champignons lignivores. Les champignons se développant en surface et à l'intérieur du bois sont dits lignicoles ; ils se nourrissent des substances de réserves présentes dans le bois, mais ne possèdent pas les enzymes capables de dégrader les polymères structuraux du bois tels que la cellulose ou la lignine. La plupart du temps, ils produisent des colorations n'impactant que l'esthétique du bois. A l'inverse, les champignons lignivores dégradent les constituants lignocellulosiques, ce qui aboutit à une diminution sérieuse des propriétés mécaniques. Ces agents de pourriture sont à l'origine des dégradations structurelles dans la construction. Les champignons de coloration comprennent les moisissures, les champignons de bleuissement et les échauffures, tandis que les pourritures peuvent être cubiques, fibreuses ou molles. (**Schmidt, 2006**).

1.1. Les champignons de coloration

1.1.1. Le bleuissement

Les champignons de bleuissement appartiennent à la classe des Ascomycètes. Ils se nourrissent des substances nutritives contenues dans les cellules du bois (amidon, sucres, protéines) présent dans l'aubier des résineux (le pin maritime, le pin sylvestre, le douglas, l'épicéa, le sapin) et des feuillus (le peuplier, le hêtre, le frêne) (**CTBA, 1992**) ; ces

champignons apparaissent sur des grumes fraîchement abattues, sur des sciages frais dont le séchage est trop lent ou sur des bois mis en œuvre puis réhumidifiés. Ces mycètes ont un important besoin d'humidité. Le bleuissement se manifeste toujours par une teinte générale bleuâtre, parfois assez claire mais pouvant aller jusqu'au noir-bleu foncé (**Figure 1**). Cette coloration peut être généralisée dans presque toute la masse du bois, mais plus fréquemment, elle est localisée ; on aperçoit alors des bandes colorées, dégradées sur les bords. Cette coloration peut constituer un préjudice esthétique (**Zabel et Morrell, 1992**). Les champignons ne s'attaquant pas aux parois cellulaires, les propriétés mécaniques du bois ne sont pas altérées. Cependant, la valeur marchande du bois attaqué se trouve diminuée. *Aureobasidium pullulans* est un des champignons de bleuissement les plus répandus (**Chedgy et al., 2007**).



Figure 1 : Photographies des dégradations liées au bleuissement sur bois fraîchement abattus (à gauche), ou en service (à droite) (**Gérardin, 2008**).

1.1.2. Les moisissures

Les moisissures font également parties de la classe des Ascomycètes. Elles se développent en surface des bois humides, ce qui provoque des taches colorées superficielles, généralement de couleur bleu-verdâtre éliminables après séchage par brossage. Les moisissures ne modifient ni les propriétés mécaniques du bois, ni sa couleur en profondeur. Elles peuvent se développer sur toutes les essences (feuillues ou résineuses) si les conditions sont favorables. *Aspergillus niger* est un exemple de moisissure (**Botton et al., 1990**).

1.1.3. Les échauffures

Dès l'abatage et avant le débit ou la mise en œuvre, le bois subit, de manière presque constante, une altération désignée sous le nom d'échauffure. Les échauffures produisent au départ des dégradations esthétiques, qui peuvent évoluer en pourriture fibreuse avec dégradation de la matière ligno cellulosique ; elles apparaissent dans l'arbre sur pied ou dans

les grumes stockées en forêt, indifféremment sur feuillus ou résineux. Les échauffures ont besoin d'humidité pour se développer, et disparaissent au séchage. L'altération se manifeste extérieurement par un changement de couleur : le bois, normalement de teinte blanc-rosé, offre des taches blanchâtres, de contour irrégulier, généralement allongées dans le sens du fil du bois. La décoloration va en s'accroissant et en s'étendant. Lorsqu'elle atteint un certain degré, elle s'accompagne d'une modification de consistance du bois, qui devient de plus en plus mou, moins résistant aux efforts qui agissent sur lui, ne peut être employé avec pleine sécurité et avec certitude d'une durée normale pour les emplois exigeant de la résistance et de la dureté (traverses de chemin de fer, meubles). Différentes espèces du genre *Stereum* sont susceptibles d'être rencontrées, en fonction des essences de bois colonisées. *Stereum sanguinolentum* par exemple attaque le bois des résineux en particulier le sapin et l'épicéa, tandis que *Stereum purpureum* est rencontré dans le cas du hêtre (**Ministère de l'Agriculture, Administration des Forêts, Chasse et Pêche, 1929**). La Figure 2 illustre les effets des échauffures.

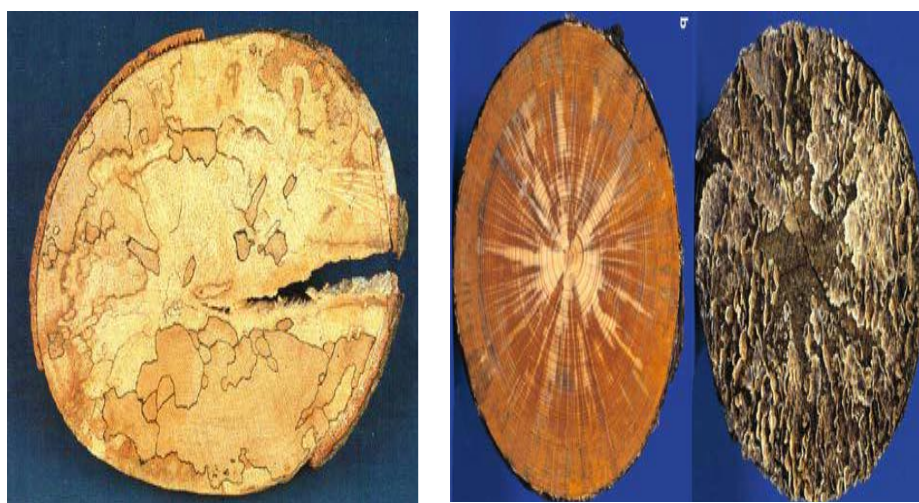


Figure 2 : Développement d'échauffure sur du hêtre, à gauche; échauffure sur épicéa : sporophore sur une coupe transversale (a) ; décoloration du bois quelques cm sous la surface (b) (Schmidt, 2006)

1.2. Les champignons de pourriture

Les champignons lignivores disposent de différents systèmes enzymatiques adaptés à la dégradation des différents constituants polymériques des parois cellulaires du bois. Les enzymes dépolymérisent les composants du bois en molécules simples que les champignons consomment pour se développer. La résistance mécanique du bois attaqué par les pourritures est grandement altérée, ce qui peut conduire à la ruine d'un ouvrage. Les pourritures diffèrent

en fonction des composants cellulaires dégradés. Trois types sont distingués : les pourritures cubiques, les pourritures fibreuses et les pourritures molles (**Schmidt, 2006**). .

- **Les pourritures cubiques**

Les pourritures cubiques, ou pourritures brunes (brown rot), appartiennent à la classe des Basidiomycètes. Elles attaquent préférentiellement les polysaccharides (cellulose, hémicellulose) ; le bois attaqué brunit et se délite, délimitant des zones plus ou moins cubiques ayant l'aspect du bois calciné, d'où le nom de ces pourritures. Elles se développent indifféremment à l'intérieur ou à l'extérieur des habitations, et sur bois de feuillus ou de résineux. La mérule (*Serpula lacrymans*), ne nécessite pas des taux d'humidité du bois très élevés pour se développer, son action peut débuter dès 22% (**Figure 3**). Le coniophore des caves (*Coniophora puteana*) s'attaque à des bois à forts taux d'humidité (40 à 60%), préférentiellement à l'obscurité et en atmosphère confinée (**Irbe et al., 2006**).

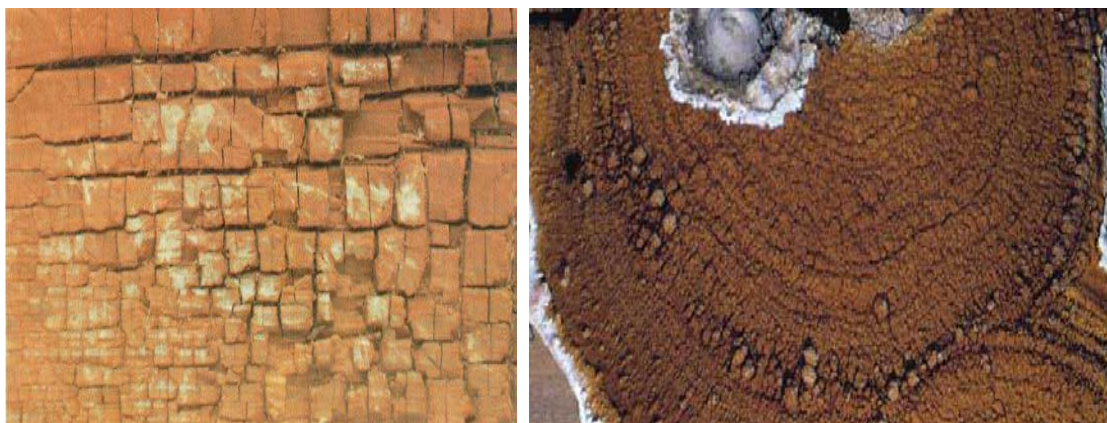


Figure 3 : Aspect du bois dégradé par la Mérule en « petits cubes » (à gauche); fructifications (à droite) (**Schmidt, 2006**). .

- **Les pourritures fibreuses**

Les pourritures fibreuses, ou pourritures blanches (white rot), appartiennent également à la classe des Basidiomycètes. Elles attaquent préférentiellement les feuillus, et ont des besoins en humidité plus importants que les pourritures brunes. Il existe deux types de pourritures blanches : une pourriture dite sélective, va dégrader la lignine et les hémicelluloses, alors qu'une pourriture non-sélective va s'attaquer à tous les constituants du bois – y compris la cellulose – sans réelle préférence et à vitesse équivalente (**Pandey, 2007**). Le bois altéré est alors ramolli, blanchâtre et des zones d'aspect fibreux apparaissent, d'où l'appellation de ces pourritures (**Figure 4**). Elles se développent aussi bien à l'extérieur qu'à

l'intérieur des habitations. Le polypore des caves (*Donkioporia expansa*) et *Coriolus versicolor* sont des agents de pourriture fibreuse (Grabner *et al.*, 2005)..



Figure 4 : Le bois de bouleau attaqué par la pourriture blanche (à gauche), et de sporophores de *Coriolus versicolor* (à droite) (Wood et Stevens, 2013).

- **La pourriture molle**

Les pourritures molles (soft rot) appartiennent à la classe des Ascomycètes. Elles sévissent dans des conditions d'humidité particulièrement élevée, et peuvent même dégrader des bois saturés d'eau, en utilisant la faible quantité d'oxygène dissout. Elles apprécient la présence de sels minéraux. Les pourritures molles attaquent plutôt le bois des feuillus, mais peuvent également affecter les résineux (Björdal *et al.*, 1999). Elles peuvent dégrader toutes les couches de la paroi cellulaire, en s'attaquant à tous les polymères ou elles s'intéressent aux polysaccharides de la paroi secondaire ce qui confère au bois dégradé un aspect spongieux ; la surface du bois devient noirâtre, et en séchant, elle est découpée en petits cubes réguliers et peu profonds (Figure 5) (Mohebbi, 2005). Les pourritures molles se développent principalement à l'extérieur des habitations du fait des conditions d'humidité extrême nécessaires, par exemple, lorsque le bois est en contact avec le sol ou un milieu aquatique. Le principal vecteur de la pourriture molle est *Chaetoniium globosum*.

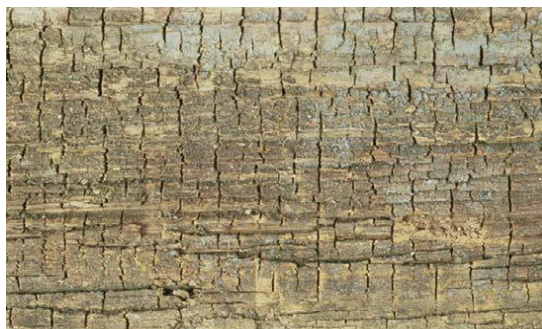


Figure 5 : Aspects du bois dégradé par la pourriture molle

- **La pourriture rouge**

La pourriture rouge présente une décoloration rougeâtre, rouge brun principalement de l'aubier et moins du cœur (**Figure 6**). Au début de l'attaque par le champignon, le dégât est uniquement esthétique. Mais par l'activité prolongée, le champignon détruit avec l'aide des enzymes d'abord, la lignine et ensuite la cellulose. Le bois est rendu non résistant à la flexion et à la pression, il devient mou et filandreux. Le champignon responsable de ce genre de pourriture est un polypore, aussi appelé "Amadouvier ancien" ou "Polypore annelé". C'est un champignon racinaire parasite non comestible qui a des effets dévastateurs sur les résineux (épicéa, Douglas, pin maritime et Sapin de Vancouver en particulier) (**Thibaud Surini, 2009**)



Figure 6 : Bois d'épicéa atteint de pourriture rouge.

