

Bois et santé

Rôle du matériau bois sur la santé humaine

par **Anne LAVALETTE**

*Chercheuse en sciences du bois
Alt-R&D, coopérative de recherche en sciences du bois, Co-Actions, Captieux*

et **Anna DUPLEIX-MARCHAL**

*Chercheuse en sciences du bois
CRISES (E.A. 4424), Université Paul-Valéry, Montpellier*

1. Les arbres, producteurs de bois	N 4 300 - 2
1.1 Qu'est-ce que le bois, ou les bois ?	— 2
1.2 Évolution socio-historique de la relation humains-forêts	— 3
1.3 Bains de forêt et sylvothérapie, des pratiques qui se développent	— 5
1.4 Des molécules issues du bois à effet pharmaceutique	— 5
2. Le bois, un matériau associé au confort dans les espaces intérieurs	— 6
2.1 Le bois massif, le choix du naturel	— 6
2.2 Prise en compte des atouts visuels du bois dans l'habitat	— 7
2.3 Propriétés physiques du bois liées au confort acoustique	— 7
2.4 Confort au toucher, le rôle de l'effusivité thermique ?	— 8
3. Bois et impact sanitaire	— 9
3.1 Utilisation du bois dans le secteur de la santé et de l'alimentation	— 9
3.2 Le bois en contact alimentaire : le rôle des conditions d'hygiène	— 10
3.3 Interaction entre le bois et certains agents pathogènes	— 10
3.4 Bois et santé, un sujet controversé – Cas de la qualité de l'air intérieur et des COV émis par le bois	— 11
4. Conclusion	— 12
5. Glossaire	— 12
6. Sigles, notations et symboles	— 13
Pour en savoir plus	

Le bois est un matériau issu du tronc et des branches de l'arbre. L'arbre est un organisme vivant complexe qui doit assurer de multiples fonctions (biologiques, mécaniques, etc.) pour se développer. Pour y parvenir, il fabrique un matériau dont il se constitue, le bois, qu'il dote de propriétés tout à fait performantes (chimique, physique, etc.). Certaines de ces propriétés induisent chez les êtres humains différents impacts (sensoriel, psychologique, physiologique, etc.) dont les effets positifs favorisent le bien-être et la santé humaine. C'est en tout cas ce que les conclusions de nombreuses études réalisées depuis les années 2000 attestent. Ainsi, de multiples effets bénéfiques du matériau bois, de l'arbre et des forêts sont observés.

En outre, le nombre croissant d'études sur ce sujet témoigne d'un intérêt grandissant pour la relation que ce matériau permet à l'humain d'entretenir avec le vivant et la nature. Le lien entre le matériau bois et l'humain est ancestral puisque les premiers hommes vivaient majoritairement dans les forêts (habitats primitifs, artisanat, construction, etc.). Or, du fait de l'évolution des modes de vie à l'époque moderne, ce lien tend à disparaître dans la plupart des civilisations actuelles. L'enjeu d'une meilleure compréhension des interactions bois-humains

est de parvenir à tirer parti de ces effets positifs. On peut ainsi imaginer les introduire dans les habitats humains et assurer par là même du bien-être, un confort ou un état de santé « retrouvé ». Au-delà de ses propriétés sollicitées dans des usages technologiques (construction, mobilier, instruments, outils, etc.), le matériau bois génère chez l'être humain des sensations et des stimuli que les travaux de recherche ont essayé de quantifier, non sans certaines difficultés.

Malgré ce sentiment de bien-être procuré naturellement par le bois dans les espaces extérieurs comme intérieurs, ce matériau peut souffrir en parallèle d'une image négative dans les domaines hospitaliers ou alimentaires, ce qui limite son utilisation en 2022 dans ces secteurs.

L'objectif de cet article traitant des effets du bois sur la santé humaine est de présenter une synthèse des derniers résultats scientifiques obtenus, y compris dans leur aspect contradictoire s'il y a lieu. Les ingénieurs et chercheurs des secteurs du bâtiment, de l'ameublement, de la rénovation intérieure, de l'emballage en contact alimentaire, de la construction hospitalière, etc. disposeront ainsi de données scientifiques pour effectuer leur choix de matériau de façon avisée.