2. Les facteurs de croissance des champignons xylophages

La croissance et la prolifération de la majorité des champignons atteignent leur apogée si certaines conditions sont réunies. Certains champignons des exigences bien spécifiques, mais d'autres s'adaptent assez facilement. Pour un grand nombre de champignons

xylophages, les conditions idéales sont relativement les mêmes à savoir : la teneur en eau du bois, la lumière, la température, l'oxygène, l'humidité de l'air, la nature du bois et le pH. Plus l'environnement s'éloigne des conditions idéales, plus la croissance ralentit jusqu'à l'arrêt complet (**didier ,Mechel 2005**)

- **L'humidité**

Le bois subit plusieurs biodégradations car c'est un matériau hygroscopique et qu'il peut atteindre de hautes teneurs en eau s'il est mis dans des conditions humides et fraîches. L'eau permet ainsi au champignon d'absorber les nutriments ou encore d'assurer son activité enzymatique (**Fernandes *et al.*, (2005)**). Le taux optimal se situe entre 35% et 50 % pour la majorité des champignons lignivores. Cependant certains peuvent se développer à partir de 22 %. Le taux d'humidité est lié à sa capacité de reprise en eau et aux conditions extérieures. En-dessous de 20%, le bois ne peut être attaqué par les moisissures et, à fortiori, par les champignons (**Zabel et Morrell, 1992**).

- **La lumière**

La lumière n'est pas du tout indispensable au développement des champignons, puisqu'ils ne réalisent pas la photosynthèse. Dans certains cas, cependant, il semble qu'une lumière vive soit défavorable au développement du champignon, tandis qu'une source de lumière modérée favorise la production de carpophores. Ce serait le cas, notamment, de la mэрule (**Hennebert *et al.*, 1990**). Dans certains cas également, la lumière semble être indispensable au bon développement des sporophores, qui acquièrent une forme aberrante lorsqu'ils se développent dans l'obscurité (**Schmidt, 2006**).

- **La température**

Chaque pathogène va se développer plus ou moins rapidement selon la température ambiante. Ainsi, il y a des conditions optimales, spécifiques à chaque individu, qui leur permettent de se propager au plus vite. Globalement, les pourritures peuvent se développer entre 0 et 45°C, avec un optimum compris entre 20 et 30°C (**Istek *et al.*, 2005**).

- **L'oxygène**

Les agresseurs ont généralement besoin d'oxygène pour vivre. C'est pourquoi une atmosphère aэrobie est nécessaire à leur développement. Puisqu'il est difficile de priver l'air de son oxygène, cela fait de cette condition une des moins faciles à contrôler. Cependant, une bonne ventilation permet aussi d'empêcher les spores de se fixer et est donc nécessaire pour limiter la diffusion du champignon (**Fernandes *et al.*, (2005)**).

- **L'humidité de l'air**

Des conditions ambiantes très humides constituent généralement un optimum de développement. Comme la température, il existe des intervalles pour lesquelles les pourritures causent plus de dégâts plus vite (**Ritschkoff, 1996**).

- **La nature du bois**

Certaines espèces fongiques vont préférer certains bois à d'autres. En effet, on considère que certains champignons dégradent préférentiellement les résineux, alors que les feuillus sont plus sensibles à d'autres champignons (**Przewloka, 2004**).

- **Le pH**

Le pH a également son importance pour favoriser ou non l'attaque du pathogène : un pH bas profite généralement au développement fongique. De même, il peut y avoir des synergies entre les différents pathogènes. La présence d'un champignon ou insecte va favoriser l'apparition d'autres agents, et cette complémentarité aggrave l'état du bois attaqué (**Björdal et al., 1999**).

3. Effets des champignons xylophages sur la santé humaine

Les champignons du bois causent plusieurs problèmes de santé pour l'homme. Ils touchent presque toujours les voies respiratoires et sont plus importants chez les personnes ayant des problèmes d'allergie : irritations des muqueuses, rhinites et bronchites allergiques, asthmes, mycoses et alvéolites allergiques, dermatites, conjonctivites, ... Sauf dans les cas de dermatites et conjonctivites, ils sont généralement la conséquence de l'inhalation de petites particules fongiques telles que spores et conidies. Ils peuvent également être dus aux composés volatils (comme la géosmine, qui donne l'odeur de moisi) ainsi qu'aux mycotoxines, ces dernières pouvant elles-mêmes être transportées par les spores. Ce sont surtout les moisissures qui produisent des substances toxiques et sont donc susceptibles de créer des problèmes chez les personnes sensibles. Les cas les plus graves ont été causés par des espèces du genre *Stachybotrys sp.*, *Aspergillus sp.*, *Fusarium sp.*, *Trichoderma sp.*, *Memnnoniella sp.* (**Nolard et Beguin, 2003**).

Certains Ascomycètes sont également la cause d'allergies. C'est notamment le cas des *Chaetomium globosum*. Les spores de certains Basidiomycètes sont elles aussi impliquées, comme celles des *Pleurotus*, de certains *Coprinus* et de la « mэрule » Par exemple, des ouvriers ayant procédé au démontage de boiseries couvertes de grandes quantités de spores, dans un local confiné et sans porter de masque, ont fait une réaction allergique assez forte, nécessitant même la brève hospitalisation de l'un d'entre eux (**O'Brien et al., 1978**).

1. Intérêt de la préservation du bois

En fonction de son utilisation, en structure, en vêture, ou encore en terrasse, chaque essence a une durée de vie plus ou moins importante. Celle-ci est fonction de son exposition aux agents climatiques mais également de sa durabilité naturelle, c'est-à-dire sa résistance naturelle aux attaques de champignons et d'insectes xylophages. La durabilité naturelle est variable en fonction des essences. Lorsque celle-ci est insuffisante par rapport aux risques encourus et à la durée de vie attendue, seule l'application d'un traitement de préservation peut assurer la protection nécessaire. On parle de durabilité conférée.

On appelle produit de préservation du bois, tout produit qui appliqué à la surface du bois ou introduit à cœur, est destiné à l'augmentation des caractéristiques de durabilité du matériau, contre les dégradations biologiques du bois (telles que les insectes xylophages ainsi que les champignons), et le protège contre de nouvelles attaques éventuelles. Ce type de traitement est nécessaire pour les essences ne possédant pas une durabilité naturelle suffisante en fonction de leurs usages (**Rayzal, 2002**).

2. Les différents types de traitement du bois

L'application de différents produits pour préserver le bois date depuis des siècles. Il y a 4000, ans les Egyptiens utilisaient le bitume pour protéger les pièces de bois des agressions des champignons car son odeur n'est pas aimée par ces microorganismes, alors que les Romains couvraient leurs statues avec de l'huile de lin ou de cèdre et des mélanges d'ail et de vinaigre. Depuis beaucoup de méthodes et de produits sont utilisés et à chacune ses avantages et ses inconvénients (**Boulangeot, 1990**).

Le choix du traitement et son mode d'application sont choisis en fonction de la classe d'emploi à laquelle le bois est destiné et de la nature du bois. La classe d'emploi est déterminée par l'humidité à laquelle le bois est exposé et de la fréquence d'exposition aux agents de dégradation (**Tableau 1**).

Tableau 1 : Répartition du bois en classe de risque biologique selon les normes Européennes EN335

Classe de risques	Situation en service	Exemples d'emplois	Risques biologiques
Classe 1	Bois toujours sec humidité inférieure à 18 %.	Emplois intérieurs : Parquets, lambris, escalier, menuiseries et aménagements	Insectes et termites
Classe 2	Bois sec mais dont la surface est humidifiée temporairement ou accidentellement. Humidité en moyenne inférieur à 18 %.	Charpente, ossatures correctement ventilées.	Insectes, champignons de surface, termites
Classe 3	Bois soumis à des alternances humidité/sécheresse. Humidité fréquemment supérieure à 20 %	Toutes pièces de construction ou menuiseries extérieures soumises à la pluie : fenêtres, bardages...	Pourriture, insectes, termites
Classe 4	Bois avec une humidité toujours supérieure à 20 %.	Bois horizontaux en extérieur (balcons, coursives...) et bois en contact avec le sol ou une source d'humidification.	Pourriture, insectes, termites
Classe 5	Bois en contact permanent avec l'eau de mer	Piliers, pontons, bois immergés	Pourriture, insectes, térébrants marins

La mise en œuvre des produits de traitements préventifs du bois avant son utilisation peut se faire par différents procédés assurant la pénétration et la fixation du produit, les principaux procédés sont :

2.1. Les techniques préventives

Face aux agressions climatiques, le bois peut subir des phénomènes de déformation (tillage, gonflement et retrait) ou de fendillement de surface, il perd aussi à la longue sa teinte naturelle et grisaille. Les techniques préventives visent à le protéger et permet de maintenir son aspect esthétique et de le stabiliser pendant une période d'environ 10 ans. La mise en œuvre des produits de traitements préventifs du bois avant son utilisation peut se faire par différents procédés assurant la pénétration et la fixation du produit :

2.1.1. Le trempage court

Le bois est immergé en pile dans un bac. La durée de trempage dépend des essences et de la profondeur d'imprégnation désirée. Le bois est immergé en pile dans un bac aux dimensions adaptées et avec automatisation des programmations des durées de trempage. Les produits utilisés pour les trempages courts sont des émulsions aqueuses. Le trempage n'agit qu'en surface ou à 3 ou 4 mm de profondeur du bois.

2.1.2. L'imprégnation profonde à l'autoclave

Le bois autoclave est un bois qui reçoit un traitement en profondeur afin d'être protégé des agressions biologiques qui pourraient le détériorer. Le bois est traité dans un autoclave relié à une cuve de stockage du produit, à une pompe à vide et à une pompe à pression. Ce traitement ne peut s'appliquer qu'à des bois dont l'humidité est inférieure à 25%... Une fois le vide obtenu dans l'autoclave, on le remplit, par aspiration, de la solution de traitement choisie. Les cellules du bois sont ainsi saturées par la solution. Le traitement en autoclave est particulièrement recommandé pour les bois exposés aux conditions rigoureuses : contact avec le sol et/ou sources d'humidité. Il s'agit principalement de bois pour les charpentes, bardages, caillebotis, piquets de vigne, hangars, jeux d'enfants, appontements, poteaux, traverses.

2.1.3. La pulvérisation

Le résultat de la pulvérisation est similaire au trempage, sauf que le produit est pulvérisé sur le bois lors de son passage dans un tunnel.

2.1.4. Les traitements thermiques

- **Le séchage**

Le séchage permet de prévenir les attaques fongiques causant les colorations et la pourriture du bois. Il existe deux modes de séchage : d'une part, le séchage naturel, qui consiste à laisser les sciages lattés à l'abri des intempéries pendant plusieurs mois, voire années ; d'autre part, le séchage artificiel repose sur l'utilisation d'un séchoir, qui permet l'évaporation de l'eau par chauffage du bois. Le taux d'humidité et la température dans le séchoir doivent être soigneusement régulés au cours du séchage afin de ne pas occasionner de dommage au bois. D'après Cloutier (1992), le séchage effectué de façon appropriée permet une amélioration des propriétés mécaniques (**Cloutier, 1992**).

- **Les traitements thermiques**

La modification thermique, ou traitement thermique, présente l'avantage de permettre au bois traité de rester un produit écologique sans l'utilisation de produits chimiques. Ce traitement consiste à chauffer le bois à des températures prédéterminées (entre 150 ° C et 280 ° C) et des temps de traitement dans des milieux chauds (eau, vapeur ou huile) ou sous

atmosphère inerte (**Okon et al., 2017**). Ces systèmes peuvent être appelés thermiques (secs) ou hygrothermiques (vapeur d'eau élevée), en fonction de l'atmosphère de traitement. Les réactions chimiques impliquées au cours du traitement thermique comprennent la décomposition de l'hémicellulose, des modifications structurales de la cellulose cristalline et la repolymérisation de la lignine (**González et al., 2009**). Selon l'étude de **Rekola et al., (2014)**, le traitement thermique est également le plus susceptible d'accroître l'hydrophobie du bois et de réduire ainsi l'absorption de liquides dans les parois cellulaires.

Bien que le bois traité thermiquement possède des propriétés dimensionnelles et une résistance fongiques améliorées, son inconvénient est que le bois modifié thermiquement ne résiste généralement pas aux attaques des termites. Un autre inconvénient de la modification thermique est que le traitement thermique donne au bois une couleur brunâtre, qui devient ensuite grisâtre lorsqu'il est exposé au soleil (**Baysal et al., 2014**). De plus, la résistance du bois diminuera en fonction des conditions de traitement (**Candelier et al., 2017**). Par conséquent, le bois traité thermiquement n'est pas recommandé pour les applications où la résistance du bois est une nécessité.