1. Les arbres, producteurs de bois

1.1 Qu'est-ce que le bois, ou les bois ?

L'arbre est l'usine à bois. Cette plante chlorophyllienne est au service de la protection et de la régulation des sols, des climats, du régime des eaux, de la qualité de l'air, de la biodiversité, etc. L'arbre est également une bioraffinerie naturelle puisqu'il élabore des matériaux et des molécules par les seuls apports d'eau, de sels minéraux, de dioxyde de carbone et d'énergie solaire. Ainsi le bois du tronc et des branches constitue un stockage efficient d'énergie solaire et de carbone atmosphérique.

Il joue aussi pour l'arbre un rôle de matériau très performant sur le plan mécanique. En effet, et pour ne parler que du seul tronc dont on tirera la majeure partie du bois d'œuvre, celui-ci doit être à même de supporter le houppier (l'ensemble des branches et de son feuillage) – soit plusieurs tonnes de matière sollicitant le tronc en compression – et de résister aux vents dont l'emprise est accentuée par la voilure du houppier. Le tronc est en quelque sorte une poutre cylindrique encastrée dans le sol, particulièrement performante en termes de résistance en flexion.

Chaque année, l'arbre augmente sa circonférence en fabriquant du bois à la périphérie du tronc. Sa structure macroscopique est présentée sur la figure 1. Le bois, matériau de construction pour l'arbre, a donc été repéré très tôt dans l'histoire de l'humanité comme un matériau de construction de premier choix pour les humains.

Au-delà de ses performances mécaniques, ce matériau possède d'autres spécificités liées à sa structure interne poreuse. Il est en effet léger car constitué d'un grand nombre de canaux vides qui ont véhiculé la sève brute des racines vers le houppier. Le bois mis en œuvre n'est donc finalement composé que de cellules végétales mortes (pour la majorité de ses tissus), d'air et d'eau en contact avec les parois cellulaires. La densité macroscopique du bois s'échelonne de 0,2 à 1,4, toutes essences confondues, selon leur taux de porosité, majoritairement due aux vaisseaux chez les feuillus et aux trachéides chez les conifères (sachant que la densité des parois cellulaires constitutives du bois est de 1,53 quelle que soit l'essence). Ainsi le bois, en coupe transversale, a une structure visuelle de nid d'abeille chez les conifères, enrichi avec des renforts en fibres chez les feuillus. Ceux-ci sont plus récents dans l'histoire de l'évolution végétale (figure 2). La structure

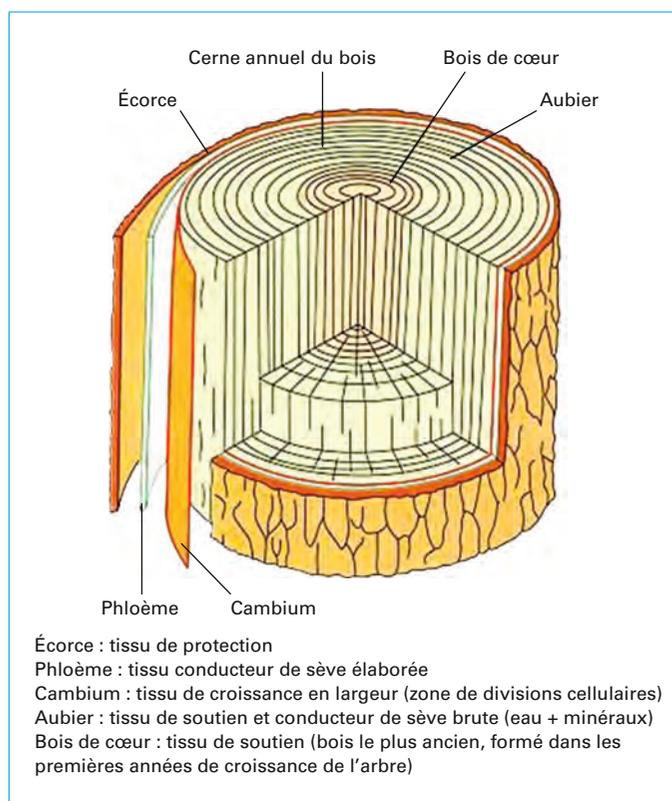


Figure 1 – Structure macroscopique d'un arbre : détail des différentes parties du tronc (Grenoble INP-Pagora)

microscopique d'un bois est propre à chaque essence. Elle permet de reconnaître visuellement les bois.