- **L'oléothermie**

Développé depuis une quinzaine d'années en France, le procédé oléothermique consiste à imprégner des formulations à base d'huiles végétales. D'après Oléobois Industries (2011), ce procédé consiste à immerger les pièces de bois, successivement, d'abord dans un bain d'huile chaude, puis dans un bain d'huile froide (**Oléobois Industries, 2011**). Le premier bain, maintenu à une température comprise entre 110°C à 210°C, permet d'élever la température du bois et de réduire sa teneur en eau ; l'air présent dans le bois est dilaté. Le second bain, chauffé entre 10°C et 90°C, permet une absorption et une pénétration importante du liquide de trempage. Le transfert du bain de chauffage au bain de refroidissement est effectué rapidement pour une meilleure pénétration du produit. C'est lors de la seconde étape que la pièce est imprégnée avec une huile de préservation : en effet, le refroidissement produit la contraction de l'air présent dans le bois, ce qui augmente l'imprégnation. Des huiles naturelles, siccatives en particulier telles que les huiles de lin, colza ou arachide peuvent être employées (**Henry, 2008**). Le traitement oléothermique permet d'améliorer la résistance du bois face aux champignons lignivores et la stabilité dimensionnelle ; le taux de fissuration périphérique s'en trouve réduit.

2.2. Les traitements curatifs

Lorsque le bois a été attaqué par des champignons, les dégâts causés sont en général. Des traitements curatifs sont donc nécessaires pour enrayer les problèmes existants.

2.2.1. Les produits de préservation classiques

Avant les années 1990, plusieurs types de produits de préservation étaient distingués : les produits huileux ou goudrons, les solutions organiques et les produits hydrosolubles. A l'heure actuelle, les produits en phase aqueuse, – hydrosolubles ou hydrodispersables – sous forme d'émulsion ou de microémulsion, sont de plus en plus utilisés pour limiter les rejets de composés organiques volatiles (COV) liés à l'utilisation de solvants organiques. Ces produits se distinguent également selon leur activité vis-à-vis des organismes biologiques : les produits biostatiques empêchent leur développement sans les tuer, tandis que les molécules biocides, elles, tuent les agents biologiques susceptibles de dégrader le bois. De nos jours, du fait des préoccupations environnementales, les produits employés ne doivent plus être toxiques pour l'homme, ni pour l'environnement (**Kleijer, 2008**).

2.2.1.1. Produits huileux ou goudrons

Il s'agit principalement de la créosote, mais il existe également les naphtésates métalliques.

- **La créosote**

La créosote est obtenue par distillation de charbon, de houille, de tourbe ou de bois à des températures comprises entre 100°C et 500°C. La créosote a été utilisée dès la fin du XIX^{ème} siècle. Elle présente une composition chimique complexe et variable, et est principalement constituée d'hydrocarbures aromatiques polycycliques, de composés phénoliques et de composés hétérocycliques incluant de l'azote ; les substances actives sont un ensemble de près d'une centaine de molécules. La créosote a une odeur désagréable caractéristique, et se présente sous la forme d'un produit plus ou moins visqueux selon le procédé de fabrication employé. Elle permet l'hydrofugation du bois et apporte des propriétés fongicides et insecticides. La créosote est appliquée par vide/pression en autoclave, un dispositif de chauffage permettant d'abaisser la viscosité lors de l'imprégnation. Du fait de sa toxicité importante, la créosote a été interdite ; en effet, elle aurait des propriétés cancérigènes ; il subsiste néanmoins, selon Meite et Bonnemains (2007), quelques dérogations spéciales, notamment pour des usages industriels spéciaux, tels que les poteaux téléphoniques, les traverses de chemin de fer ou encore les coques de bateaux (**Meite et Bonnemains, 2007**).

- **Les naphtésates métalliques**

Ce sont des sous-produits de l'industrie pétrolière : il s'agit de sels de cuivre ou de zinc associés à l'acide naphtéinique. Le naphtésate de cuivre est verdâtre tandis que le naphtésate de zinc est incolore. Ces produits possèdent des propriétés notamment fongicide et

insecticide, ils peuvent donc être indiqués pour la préservation du bois. Les naphtésates métalliques sont également des additifs des peintures, dans lesquelles ils sont très solubles.

2.2.1.2. Les produits organiques

Les produits organiques sont de plus en plus utilisés en phase aqueuse sous forme d'émulsion ou de microémulsion. Historiquement, le pentachlorophénol (PCP) a été un des biocides organiques les plus utilisés. Le PCP possédait une efficacité comparable à la créosote, de par ses propriétés fongicides et insecticides. Son caractère « très toxique » pour l'homme et pour l'environnement a provoqué l'interdiction de la mise sur le marché de produit en contenant plus de 0,1% dès 1994 (**Brignon, 2005**).

Les principales familles de produits actuellement sur le marché concernent :

- **Les triazoles**, dont notamment le propiconazole ou le tébuconazole, présentent des propriétés fongicides : ils sont très sélectifs des basidiomycètes, résistants au lessivage et leur toxicité envers les mammifères est relativement faible,
- **Les carbamates**, comme le butylcarbamate d'iodopropynyle (IPBC), manifestent des propriétés fongicides et une faible toxicité. Ils peuvent être associés au propiconazole pour lutter contre le bleuissement. En revanche, ils ne sont pas actifs contre les termites,
- **Les sels d'ammonium quaternaires** tels que le chlorure de didecyldiméthylammonium ou le chlorure de benzalkonium disposent de propriétés fongicides et insecticides,
- **Les pyréthroïdes**, tels que la cyperméthrine ou la perméthrine, ont des propriétés insecticides et notamment termiticides. Il s'agit de substances synthétiques inspirées de molécules insecticides naturelles – les pyréthrines – produites par certaines espèces de chrysanthème. Ils présentent une faible toxicité vis-à-vis des animaux à sang chaud,

2.2.1.3. Les produits hydrosolubles

Dans cette catégorie sont regroupés des mélanges de sels métalliques, notamment d'arsenic, de chrome, de cuivre, de fluor ou de zinc, et des produits à base de bore, tels que l'acide borique ou le borax. Les multi sels de type arséniate de cuivre chromé (CCA) ont été brevetés en 1934 : cette association s'est montrée très efficace. Le cuivre et l'arsenic sont utilisés en tant que fongicide et insecticide respectivement, tandis que le chrome sert d'agent fixateur. Néanmoins, les multi sels présentent une forte toxicité liée à l'arsenic et au chrome VI, tous deux cancérigènes. Ces multi sels ont des propriétés fongicides et insecticides ; ils peuvent être utilisés en remplacement de la créosote, avec une imprégnation vide-pression. Ils sont relativement bien fixés dans le bois, les mécanismes de fixation assez complexes. Ils se présentent sous différentes formulations. Les multi sels cuivre/chrome/arsenic sont utilisés pour les bois employés dans les classes 4 et 5. Leur utilisation est interdite dans certains pays

comme la France depuis 2004 ; en effet, les CCA sont restreints à des usages professionnels ou industriels tels que : les traverses de chemin de fer, les poteaux électriques et téléphoniques, les bois de structure des bâtiments agricoles et industriels, les installations portuaires...

Il existe également d'autres multi sels à base de cuivre et d'arsenic. Notamment, des produits contenant de l'ammoniaque, qui améliore la pénétration dans le bois tels que l'arséniate de cuivre ammoniacal (ACA) efficace contre les champignons, les bactéries et les insectes, ou l'arséniate de cuivre et de zinc ammoniacal (AZCA) qui peut être employé pour des applications en milieu marin (**US Environmental Protection Agency (US EPA), 2005**).

2.2.2. Nouveaux procédés et agents non polluants

Dans le cadre de la recherche de nouveaux agents naturels de préservation du bois, beaucoup de travaux récents ont été réalisés dans ce domaine, les principaux traitements sont les suivants :

2.2.1.1. Utilisation des produits du héné :

En 2003, El-bekali et ses collaborateurs du laboratoire de chimie physique –université sidi Mohamed ben abdallâh, de Fès au Maroc en collaboration avec le laboratoire LERMAB, se sont intéressés à tester le héné pour rechercher de nouveaux agents de préservation du bois. En effet les feuilles du héné renferme à l'état frais des hétérosides qui par hydrolyse libèrent la Lawsone (2-hydrolyse-1,4-naphtoquinone) responsable de la coloration rouge orange intense des solutions aqueuses alcalines de ses extraits. Cette quinone pratiquement atoxique, possède de puissantes propriétés fongiques mesurées par le taux d'inhibition de croissance du mycélium de différentes pourritures blanches ou brunes (**El-bakali et al., 2003**).

2.2.1.2. Application des tropolones

Les résultats publiés en 2000 par Jean Pierre Haluk et Célile Roussel du laboratoire LERMAB, montrent la possibilité d'utiliser des composés extractibles appelés tropolones. Ces molécules sont considérées comme étant responsables de la durabilité naturelle des essences contenant ces métabolites secondaires. Ces tropolones en particulier les α et β thujaplicines ont montré la toxicité importante vis à vis des champignons de la pourriture du bois et des insectes. Néanmoins, comme l'extraction de ces substances par des méthodes habituelles ou leur synthèse chimique, est onéreuse et peu rentable, leur production n'est pas envisageable au niveau industriel. C'est pourquoi l'exploitation des biotechnologies végétales a constitué une voie judicieuse pour l'obtention de ces molécules biocides.

La biosynthèse des tropolones a été obtenue par culture cellulaire de *Thuja plicata* et a confirmé l'efficacité antifongique de nouveau type de traitement de préservation du bois (**Haluk et Roussel, 2000**).

2.2.1.3. Utilisation d'agents chélateurs

En 2003, Mabicka et ses collaborateurs du laboratoire LERMAB ont fait intervenir les mécanismes biochimiques mis en jeu lors de la dégradation du bois par les champignons, pour cibler de nouvelles molécules à faible impact écologique. En effet, les champignons utilisent des ions métalliques pour effectuer les réactions d'oxydation, conduisant à la dégradation du bois. Plusieurs agents chélateurs ont été développés dans ces laboratoires dans le but de diminuer la biodiversité de ces co-facteurs enzymatiques. Il s'agit de l'acide kojic, de la purpurogalline, de la 2-hydroxypyridine -N oxyde et du maltol (**Mabicka et al., 2004**).

3. Évaluation des risques des produits de traitements sur la santé et l'environnement

L'application de produits chimiques dans la préservation du bois a suscité des inquiétudes quant au potentiel d'exposition humaine aux nanoparticules ainsi qu'à leur rejet dans l'environnement (**Seaton et al., 2010; Schrand et al., 2010**). Des études écotoxicologiques récentes portant sur des nanomatériaux, en particulier des nanoparticules métalliques tel que l'oxyde de zinc et le cuivre (**Civardi et al., 2015**) ont été publiées. Ces littératures sont essentielles à l'élaboration de méthodes normalisées d'évaluation des risques pour les industries de la préservation du bois. Les nanomatériaux vont probablement s'accumuler dans les sols et les sédiments et atteindre une concentration critique au fil du temps lorsque les nanomatériaux ; les produits en bois traité sont éliminés dans l'environnement (**Auffan et al., 2014; Wang et Nowack, 2018**).

De plus, les effets de ces nanomatériaux sur la santé humaine resteront une question cruciale avec la commercialisation de la nanotechnologie. En tant que telles, ces nanoparticules peuvent être inhalées ou ingérées par les consommateurs lorsqu'elles sont en contact avec les surfaces en bois nano-traitées. Par exemple, les nanoparticules à base de cuivre, qui sont la formulation la plus courante à base nano utilisée sur le marché de la préservation du bois, sont dangereuses lorsqu'elles sont inhalées et exercent principalement leur toxicité sur les voies respiratoires des humains (**Hristozov et al., 2018**). De plus, ces nanoparticules peuvent interagir avec la membrane cellulaire et éventuellement la pénétrer (**Navya et Daima, 2016; Contini et al., 2018**). En outre, les nanoparticules peuvent également être transportées via des systèmes lymphatiques et circulatoires vers différents tissus et organes, où leur accumulation peut entraîner des blessures graves et des lésions des

cellules vivantes (**Blanco *et al.*, 2015**). Par exemple, les nanoparticules d'oxyde de zinc peuvent interférer avec le mécanisme de défense anti-oxydant des cellules en induisant un stress oxydatif qui entraîne un dysfonctionnement de la barrière hémato-encéphalique (**Feng *et al.*, 2015; Saliani *et al.*, 2016**).

1. Définition

Le pin d'Alep est l'une des essences forestières les plus précieuses de l'Afrique du Nord, les forêts de cette essence apparaissent bien souvent comme caractéristiques de l'étage méditerranéen inférieur. *Pinus halepensis* est l'espèce la plus présente en Algérie avec le chêne vert; très plastique elle se développe dans les stations les plus diverses, allant du voisinage de la mer jusqu'aux confins sahariens (Abderrezag .F.,2010).

2. Systématique

D'après NAHAL (1962), le pin d'Alep est une espèce appartenant aux groupes de *halepensis* qui renferme cinq pins tous méditerranéens (**Tableau 01**).

Tableau 2 : La systématique du Pin d'Alep.

Embranchement	Spermatophytes
S/Embranchement	Gymnospermes
Ordre	Conféales
S/ordre	Abiétales
Famille	Pinaceae
Genre	Pinus
S/Genre	Eupinus
Espèce :	<i>Pinus halepensis Mill</i>
Nom arabe	Snaouber el-halabi
Nom berbère	Azoumbei,tayda

3. Caractères botaniques et dendrologiques

- **La taille**

Le pin d'Alep est un arbre de taille moyenne qui dépasse rarement les 20 mètres (**Boudy, 1952**). Cependant, il existe quelques sujets dépassant les 25 mètres dans les Aurès et de Ouled-nail (**Letreuch, 1982**).

- **La longévité**

Le pin d'Alep ne vit pas longtemps, sa longévité ne dépasse pas 150 ans, la moyenne étant de 120 à 130 ans (**Nahal, 1962**).

- **L'écorce**

L'écorce des jeunes sujets est lisse et argentée ; celle des Arbres adultes est épaisse (2 à 4 cm) profondément crevassée, de couleur noirâtre ou rougeâtre (**Boudy, 1952**).

- **Le tronc**

Selon **KADIK** (1987), les beaux peuplements de l'Atlas saharien sont à fut élancé, droit et peu branchu, tandis que dans le littoral, le tronc est tortueux, branchus avec hauteur de fut dépassent rarement 10 mètres.

- **Les feuilles**

Ce sont des aiguilles fines, vert claire de 6 à 10 cm de long et de 0,5 à 0,8 mm d'épaisseur, réunis par deux dans le même gaines (**Nahal, 1962**).

- **Les fruits**

Les fruits sont des cônes ou pommes, ils sont généralement isolés, rarement par paires ou verticillées pédonculés et réfléchis vers le bas du rameau (**Nahal, 1962**).

- **Les bourgeons**

Selon **KADIK** (1986), les bourgeons se présentent en forme ovoïde, aigus à écailles libres souvent réfléchis au sommet.

- **La fructification**

Le pin d'Alep fructifie à l'âge de 12 ans, mais la germination des graines ne s'effectue qu'à partir de 18 à 20 ans (**Nahal, 1962**) in (**Chakroun, 1990**).

- **Enracinement**

Le système racinaire du pin d'Alep est pivotant dans les sols profonds et superficiels dans les sols squelettiques. L'arbre profite de la moindre fissure pour enfoncer ces racines et puiser l'eau et les éléments minéraux dont il a besoin (**Kadik, 1987**).

- **Bois**

Le bois du pin d'Alep est un bois blanc, le cœur est brun rougeâtre clair, l'aubier blanc jaunâtre, il est léger de densité allant de 0,532 à 0,866. C'est un bois nouveau riche en résine, présentant une texture irrégulière et une faible résistance à la flexion ; c'est un bois qui se dessèche rapidement, il est lourd, et se déforme facilement. (**Ladjal.S, 2012**)

- **Oléorésine**

Le pin d'Alep donne environ 3 kg de résine par / ha/an (**Parajoannon 1954** in **Kadik, 1987**).

4. Aire naturelle du pin d'Alep

Le pin d'Alep est certainement l'espèce la plus répandue sur le pourtour méditerranéen

(Figure 1), où son aire de répartition a été précisée par Nahal (1962) et Quezel (1980). C'est dans la région méditerranéenne occidentale que se trouve son aire de grande extension, mais il se localise aussi en divers points du bassin méditerranéen oriental. Ces forêts occupent sans doute au total plus de 3,5 millions d'hectares (Quezel, 1980).

En Asie, le pin d'Alep n'existe qu'en Palestine, de part et d'autre de la Jordanie, et dans le Liban, pour le restant de son aire, il est Européen et Africain. En Europe, on le trouve massivement en Grèce, où il règne sur une surface considérable 334.000 ha, en Espagne, il est cantonné sur la côte méditerranéenne où il forme des peuplements assez importants. En France, le pin d'Alep occupe massivement les collines calcaires de la zone littorale de Nice à la frontière Italienne, en Italie, l'espèce est peu abondante; elle se rencontre sous forme de massifs dans la province de Tarente, elle occupe quelques localités en Sardaigne et en Sicile.

C'est en Afrique du Nord que l'espèce semble avoir son centre de gravité, en Tunisie *Pinus halepensis* couvre 340.000 ha sur tous les massifs montagneux, il est concentré notamment sur la dorsale tunisienne et l'Oued Mellègue, au Maroc son aire est plus disloquée sur 65.000 ha à l'Est du pays, dans le Rif, dans le moyen et le grand Atlas.

Enfin pour l'Algérie ; on le trouve dans 850.000 ha dans l'Aurès, les Némemcha, sur le plateau Constantinois, dans les Bibans et l'Ouarsenis, pratiquement absent des hauts plateaux, il colonise à nouveau l'Atlas saharien où, chose digne de remarque il (liante parfois» jusqu'à 1500 mètres d'altitude (Parde, 1957).

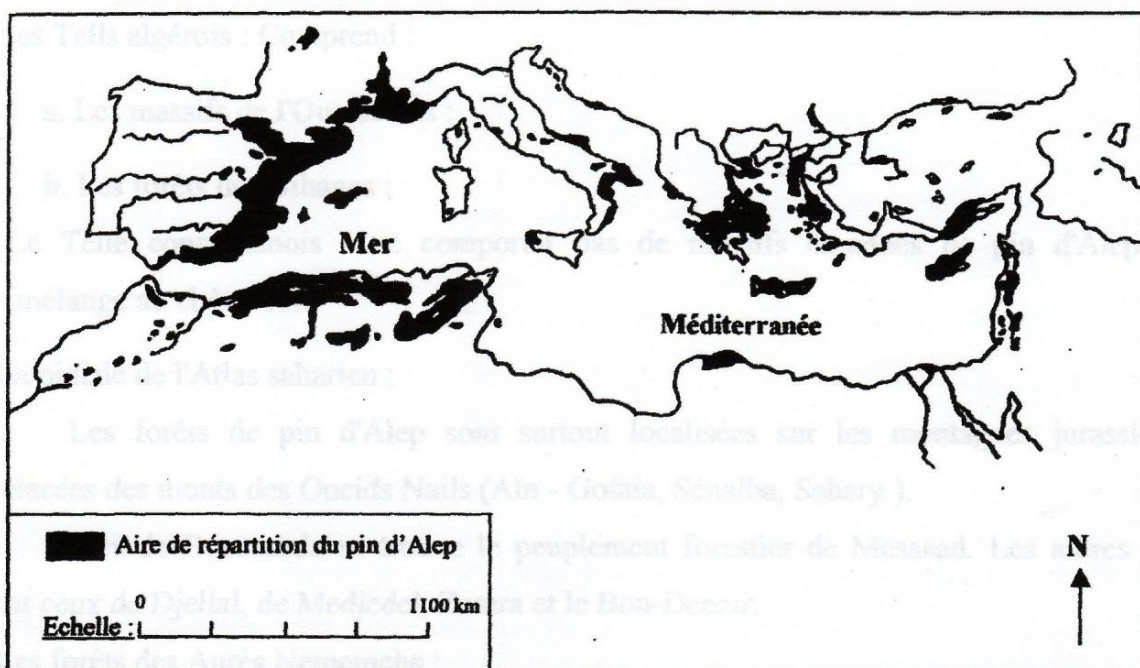


Figure 07 : Aire de répartition du pin d'Alep dans le monde (Kharchouche, 2003)

5. Distribution biogéographique du pin d'Alep en Algérie

En Algérie; le pin d'Alep a une très large amplitude écologique (**Figure 2**), il est très commun sauf dans le Tell constantinois, il ne comporte pas de massifs étendus, il est en mélange au chêne vert (**Ledant, 1975**). Il présente une aire très étendue qui couvre 850,000 ha, s'étendant essentiellement dans la partie Nord orientale. C'est ainsi qu'il occupe de vastes peuplements en Oranie (Sidi Belabbes, Saida, Tlemcen, Tiaret, Ouarsenis) et sur le Tell Algérois (Médéa, Bibans). Sur l'Atlas saharien (Monts des Ouled Nails) et dans le constantinois, il est surtout localisé dans les Aurès et les monts de Tébessa où il rejoint la Tunisie par la dorsale (**Kadik, 1983**).

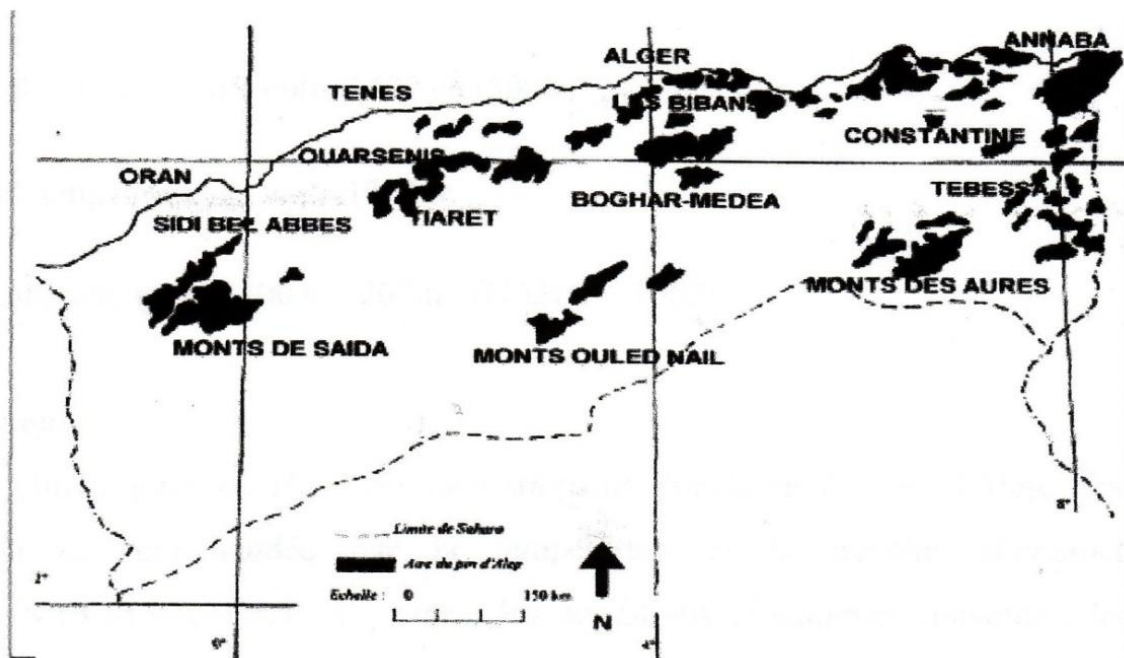


Figure 08:Aire de répartition du pin d'Alep en Algérie (Bentouati, 2006)

6. Reboisements

Le pin d'Alep joue un très grand rôle dans les reboisements à l'état naturel, il colonise pratiquement la plupart des zones subhumides et semi-arides; il est cependant largement utilisé dans les stations les plus diverses. La surface qui lui est consacrée chaque année dans les reboisements dépasse 20.000 ha soit environ 40.000.000 de plants mis en terre (**Kadik, 1987**).

7. Caractéristiques écologiques de *Pinus halepensis*

Le pin d'Alep est une essence de tempérament robuste, et très plastique, car s'adaptant bien à des conditions écologiques parfois difficiles. Il est au plus haut degré xérophile, thermophile et héliophile. L'espèce ne résiste pas aux incendies successifs et très rapprochés. Les parcelles ravagées par les incendies ne sont pas régénérées et ne se régénéreront jamais.

7.1. Altitude et distribution

Selon **BOUDY (1952)**, on trouve le pin d'Alep depuis le littoral méditerranéen jusqu'à 2200 m (Atlas Saharien); la grande majorité des pineraies s'y trouvent entre 800 et 1200 m. En Algérie on le trouve dans l'Atlas tellien où il se situe entre 1400 et 1500 m, dans les Aurès septentrionaux vers 1500 m et dans l'Atlas Saharien entre 2100 et 2200 m (**Nahal, 1962**).