À l'échelle nanoscopique cette fois, le bois se présente comme un agrégat de microfibrilles de cellulose liées entre elles par d'autres polysaccharides, les hémicelluloses. Ces structures fibrilleuses parfaitement ordonnées expliquent la résistance mécanique du matériau sur le plan macroscopique car elles sont maintenues dans une matrice de macromolécules polyphénoliques, les lignines. Si cette

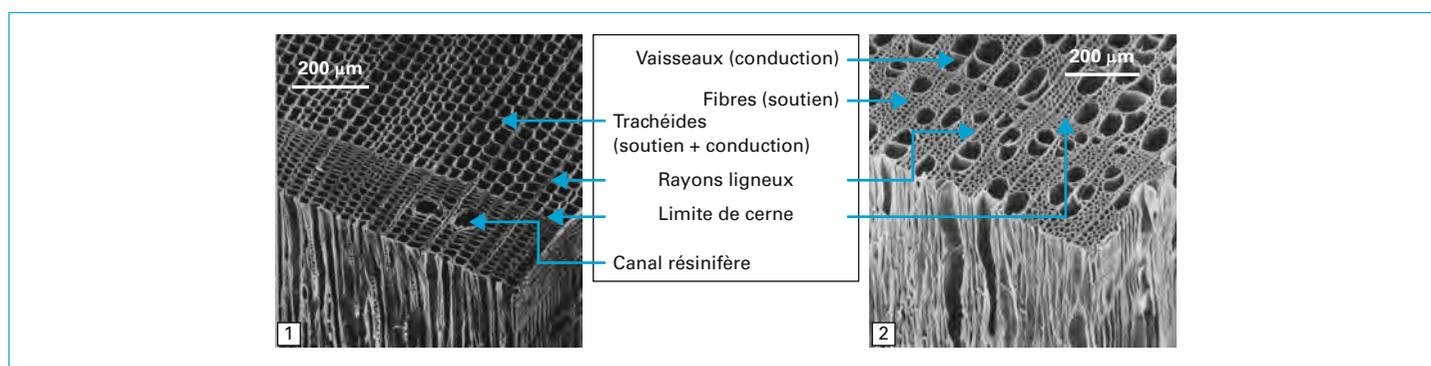


Figure 2 – Structure microscopique d'un bois résineux (1) et feuillu (2) vue au microscope électronique à balayage (adapté de Grenoble INP-Pagora – Raphaël Passas)

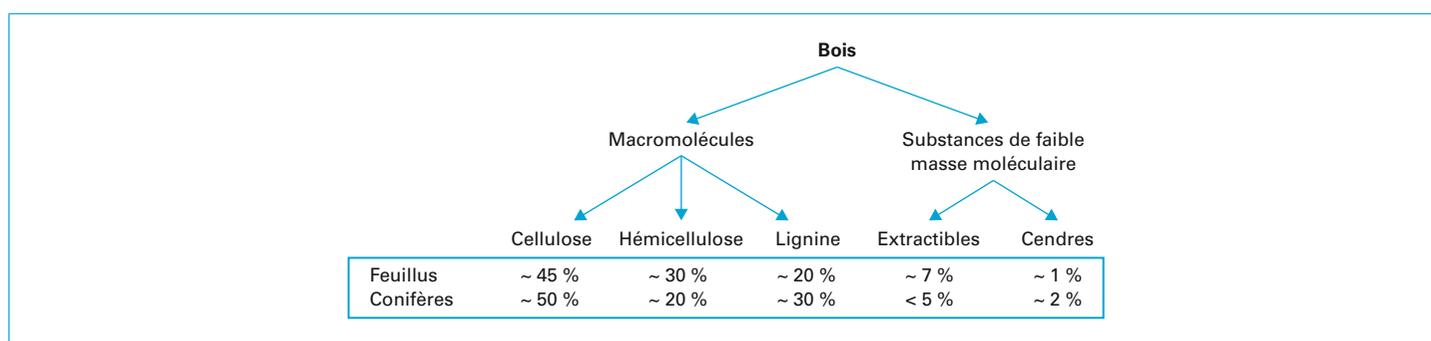


Figure 3 – Composition chimique du bois. Chiffres issus de [BE 8 535]

organisation chimique représente environ 95 % de la composition chimique du bois, le solde regroupe des cendres et des extractibles (que l'on extrait par des solvants – figure 3) qui confèrent au bois des propriétés spécifiques en terme de protection contre les agents de dégradation du bois (tels que les champignons, insectes xylophages, etc.) et sa couleur. Ces extractibles sont également des sources de valorisations en chimie. La figure 3 illustre la répartition des composés du bois.