7.2. Climat

D'après **Nahal (1962)**, le pin d'Alep figure parmi les essences dont les exigences écologiques sont plus amples. En effet, il apparaît dans les zones où les précipitations sont comprises entre 200 mm (en Algérie et en Tunisie), et au moins 1500 mm. C'est entre 350 et 700 mm qu'il présente son développement optimal. Du point de vue thermique, le pin d'Alep exige des températures moyennes annuelles entre 12°C à 15°C, mais peut résister au gel allant jusqu'à -12°C (**Lehouerou, 1969**). Il se rencontre en bioclimat semi-aride à hiver frais à doux et aussi en bioclimat sub-humide à hiver frais à doux (**Emberger, 1939**).

7.3. Sol

Pinus halepensis affectionne essentiellement, sur toute l'étendue de son aire, les substrats marneux et calcaire-marneux (calcaires en plaquettes) où il trouve en particulier des sols profonds, facilement accessible à son système racinaire. Toutefois, cette espèce existe aussi sur les sols calcaires et les substrats non calcaires, mais essentiellement sur les schistes et les micaschistes. Il fait par contre à peu près totalement défaut sur les granites et les gneiss. Le pin d'Alep tolère très mal les substrats sablonneux en raison d'un assèchement trop intense en été des horizons supérieurs. Il fait également défaut sur tous substrats où existent des nappes aquifères permanentes provoquant l'asphyxie de son système racinaire. Soulignons aussi que cet arbre ne tolère pas les bas-fonds limoneux ou limoneux-argileux à sol compact. (**Quezel, 1985**).

7.4. Associations du pin d'Alep

Elle est essentiellement méditerranéenne et de caractère xérophile et thermophile, le sous-bois est dense, mais de hauteur moyenne (**Boudy, 1952**). Quel que soit le type de l'association, on constate la présence constante du Romarin et de la globulaire, ce sont les

plantes caractéristiques de la pineraie; même lorsque celle-ci a disparu, elles demeurent comme- témoins. On distingue deux types d'associations :

- Association de type méditerranéen, particulière en Algérie et en Tunisie. Cette association comprend le chêne vert, le thuya, l'Alfa, le romarin, la globulaire, le ciste ... etc.

- Association atlantique spéciale au Maroc.

7.5. Les ravageurs du pin d'Alep

Le pin d'Alep constitue un hôte favorable au développement de divers insectes ravageurs. Il s'agit de la processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa*), les cochenilles des aiguilles (*Leucaspis* sp), l'hylésine des pins (*Tomicus pinierda* ou *destruens*) et la tordeuse des pousses (*Rhyacionia buoliana*). L'incidence des facteurs fongiques est souvent moins spectaculaire que les attaques d'insectes. Ils peuvent cependant constituer à moyen terme des facteurs limitant plus préoccupants :

- **La rouille vésiculeuse de l'écorce** (*Conartium flaccidium*) est assez commune sur le pin d'Alep, n'occasionnant que peu de dégâts (dessèchement de rameaux).

- **Le chancre des rameaux** (*Crumenulopsis sororia*) peut contaminer de façon spectaculaire le pin d'Alep durant les périodes humides.

- **Le fomes** (*Heterobasidion annosum*). Ce champignon apparaît généralement dans les peuplements affaiblis par la sécheresse ou blessés par la grêle. Cet agent de dessèchement est souvent observé sur des rameaux desséchés. Il est souvent associé à *Crumenulopsis sororia* et à *Sclerophoma pithyophila* sur des arbres dépérissant (**Lieutier et al., 1985**).

8. Importance industrielle du pin d'Alep en Algérie

Selon la PNDF, 1984, sur une superficie totale du patrimoine forestier Algérien de 3.9 millions d'hectares, seul 1.4 million d'hectares sont constituées de forêts productives pouvant donner environ 1.2 millions de m³ de bois. La pineraie assure une fonction économique très importante. En effet le bois de cette essence possède plusieurs utilités :

- **Le sciage**

Les sciages gros et moyens, de longueur supérieure à 1,50 mètre et d'un diamètre supérieur à 18 Centimètres, sont utilisés dans la menuiserie et dans la charpente. Les petits sciages d'une longueur et d'un diamètre minimum respectivement de 1 mètre et 12 centimètres, sont utilisés pour la fabrication de caisses de ramassage des produits agricoles et différents emballages (**Dahmane, 1985**).

- **Les piquets ordinaires**

Ce bois trouve différents emplois agricoles pour les cultures, les consolidations et les constructions légères (**Dahmane, 1985**).

- **Les perches de construction**

Les diamètres de ce type de bois sont généralement faibles, provenant de la longueur utilisable de la tige d'un jeune pin. Ces perches peuvent servir pour la construction de logement de campagne, pour échafaudages ou pour l'horticulture échelas (**Dahmane, 1985**).

- **Bois de mine**

Le bois du pin d'Alep est utilisé pour la consolidation des mines (**Dahmane, 1985**).

- **La pâte à papier**

L'étude anatomique, microscopique et en particulier micrographique ont montré que les valeurs de l'indice de feutrage et le coefficient de souplesse sont assez élevés et sont donc très favorables à l'emploi de ce bois en papeterie (**Thibaut, 1985**).

- **Panneaux de particules**

Ces panneaux sont fabriqués par les copeaux et les restes de ce type de bois (**Quiquandon, 1971**).

- **Poteaux**

Les postes et télécommunications algériennes n'utilisent que des poteaux soit importés soit locaux (pin d'Alep) qu'ils traitent localement.

- **Bois de chauffage**

Le bois du pin d'Alep est utilisé comme bois de chauffage. Les besoins en bois de chauffage, sont très importants en Algérie, surtout dans les régions montagneuses du pays. Dans ces régions le gaz de ville est quasi absent et l'approvisionnement en gaz butane connaît des périodes de perturbation monstres. Les populations de ces villages payent jusqu'à 3000 DA le fardeau de bois. Devant cette situation les exploitants clandestins continuent à détruire d'une manière illicite, toutes les forêts de ces régions (**Quiquandon, 1971**).

1. Recueil des échantillons de bois

Il s'agit de troncs d'arbres de bois mort de *Pinus halepensis* abattus par les agents forestiers après une opération de nettoyage à la montagne de Djebel Ouahch de la ville de Constantine (**Figure 9**). Ces échantillons ont été prélevés au mois de mai. Ils sont enveloppés dans de grands morceaux de papier aluminium puis transportés au laboratoire.



Figure 9 : Echantillons de bois de pin d'Alep infestés de champignons.

2. Milieux d'isolement

Un seul milieu est utilisé pour l'isolement de la plus part des champignons lignicoles, il s'agit du milieu gélosé Sabouraud préparé au laboratoire (32.5 g de Sabouraud en poudre + 500 ml d'eau distillée).

3. Isolement des champignons

3.1. Préparation des dilutions

Cette technique consiste à réaliser une série de dilutions décimales allant de 10^{-1} à 10^{-3} . La solution mère est préparée en ajoutant de petits fragments de champignons dans 10 ml d'eau distillée stérile. Après une forte agitation au vortex, des dilutions décimales, dans de l'eau physiologiques (9‰ d'NaCl), sont préparées à partir de cette solution mère (**Botton et al., 1990**).

3.2. Ensemencement et incubation

Pour chaque échantillon, 0.1 ml de chaque dilution (de 10^{-1} à 10^{-3}) sont ensemencés en surface sur le milieu d'isolement. Les boîtes sont mises à incubation pendant 8 jours, dans une étuve réglée à 30° C. Les boîtes ainsi incubées sont observées quotidiennement pendant toute la durée de l'incubation.

3.3. Repiquage et purification des souches isolées

Après la période d'incubation, plusieurs colonies de différents aspects apparaissent dans la boîte de Pétri. Des repiquages successifs sont effectués sur le même milieu d'isolement afin d'obtenir des souches pures. Pour cela, une partie de chaque culture est prélevée à l'aide d'une anse de platine puisensemencée en stries serrées sur le milieu de culture. Les boîtes de Pétri sont ensuite incubées à 30° C pendant 7 jours.

4. Identification des souches purifiées

L'identification de la plupart des champignons, nécessite l'étude des caractères macroscopiques et microscopiques, pour certains cas rares, les propriétés biochimiques sont nécessaires (**Botton *et al.*, 1990**).

4.1. Identification macroscopiques

Selon Dufresne, (2014), l'identification macroscopique repose généralement sur les caractéristiques culturelles des colonies fongiques purifiées. Il s'agit de :

- la couleur : blanche, crème ou colorée (verte, brune, orangée, violette, grises...).
- la texture : duveteux, laineux, cotonneux, velouté, poudreux, granuleux ou glabre.
- la topographie : plat, plissé ou cérébriforme, surélevée.
- la vitesse de croissances: (rapide, modérée, lente). (diamètre de la colonie à 7 jours : rapide \geq 3 cm ; modérée : entre 1 et 3 cm et lente \leq 1 cm).
- la taille : petite, étendue ou envahissante

4.2. Identification microscopique

L'identification microscopique repose essentiellement sur l'observation de formes végétatives, telles que les hyphes (septés ou non septés), la morphologie du thales (présence ou non de cloisons et surtout des ramifications), les structures de reproduction comme les conidiophores, les conidies, les ascospores... (**Dufresne, 2014**).

Pour réaliser cette identification, pour chaque souche fongique isolée, un petit fragment d'une culture de 14 jours sur gélose au Sabouraud est prélevé à l'aide d'une anse de platine stérile. Ce fragment est déposé sur une lame, puis recouvert par une lamelle propre. Cette préparation est ensuite observée sous microscope optique aux grossissements 10 X et 40 X.

5. Tests de valorisation des sciures de bois

5.1. Sciures de bois

Les sciures de bois sont ramenées d'une menuiserie. Deux types d'échantillons sont choisis. Le premier est de taille très petite (poudre) et le deuxième est composé de sciure de bois de taille plus importante.

5.2. Préparation des suspensions fongiques

Pour chaque champignon identifié, une suspension fongique mixte, contenant les mycélium et les spores est préparée dans de l'eau physiologique. Sur des boîtes de Pétri contenant des cultures de 14 jours de chaque champignon, environ 10 ml d'eau physiologiques sont versés. Un raclage de la culture a été réalisé en utilisant une anse de platine. La suspension fongique est ensuite récupérée dans des tubes à vis stériles. Les tubes sont ensuite conservés dans un réfrigérateur jusqu'à utilisation.

5.3. Ensemencement des cultures fongiques sur les sciures de bois

Deux grammes de chaque type d'échantillon de sciure de bois sont étalés dans une boîte de Pétri stérile. Ces boîtes sontensemencées par 10 mL de la suspension fongique des différents champignons. Deux boîtes de Pétri contenant uniquement les deux types de sciure de bois et de l'eau physiologique sont utilisés comme témoin. Les boîtes de Pétri ainsi préparées sont placées dans une étuve réglée à 30° C pendant une semaine. Des observations sont effectuées quotidiennement.

1. Isolement et identification des champignons du bois de pin d'Alep

1. 1. Isolement des champignons

Six champignons ont été isolés sur le milieu Sabouraud, à partir des échantillons de pin d'Alep. Elles sont rassemblées dans la figure ci-dessous.

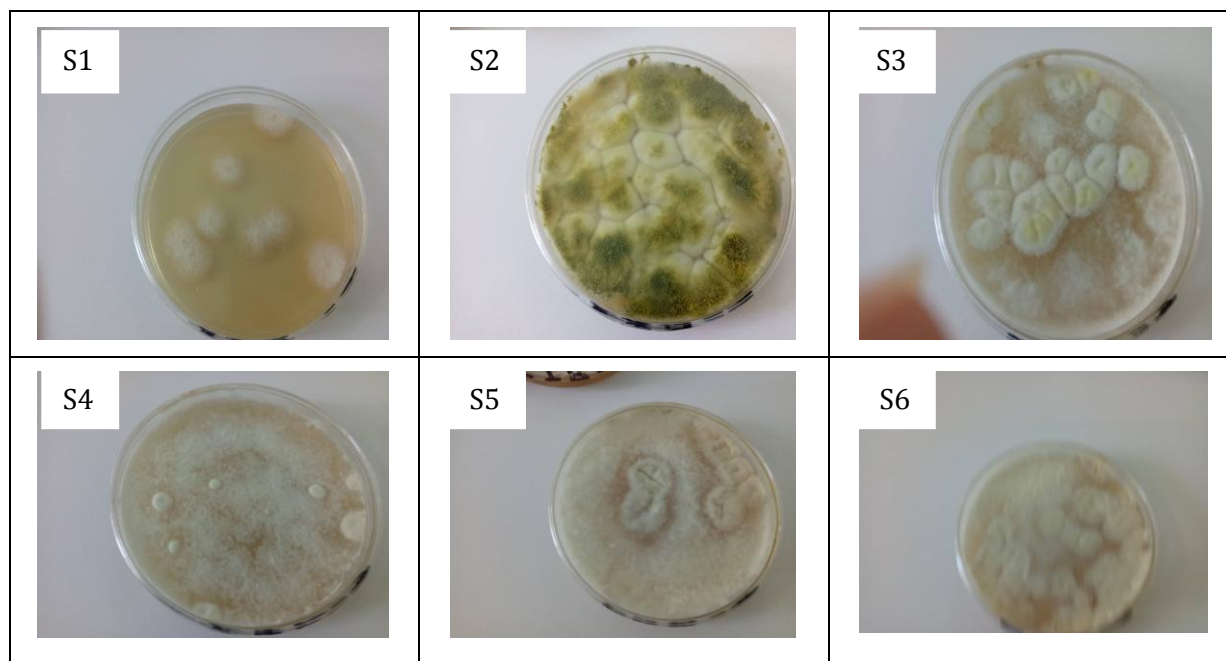


Figure 10 : Aspects macroscopiques des isolats fongiques

1.2. Repiquage et purification

Après une série de repiquages successifs sur le milieu Sabouraud, les six isolats ont été purifiés nous présentons dans la figure 11 trois d'entre elles.

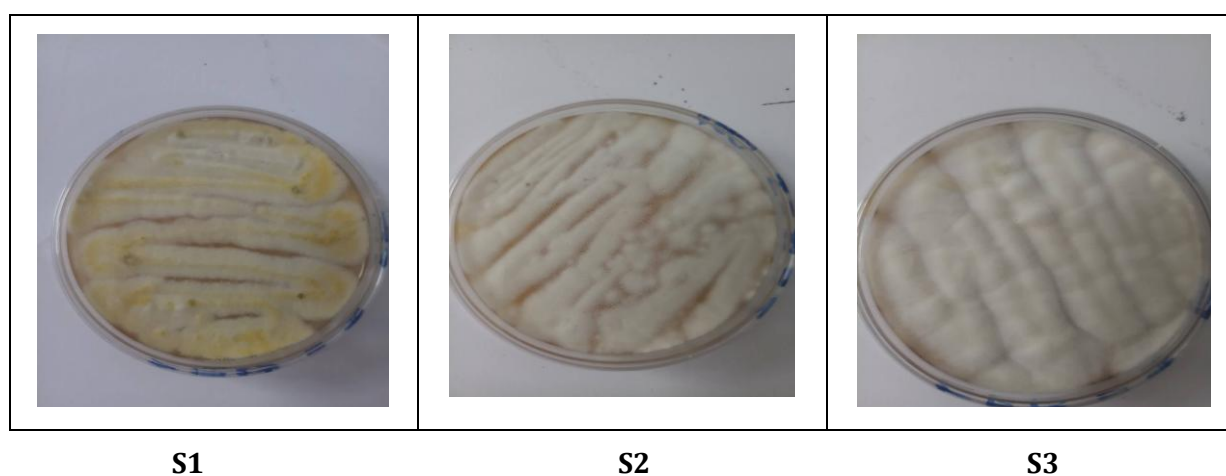


Figure 11 : Aspects macroscopiques de trois isolats fongiques après purification

1.3. Identification macroscopique

Sur le lot des six isolats obtenus les caractères macroscopiques obtenus sont identiques pour certain champignons. Nous avons sélectionné 3 isolats différents (Tableau 3).

Tableau 3 : Caractères macroscopiques des trois isolats sélectionnés

Isolat	Vitesse de croissance	Couleur de la colonie	Couleur du revers de la colonie
S1	Rapide	Blanc-jaune	Jaune-claire
S2	Rapide	Blanc-crème	Marron
S3	Rapide	Blanche	Marron-foncé

- L'isolat **S1** présente un mycélium duveteux, surélevé, blanc et jaune avec un revers jaune-claire, avec une taille envahissante. Leur vitesse de croissance est considérée comme rapide, car le diamètre de la colonie atteint 3.7 cm après 7 jours d'incubation.

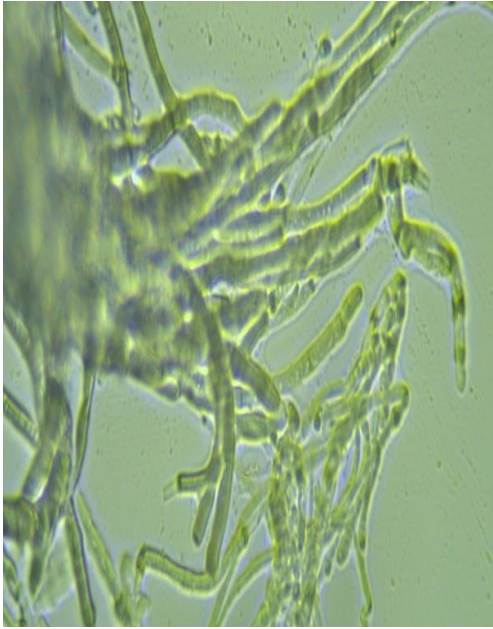
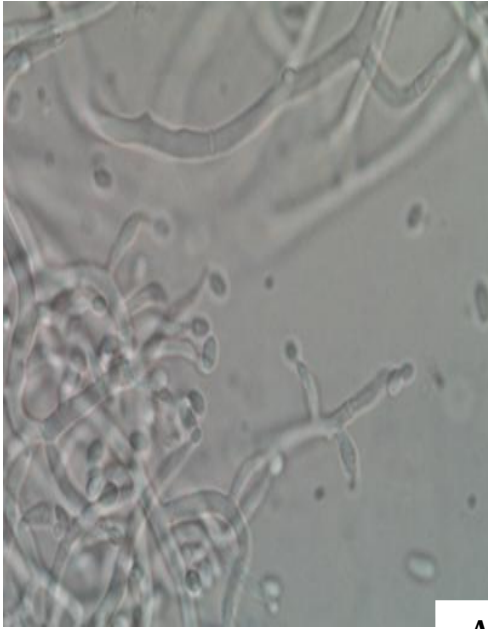


- L'isolat **S2**: présente un mycélium cotonneux, semi-bombé, d'une couleur blanc-crème, avec un revers marron, leur croissance est rapide, car le diamètre de la colonie atteint 4 cm après 7 jours d'incubation.

- L'isolat **S3**: présente un mycélium cotonneux, cérébriforme, d'une couleur blanche avec un revers marron foncé, leur croissance est rapide, car le diamètre de la colonie atteint 4.2 cm après 7 jours d'incubation.

1.4. Identification microscopique

Le tableau 4 montre les caractéristiques microscopiques des trois champignons

Tableau 4 : Caractères microscopiques des isolats au grossissement 40X, photographie de référence et identification présumée

Isolat	Observation microscopique	Photographie de référence	Identification présumée
S1		 <p style="text-align: right;">A</p>	<p><i>Trichoderma sp</i></p>
S2		 <p style="text-align: right;">B</p>	<p><i>Trametes sp</i></p>



L'observation microscopique de l'**isolat S1** montre un mycélium composé d'hyphes septés, ramifiés à parois lisses. Il y a présence de conidiophores. Le mycélium est très ramifié.

La vitesse de croissance est rapide, couleur de la colonie est Blanc-jaune, la couleur du revers de la colonie est jaune claire (Tab3,4).

D'après les caractères de culture (Tab3,4), les caractères macroscopiques et microscopiques, l'isolat S2 est assigné à *Trichoderma sp.*

Le genre *Trichoderma* est un genre de champignons asexués, principalement dans le sol. Ce champignons est également présent dans ou sur le bois humide, les céréales, les agrumes, les tomates, les patates douces, le papier et les textiles. Trois espèces de *Trichoderma*: *T. viride*, *T. harzianum* et *T. koningii*, sont généralement trouvées dans des environnements intérieurs sur des matériaux de construction tels que le papier peint, les carreaux, les panneaux muraux et le bois. En règle générale, les espèces de *Trichoderma* nécessitent une activité de l'eau élevée.

L'observation microscopique de l'**isolat S2** montre des hyphes hyalines qui ont une paroi épaisse, ils sont aplatis, non ramifiés et non cloisonnés.

L'observation du carpophore (baside) montre qu'il est très apparent, d'une belle couleur brune, jaune brun, en forme de tuiles ou d'éventail ondulée. Le côté de croissance est de couleur blanche. Le baside mesure environ 10 cm et possède une surface velouté. Il y a absence du pied de baside.

Les caractères de culture (Tab3,4), montrent que la vitesse de croissance est rapide, la couleur de la colonie est Blanc-crème, la couleur du revers de la colonie est marron.

D'après les caractères de culture (Tab3,4), les caractères macroscopiques et les caractères microscopiques, l'isolat S2 est assigné à *Trametes sp.*

Ce champignon est l'un des représentants de la pourriture blanche du bois. Il appartient au phylum Basidiomycota, la classe des basidiomycetes.

L'observation microscopique de **l'isolat S3** montre des hyphes en majorité syphonnés qui croissent rapidement. Il y a présence de structure brune à la fin des hyphes appelés les sporangiophores. Dans les extrémités de ces structures se trouvent les sporanges. Les sporanges apparaissent comme des vésicules globulaires noires.

Les caractères de culture (Tab3,4), montrent que la vitesse de croissance est rapide, la couleur de la colonie est Blanche, la couleur du revers de la colonie est marron foncé (Tab.3).

D'après les caractères de culture, les caractères macroscopiques et les caractères microscopiques, l'isolat S3 est assigné à *Rhizopus sp.*

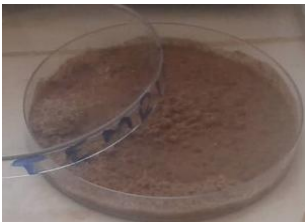
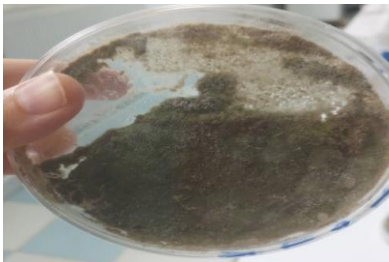



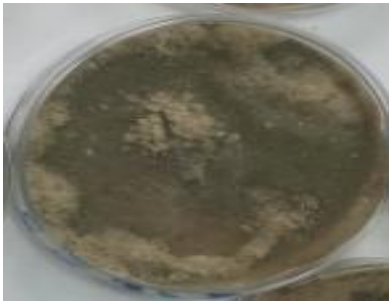
Les travaux d'identification des champignons sont très laborieux et nécessitent des observations plus poussées moyennant un appareillage plus sophistiqué. D'autres manipulations sont nécessaires afin d'arriver à une identification complète des espèces.

Ces trois champignons ont été isolés à partir de plusieurs bois d'essences forestières dans le monde entier. L'isolement de ces espèces fongiques à partir du pin d'Alep a été rapporté dans ce travail. La présence de ces champignons dans ce type de bois est un résultat important. Il montre que le bois de cette essence peut être attaqué par des champignons responsables de la pourriture blanche comme le genre *Trametes* et les champignons de coloration comme le genre *Rhizopus et Trichoderma*. Il est donc nécessaire d'après nous, de prendre en compte dans la préservation de ce genre de bois, d'utiliser des agents inhibiteurs de ces microorganismes xylophages.

2. Essais de valorisation des sciures de bois

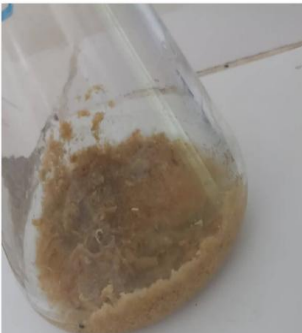
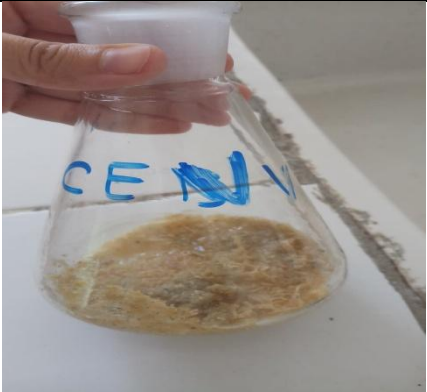
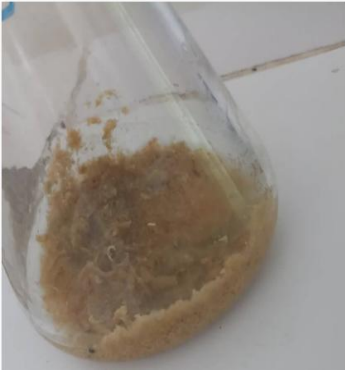
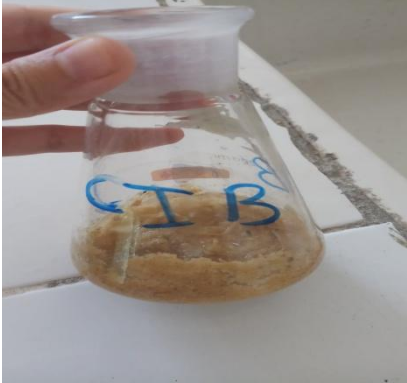
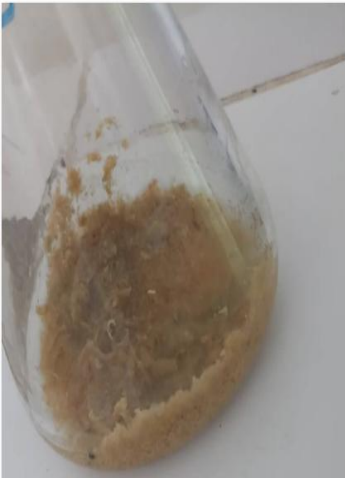

Les sciures du bois traités sont considérées en Algérie, comme étant un déchets très mal exploité qui finissent généralement parmi les ordures. Les résultats de croissance des trois isolats fongiques sont rapportés dans le tableau 5.