Du fait de son origine naturelle, ce matériau présente une très forte variabilité à la fois intraspécifique (au sein d'une essence) et interspécifique (entre essences) [C 925]. Au cours de l'ère industrielle contemporaine, soit à partir de la fin du XIX^e siècle, cette variabilité a conduit dans un premier temps à concevoir de nombreux matériaux d'ingénierie bois pour conserver ses propriétés moyennes tout en réduisant radicalement leur variabilité. Pour cela, les ingénieurs et scientifiques ont développé des techniques de lamellation ou d'agglomération de particules donnant naissance à toute une gamme d'EWP (*Engineering Wood Products*) comme d'une part les lamellé-collés ou CLT (*Cross Laminated Timber*), les contreplaqués ou LVL (*Laminated Veneer Lumber*) et d'autre part les panneaux de particules OSB (*Oriented Strand Board*), PSL (*Parallel Strand Lumber*) et MDF (*Medium Density Fibreboard*). Dans un second temps, le développement de technologies permettant une qualification mécanique efficace et non destructive du bois massif à l'aide d'analyses vibratoires, ultrasons, inspections par des ondes électromagnétiques, etc. facilite des prédictions précises des performances mécaniques du bois massif faiblement transformé (bois ronds, avivés, placages). Ces technologies ont accompagné la valorisation de l'immense biodiversité du bois dans la construction, l'emballage et l'ameublement : « Le bon bois au bon endroit ». Cette démarche donne une nouvelle dynamique à l'usage du bois massif non imprégné d'adhésifs ou de produits de protection susceptibles de polluer l'environnement

en général et l'habitat en particulier, ramenant ainsi l'humain dans sa canopée originelle.

1.2 Évolution socio-historique de la relation humains-forêts

Les relations qui existent entre l'état réel de la forêt et les valeurs, préjugés et comportements des sociétés à son égard sont complexes et spécifiques à chaque culture. Cette complexité s'explique par une relation humains-forêts qui s'appuie sur une utilisation économique, historique et des fondements culturels, trois facteurs qui ont évolué avec le temps [1].

Dans les sociétés traditionnelles comme à Futuna en Océanie, la forêt est considérée pour ses valeurs patrimoniale et sanctuaire et dans sa dimension symbolique et fonctionnelle de la vie. La forêt est à la fois un héritage commun à la collectivité qu'il faut préserver pour les générations actuelles et futures et un lieu producteur de fertilité pour les plantations, dispensateur de fraîcheur et donc générateur du bien-être de l'homme. Chez les Futuniens, la forêt est le « lieu fondateur de la vitalité du pays » qui permet à l'homme d'envisager l'avenir avec confiance et sérénité [2]. Il n'est pas concevable de sacrifier l'exploitation de ses usages multiples aux convoitises humaines du moment.

Pour les sociétés européennes, les forêts ont longtemps été un lieu de haut potentiel économique d'utilité sociale. Les utilisations de la forêt sont nombreuses pour couvrir les besoins du monde rural (bois de chauffage, apiculture, fourrage, sylvo-pastoralisme, etc.), mais également de l'industrie (énergie et matières premières des industries du charbon, de la construction, de l'industrie minière, des salines, de la métallurgie, etc.) et de l'artisanat (potasse pour la verrerie, savonnerie, blanchisserie, etc.). Au XIX^e siècle, l'ère industrielle consacre la forêt comme une partie de l'environ-



Figure 4 – Arbres implantés dans une zone urbaine [7]

nement perçue avant tout pour sa valeur productive (figure 4). Parallèlement à cette exploitation, l'urbanisation grandissante éloigne les humains des forêts et provoque par voie de conséquence la perte, au fil des générations, des connaissances et des interactions entre les humains et la nature [3].

Ressource jugée jusqu'alors « inépuisable », le matériau bois évolue dans les années 70 vers le statut de matériau « renouvelable » dans la perspective d'un développement économique envisagé comme « durable » pour lutter contre les changements climatiques. Le cycle de production de la forêt et son utilisation peuvent en effet selon leur mode de gestion être neutres du point de vue des émissions de CO₂.