Tableau 5 : Croissance des souches fongiques sur les sciures fines du bois

Nom de souche	Témoin	Croissance fongique
<i>Trichoderma sp</i>		
<i>Rhizopus sp</i>		
<i>Trametes sp</i>		

Ils montrent clairement que les trois champignons qui attaquent le bois du pin d'Alep peuvent pousser sur les sciures de bois.

Tableau 6 : Croissance des souches fongiques sur les copeaux de bois

Nom de souche	Témoin	Croissance fongique
<i>Trichoderma sp</i>		
<i>Rhizopus sp</i>		
<i>Trametes sp</i>		

Les résultats montrent que les champignons du pin d'Alep poussent légèrement sur les copeaux de bois. Cependant nous constatons que les sciures de bois (les plus fines), sont les plus facilement utilisées par ces champignons. Cela est probablement dû à la taille importante des copeaux de bois qui ne sont pas adaptés à leurs utilisations par ces champignons. D'après ces mêmes résultats, nous avons remarqué que les témoins qui ne sont pasensemencés par des champignons présentent une croissance fongique. Ce constat montre que les spores de champignons sont omni présentes dans ce substrat. L'utilisation des sciures et des copeaux de bois comme substrat ou supplément au milieu de croissance nécessite d'abord une stérilisation. Des travaux dans ce sens sont nécessaires afin de déterminer les conditions optimales de stérilisation de ce sous-produit.

Les champignons isolés à partir du bois de pin d'Alep présentent des avantages biotechnologiques et médicaux très importants. C'est le cas par exemple du champignon *Trametes versicolor* qui depuis plus de 50 ans, l'extrait de polysaccharides qu'il en contient est commercialisé, prescrit et utilisé, particulièrement par les oncologues japonais, dans le traitement de cancers colorectal, de l'estomac, du sein, etc. Les produits se nomment PSK (Krestin), et PSP, pour polysaccharide peptide (**Hobbs, 1986**). Dans un autre travail récent, la capacité antioxydante des phénols et des flavonoïdes présents dans *Trametes* a été déterminée (**Raluca et al., 2018**).

L'importance de ces champignons, engage les industriels à les produire par des techniques de fermentations et de production à l'échelle industrielle. Les études qui s'intéressent à tester la capacité de ces champignons à croître sur les déchets de bois sont très demandées et encouragées et prennent un essor croissant. D'ailleurs, dans des études, des chercheurs au Congo ont utilisé des substrats lignocellulosiques pour cultiver et produire des champignons lignicoles et comestibles (**Dibaluka et al., 2010**).

Concernant les espèces appartenant au genre *Trichoderma*, plusieurs métabolites secondaires comme les antibiotiques et les enzymes extracellulaires ont été produits (**Vizcaino et al., 2005**). C'est le même cas pour le genre *Rhizopus* (**Costa de Freitas et al., 2014**).

L'intérêt d'utiliser ces déchets de bois comme sous-produits, est également urgent et important pour ces fermentations industrielles car ces dernières années les substrats utilisés dans les milieux de fermentation se font rares et coûtent très chère.

Ces dernières années, la production de bois dans le monde est en plein envol. Elle atteint d'après des statistiques récentes 3 402 millions de stères (1 m³ de bois empilés) par an, soit environ 108 m³ de bois par seconde. Parallèlement, la consommation de ce matériau est également en augmentation, elle va atteindre selon la FAO des chiffres qui dépassent la production actuelle.

Le bois n'est malheureusement pas un matériau inerte il est souvent attaqué par plusieurs organismes xylophages comme les champignons qui le détruisent ou le rend inutilisable. Les produits utilisés à ce jour pour la préservation du bois contre ces envahisseurs naturels, sont polluants et dangereux pour la santé humaine et animale. Plusieurs d'entre eux sont actuellement interdits par plusieurs organismes internationaux de santé, dans la préservation du bois. Ils sont même interdits et retirés des chaînes de production. Les chercheurs se penchent actuellement sur le remplacement de ces produits chimiques, par des moyens propres respectueux de la nature. A chaque essence sa variété de champignons qu'il attaque.

Dans cette étude, nous nous sommes orientés vers le bois du pin d'Alep qui est l'essence la plus répandue en Algérie. La flore fongique qui attaque ce bois a été isolée, purifiée et identifiée. Il s'agit de trois isolats (S1, S2 et S3), appartenant respectivement au genre *Trichoderma*, *Trametes*, et *Rhizopus*. Tous ces champignons sont connus par leurs grands pouvoirs de dégradation des différentes sources ligneuses du monde entier. Les genres *Trichoderma* et *Rhizopus* sont responsables de la coloration du bois. Le genre *Trametes* est l'agent de la pourriture blanche du bois.

Dans un deuxième axe de recherche réalisé dans ce mémoire, nous avons tenté de valoriser les déchets de bois traité. Ces déchets ne cessent d'augmenter et sont toujours très mal exploités. Nous avons testé ces trois champignons isolés à partir du bois mort de pin d'Alep, sur les déchets du bois traité. Deux types de triture de bois ont été pris comme substrat essentiel aux trois isolats fongiques purifiés. Les résultats indiquent clairement que ces champignons peuvent se développer sur ces déchets. Cependant, l'utilisation par ces champignons, des sciures fines est plus importante que les copeaux grossiers de bois. Ce résultat montre que ces sous-produits de bois très bon marché, peuvent remplacer les substrats coûteux utilisés dans les différentes fermentations industrielles pour la production des champignons comestibles et de différents métabolites à intérêts biotechnologiques.

Nous projetons dans l'avenir identifier au niveau de l'espèce les souches fongiques responsables de la pourriture du bois de pin d'Alep, en utilisant des techniques plus performantes. Nous envisageons également de chercher de nouveaux moyens respectueux pour l'environnement, afin de préserver le bois de notre essence forestière. Dans l'esprit de valorisation des sous-produits ligneux, nous proposons des essais de production de métabolites primaires ou secondaires à partir des différents déchets de bois.

Résumé

Le bois fait partie des matériaux les plus respectueux de la nature car il est censé être écologique. Cependant des produits chimiques sont souvent utilisés pour sa préservation contre les organismes xylophages qui le rendent impropre à l'utilisation. La plupart de ces molécules sont de nos jours proscrites et le reste des autres produits sont en cours d'interdiction par plusieurs organismes internationaux de santé. Les champignons qui attaquent le bois sont multiples et dégradent spécifiquement le bois des différentes essences. Le pin d'Alep est une essence très réponde en Algérie. Son bois est utilisé dans plusieurs secteurs. La flore fongique qui attaque ce bois a été isolée et purifiée en utilisant le milieu d'isolement Sabouraud. Trois isolats fongiques ont été sélectionnés dans cette étude. L'identification de ces isolats par étude approfondie des caractères cultureux, macroscopiques des colonies et microscopiques ont permis d'identifier ces microorganismes. Il s'agit de *Trichoderma sp*, *Trametes sp*, et *Rhizopus sp*. Les genres *Trichoderma* et *Rhizopus* sont responsables de la coloration du bois. Le genre *Trametes* est l'agent de la pourriture blanche du bois. Dans une deuxième étude, nous avons tenté de valoriser les déchets de bois traités. La culture des trois champignons isolés à partir du bois mort de pin d'Alep, a été menée sur deux types de triture de bois. Les résultats montrent clairement que ces champignons peuvent se développer sur ces déchets, avec une préférence aux sciures fines que les copeaux grossiers de bois. Nous avons aussi démontré que ces sciures doivent être stérilisées avant utilisation, car ils peuvent véhiculer d'autres champignons de contamination. Ce résultat intéressant, montre que ces sous-produits de bois très bon marché, peuvent remplacer les substrats couteux utilisés dans les différentes fermentations industrielles.

Mots clés : Préservation du bois, pin d'Alep, champignons xylophage, valorisation.

Summary

Wood is one of the most environmentally friendly materials because it is supposed to be ecological. However, chemicals are often used for its preservation against xylophagous organisms that render it unfit for use. Most of these molecules are nowadays proscribed and the rest of the other products are being banned by several international health organizations. Fungi that attack wood are multiple and specifically degrade the wood of different species. The Aleppo pine is a very popular species in Algeria. Its wood is used in many areas. The fungal flora that attacks this wood has been isolated and purified using the Sabouraud isolation medium. Three fungal isolates were selected in this study. The identification of these isolates by in-depth study of the cultural, macroscopic and microscopic colony characteristics made it possible to identify these microorganisms. These are *Trichoderma* sp, *Trametes* sp, and *Rhizopus* sp. The genera *Trichoderma* and *Rhizopus* are responsible for coloring the wood. The genus *Trametes* is the agent of the white rot of wood. In a second study, we tried to valorize treated wood waste. The cultivation of the three fungi isolated from dead Aleppo pine wood was conducted on two types of wood trituration. The results clearly show that these fungi can grow on these wastes, with a preference for fine sawdust than coarse wood chips. We have also shown that sawdust must be sterilized before use because it can carry other fungi. This interesting result shows that these very cheap wood by-products can replace the expensive substrates used in the various industrial fermentations.

Key words: Wood preservation, Aleppo pine, xylophage mushroom , valorization.

المُلخَص

يعتبر الخشب احد اكثر المواد صديقة للبيئة , رغم ذلك فغالبا ما ما تستخدم مواد كيميائية لحفظه ضد مختلف الكائنات الحية المفسدة للخشب منها اكالات الخشب التي تجعله غير صالح للاستخدام.

معظم هذه الجزيئات المستعملة لحماية الخشب من التعفن والإصابة بأمراض محظورة في الوقت الحاضر حيث حظر هذه المنتجات من قبل العديد من المنظمات الصحية الدولية.

الفطريات التي تهاجم الخشب وتفسده متعددة وتتحلل على وجه الخصوص انواع محددة من الخشب. الصنوبر الحلبي من الأنواع المشهورة جداً في الجزائر. يستخدم الخشب الخاص به في العديد من المناطق.

تم عزل الفطريات التي تهاجم الخشب وتنقيتها حيث استعملنا وسط العزل Sabouraud فتحصلنا على ثلاث انواع من الفطريات تمت دراسة معمقة لخصائص النمو والصفات الماكروسكوبية والميكروسكوبية للمستعمرات الفطرية المعزولة والتي مكنتنا من تحديد انواع ثلاث فطريات هي : *Trichoderma sp* و *Rhizopus sp* و *Trametes sp*.

الأجناس *Trichoderma* و *Rhizopus* مسؤولة عن تلوين الخشب. اما الجنس *Trametes* فهو عامل تعفن الخشب الأبيض.

في دراسة ثانية ، حاولنا تثمين بقايا الأخشاب المعالجة, حيث أجريت زراعة الفطريات الثلاث المعزولة من خشب الصنوبر الحلبي الميت على نوعين من نشارة الخشب (الدقيقة والرقائق الخشنة). أظهرت النتائج بوضوح أن هذه الفطريات يمكن أن تنمو على هذه النشارة ، مع تفضيل النشارة الخشبية الدقيقة على رقائق الخشب الخشنة.

مع العلم أنه يجب تعقيم نشارة الخشب قبل الاستخدام لأنها يمكن أن تحمل فطريات اخرى .

توضح هذه النتيجة المثيرة للاهتمام أن هذه المنتجات الخشبية الرخيصة جداً يمكن أن تحل محل الركائز باهظة الثمن المستخدمة في التخميرات الصناعية المختلفة.

الكلمات المفتاحية: الحفاظ على الخشب - الصنوبر الحلبي -الفطريات اكالات الخشب- تثمين.

Abderrezag F ., (2010). etude comparative de quelques paramètres dendrochronologiques du Pin d'Alep (*Pinus halpensis Mill*) au niveau de trois stations à Beni Imloul. (w.de Khenchela), **mémoire d'Ingénieur d'État en Foresterie** , université du el hadj lakhdar, batna, département d'agronomie: 2p

Aline Costa de Freitas, Bruna Escaramboni, Ana Flávia Azevedo, Carvalho, Valéria Marta Gomes de Lima, Pedro de Oliva-Neto (2014). Production and application of amylases of Bensouici Karima, Boudemagh Allaoueddine et Boulahrouf Abderrahmane. 2015.

ANTIFUNGAL ACTIVITY OF ACTINOMYCETES ISOLATED FROM SEVERAL ALGERIAN ECOSYSTEMS AGAINST *Pinus halepensis* WOOD DECAY FUNGI. *Sciences & Technologie C* – N°41 pp.44-52

Bentayeb ., Djammal S., (2014). Contribution à la mise en evidence in vitro de l'efficacité des huiles essentielles de *Thymus Cialitus et Thymus dreatensis* contre les champignons lignivores, thèse de magister, spécialité: biotechnologie des mycètes, université de Constantine 1, 1p.

Björdal C. G., Nilsson T. et Daniel G., (1999), « Microbial decay of waterlogged archaeological wood found in Sweden Applicable to archaeology and conservation », *International Biodeterioration & Biodegradation*, 43(1-2): pp. 63-73.

Botton, B., Breton, A., Fevre, M., Gauthier, S., (1990) Moisissures utiles et nuisibles. Importance industrielle. Masson 2ème édition. P312-313, 512.

Brignon, J.-M. - INERIS. *Données technico-économiques sur les substances chimiques en France – Pentachlorophénol.* 2005. 14 p.

Chapelet J., Dirol D., Raysal M-M., (1991). Bois: Mode d'emploi et préservation. SERMENT.CTBA.

Chedgy R. J., Morris P. I., Lim Y. W. et Breuil C., (2007), « Black stain of western red cedar (*Thuja plicata* Donn) by *Aureobasidium pullulans*: The role of weathering », *Wood and Fiber Science*, 39(3): pp. 472-481.

Cloutier, A. *Le séchage du bois de sciage - Mise à jour du cours n° 26 - Partie I : Principes de base.* Laval, Canada : Université de Laval, septembre 1992. 23 p.

CTBA (1992), Le bleuissement des bois par les champignons. Bleuissement : un agent naturel de coloration du bois / FIBA / FCBA – 2010 .

DAHMANE M., (1985). Les produits du pin d'Alep en Tunisie. In : Le pin d'Alep et le pin brutia dans la sylviculture méditerranéenne . Paris : CIHEAM. **1**, 157-161.

Dufresne P. (2014). Identification des champignons d'importance médicale. Stage de

DUNCAN C.G. et ESLYN W.E. (1966), Wood decaying Ascomycetes and fungi imperfecti. *Mycologia* 58 (4): 642-645.

El-Bakali D., Gerardin P. et Nachirou N'gossi B., (2003). Evaluation de l'activité antifongique d'extraits de henné dans le cadre de la recherche de nouveaux agents de préservation du bois. *Annales*

EMBERGER L., (1939). Aperçu général sur la végétation du Maroc, commentaire de la carte phytogéographique du Maroc au 1/1500 000. veröff Geobot. Rubel Inst. Zurich, **14**, 40-157.

Fernandes L., Loguercio-Leite C., Esposito E. et Menezes Reis M., (2005), « *In vitro* wood decay of *Eucalyptus grandis* by the basidiomycete fungus *Phellinus flavomarginatus* », *International Biodeterioration & Biodegradation*, 55(3): pp. 187-193.

Grabner M., Müller U., Gierlinger N. et Wimmer R., (2005), « Effects of heartwood extractives on mechanical properties of larch », *IAWA Journal*, 26(2): pp. 211-220.

Haluk J.P. et Roussel C., (2000). Caractérisation et origine des tropolones responsables de la durabilité naturelle des Cupressacées. Application potentielle en préservation du bois. *Ann.For.Sci.* **57**, 819-829

HENNEBERT G.L., BOULANGER PH. Et BALON (1990), La mérule – Science, technique & droit. Ciaco, Louvain-la-Neuve, 198 p..

Henry, J. Oléothermie – Une alternative aux procédés de traitements classiques. *Le Bois International – Dossier spécial traitement des bois*. 2008, n° 22, pp. 20-21.

Hobbs (1986). Medicinal Mushrooms, An exploration of Tradition, Healing & Culture, par Christopher Hobbs, L.Ac. ©1986, Botanica Press.

Irbe I., Andersons B., Chirkova J., Kallavus U., Andersone I. et Faix O., (2006), « On the changes of Pinewood (*Pinus sylvestris* L.) Chemical composition and ultrastructure during the attack by brown-rot fungi *Postia placenta* and *Coniophora puteana* », *International Biodeterioration & Biodegradation*, 57(2): pp. 99-106.

Istek A., Sivrikaya H., Eroglu H. et Gulsoy S. K., (2005), « Biodegradation of *Abies bornmülleriana* (Mattf.) and *Fagus orientalis* (L.) by the white rot fungus *Phanerochaete chrysosporium* », *International Biodeterioration & Biodegradation*, 55(1): pp. 63-67.

Kleijer, A. Biocides et protection du bois - Liste de substances chimiques à surveiller. *Gas Wasser Abwasser (GWA)*. 2008.. laboratoire. Institut National de Santé Publique, Québec (Canada). 16 p

Ladjal.S., (2012). activité antimicrobienne des métabolites secondaires des champignons endophytes isolés du pin d'Alep de la willaya de Msila, diplôme de magister en biologie végétale , université Ferhat Abbas Sétif : 27p.

LEHOUEIROU N., 1969. La végétation de la tunisie steppique. Ann. Inst. Nat. Rech. Agron. Tunisie.42-5.

LIEUTIER F. et LEVIEUX J., 1984. Les relations conifères-scolytidae. Importance et perspectives de recherches. Ann. Sci. For., 42(4) : 359-370.

Mabicka A., Dumarcay S., Gelhaye E., Gerardin P., (2004). Inhibitiob of fungal degradation of wood by 2- hydroxypyridineN-oxide. *Holzforschung*. **58(5)**,566-568.

Meite, K., Bonnemains, J. Que deviennent les déchets dangereux ? Le cas des traverses de chemin de fer traitées aux créosotes. [En ligne] 2007. [Citation : 2 octobre 2013.] 56 p.

Mohebbi B., (2005), « Attenuated total reflection infrared spectroscopy of white-rot decayed beech wood », *International Biodeterioration & Biodegradation*, 55(4): pp. 247-251.

Morard M., Vaca-Garcia C., Stevens M., Van Acker J., Pignolet O. et Borredon E., (2007), « Durability improvement of wood by treatment with Methyl Alkenoate Succinic Anhydrides (M-ASA) of vegetable origin », *International Biodeterioration & Biodegradation*, 59(2): pp. 103-110.

NAHAL I., (1962). Le pin d'alep (*Pinus halepensis Mill*). Etude taxonomique, phytogéographique, écologique et sylvicole. Ann. Ecole Eaux et forêts et stat. Rech. Erep. **19** (4) 208p .

Navya, P. N., and Daima, H. K. (2016). "Rational engineering of physicochemical properties of nanomaterials for biomedical applications with nanotoxicological perspectives," *Nano Convergen* 3(1), 1-14. DOI: 10.1186/s40580-016-0064-z

NOLARD N. et BEGUIN H. (2003), Moisissures. In : Vervloet D. & Magnan A., Traité d'allergologie. Flammarion Médecine-Sciences, Paris, pp. 441-461..

O'BRIEN I.M., BULL J., CREAMER B. (1978), Asthma and extrinsic allergic alveolitis due to *Merulius lacrymans*. *Clin. Allergy* 8: 535-542

Okon, K. E., Lin, F., Chen, Y., and Huang, B. (2017). "Effect of silicone oil heat treatment on the chemical composition, cellulose crystalline structure and contact angle of Chinese parasol wood," *Carbohydrate Polymers* 164, 179-185. DOI: 10.1016/j.carbpol.2017.01.076

Oléobois Industries. Oléothermie – le durable au naturel. [En ligne] novembre 2011. [Citation : 7 octobre 2013.]

Pandey K. K. et Nagveni H. C., (2007), « Rapid characterisation of brown and white rot degraded chir pine and rubberwood by FTIR spectroscopy », *Holz als Roh- und Werkstoff*, 65(6): pp. 477-481.

Pandey K. K. et Nagveni H. C., (2007), « Rapid characterisation of brown and white rot degraded chir pine and rubberwood by FTIR spectroscopy », *Holz als Roh- und Werkstoff*, 65(6): pp. 477-481.

Przewloka S. R., (2004), *Comparison of rapid decay testing methodologies for the screening of New Wood Preservatives*, Rapport, Forest and Wood Products Research and Development Corporation, Denis M Cullity Research Fellowship Report: 88 p.

QUEZEL P. (1985). Les pins du groupe "Halepensis". Ecologie, végétation, écophysiologie.
In : Le pin d'Alep et le pin brutia dans la sylviculture méditerranéenne. Paris : CIHEAM. **1**, 11-23

QUIQUANDON B. (1971). Etude technologique du bois de pin d'alep et de cèdre. Paris, CTBA., 31p.

Raluca M. POP, Ion Cosmin PUIA, Aida PUIA, Veronica S. CHEDEA, Nicolae LEOPOLD, Ioana C. BOCSAN1, Anca D. BUZOIANU (2018). Characterization of *Trametes versicolor*: Medicinal Mushroom with Important Health Benefits. 46(2):

Rekola, J., Lassila, L. V. J., Nganga, S., Ylä-Soininmäki, A., Fleming, G. J. P., Grenman, R., Aho, A. J., and Vallittu, P. K. (2014). "Effect of heat treatment of wood on the morphology, surface roughness and penetration of simulated and human blood," *Bio-Medical Materials and Engineering* 24(3), 1595-1607. DOI: 10.3233/BME-140964

Rhizopus Oryzae _and Rhizopus microsporus var. from industrial waste in acquisition of glucose. *Chemical Papers* 68 (4) 442–450 (2014) DOI: 10.2478/s11696-013-0466-x

Ritschkoff A.-C., (1996), *Decay mechanisms of brown-rot fungi*, Rapport, Technical Research Centre of Finland, Espoo, VTT Publications: 67 + app 38 p..

SCHMIDT O. (2006), *Wood and tree fungi. Biology, damage, protection and use.* Springer, Berlin, xi, 334

Schmidt O., (2007), « Indoor wood-decay basidiomycetes: damage, causal fungi, physiology, identification and characterization, prevention and control », *Mycological Progress*, 6(4): pp. 261-279.

Seaton, A., Tran, L., Aitken, R., and Donaldson, K. (2010). "Nanoparticles, human health hazard and regulation." *Journal of The Royal Society Interface* 7 (Suppl 1), 119-129. DOI: 10.1098/rsif.2009.0252.focus

Simon Dibaluka Mpulusu), Félicien Lukoki Luyeye , André De Kesel , Jérôme Degreef.(2010). Essais de culture de quelques champignons lignicoles comestibles de la région de Kinshasa (R.D. Congo) sur divers substrats lignocellulosiques. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2010 14(3), 417-422

THIBAUT B., (1985). Caractéristiques technologiques du bois de pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill). *CIHEAM*. **1**, 163-165.

US Environmental Protection Agency (US EPA) – Office of Prevention, Pesticides and Toxic Substances. *Pesticide Fact Sheet - Bis-(N-cyclohexyldiazoniumdioxo) – copper.* Washington : US EPA, 2005. 8 p.

Vernay M., Mouras S (2002). Utilisation des bois de Guyane dans la construction. Editions Quae, Versailles, France ,159p.

Wang, Y., and Nowack, B. (2018). "Environmental risk assessment of engineered nano-SiO₂, nano iron oxides, nano-CeO₂, nano-Al₂O₃, and quantum dots," *Environmental Toxicology and Chemistry* 37(5), 1387-1395. DOI: 10.1002/etc.4080

Wikberg H. et Maunu S. L., (2004), « Characterisation of thermally modified hard- and softwoods by ¹³C CPMAS NMR », *Carbohydrate Polymers*, 58(4): pp. 461-466.

Zabel R. A. et Morrell J. J., (1992), *Wood microbiology. Decay and its prevention*, Rapport, San Diego, New York, Academic Press: 476 p.

Référence électroniques

A/ agronomie.info/en/2017/07/15/trichoderma-species/

B amfb.eu/Myco/Myco-microscopie/Hyphes/Pages/Trametes-versicolor.html

C/ [www.lalanguefrancaise.com/dictionnaire/definition-rhizopus.](http://www.lalanguefrancaise.com/dictionnaire/definition-rhizopus)