Dans les années 90, une étude rend compte d'une signification nouvelle sur le plan symbolique donnée par les populations citadines à la forêt [4], celle d'un espace jugé attirant car représentatif d'un état proche de la nature et qui se distingue donc des aires habitées et des surfaces intensivement exploitées par l'agriculture. Cette nouvelle perception est née plus tôt au Canada, entre les deux guerres quand, à contre-courant de la pensée de la domination de l'homme sur la nature et les populations natives, un courant hygiéniste inspiré de poètes et de peintres romantiques redécouvre la forêt et les Indiens qui la peuplent comme une source d'inspiration. Ce mouvement de redécouverte cherche à combler un manque ressenti en ville où le rythme de vie, devenu trépidant et accaparé par un travail sur lequel l'individu n'a plus de prise, suscite stress et angoisses : vivre plus proche de la nature, retrouver le contact avec la forêt par des pratiques de promenade doit pouvoir régénérer la santé mentale et physique des individus [5].

Aujourd'hui, la dimension symbolique attribuée à la forêt reste toujours subordonnée à sa dimension économique mais elle s'est enrichie d'une dimension de « naturalité » chez les populations devenues majoritairement citadines. Dans leur construction mentale, la forêt qui représente la nature fait référence à une nature « sauvage », le lieu d'un ailleurs non urbain, d'une « anti-société » libre des contraintes que la vie en ville représente. La perception de la forêt comme lieu d'origine où les forces naturelles s'expriment librement devient également pour l'homme le lieu d'expression de ses valeurs émotionnelles, spirituelles et mystiques à travers des pratiques méditatives, réflexives et récréatives qui régénèrent la santé nerveuse et physique de l'individu libéré du stress journalier [6]. Conscients de ces besoins, de nombreux pays mettent en place des actions pour rapprocher les citadins de l'arbre et de la forêt : parcs urbains, *Trees Outside Forests* (figure 4) sont destinés à créer un « poumon vert » dans des zones fortement industrialisées et apporter de meilleures conditions de vie aux habitants, des zones de détente, de promenade, et pour quitter le

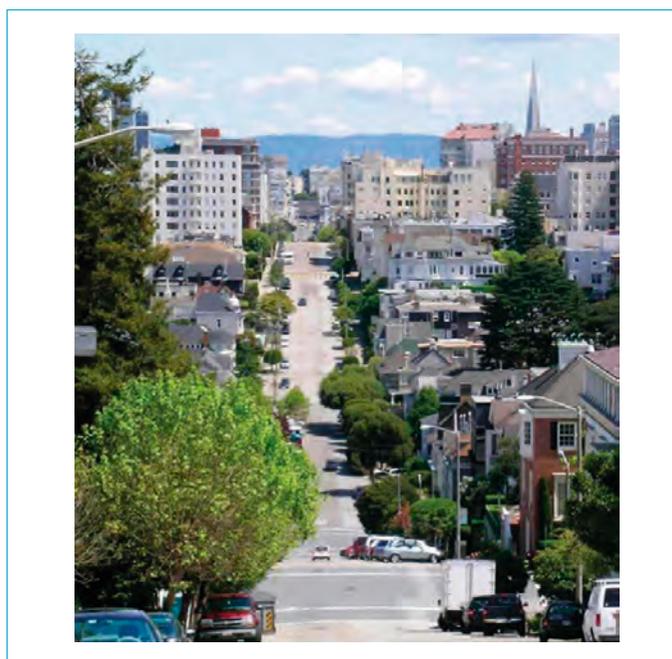


Figure 5 – Évolution de l'usage des forêts au cours des siècles : à gauche, travail en forêt des bûcherons au siècle passé [8] et à droite, bienfaits du shinrin-yoku lors de promenade en forêt (S. Glomeau)

milieu stressant du quotidien. Dans cet élan, le mouvement *Healty Parks Healthy People* naît en Australie en 2010.

Il est toutefois surprenant que cette référence à la naturalité de la forêt demeure encore dans l'inconscient collectif des populations européennes car les forêts d'Europe sont pour la plupart le fruit d'une exploitation humaine. Pour concrétiser les besoins inhérents des populations et du système économique rural, les techniques de gestion et d'exploitation forestière ont profondément modifié la structure et les peuplements, bouleversant les paysages naturels forestiers. Mais l'aménagement de la forêt par l'homme est « un modèle de genre » pour la mise en valeur d'autres ressources naturelles puisque la gestion forestière a permis à la fois l'augmentation des rendements productifs, la régénération de la ressource et la préservation de la notion de « nature ». Preuve en est, l'utilisation nouvelle que l'homme contemporain demande à la forêt : lui faire du bien (figure 5).

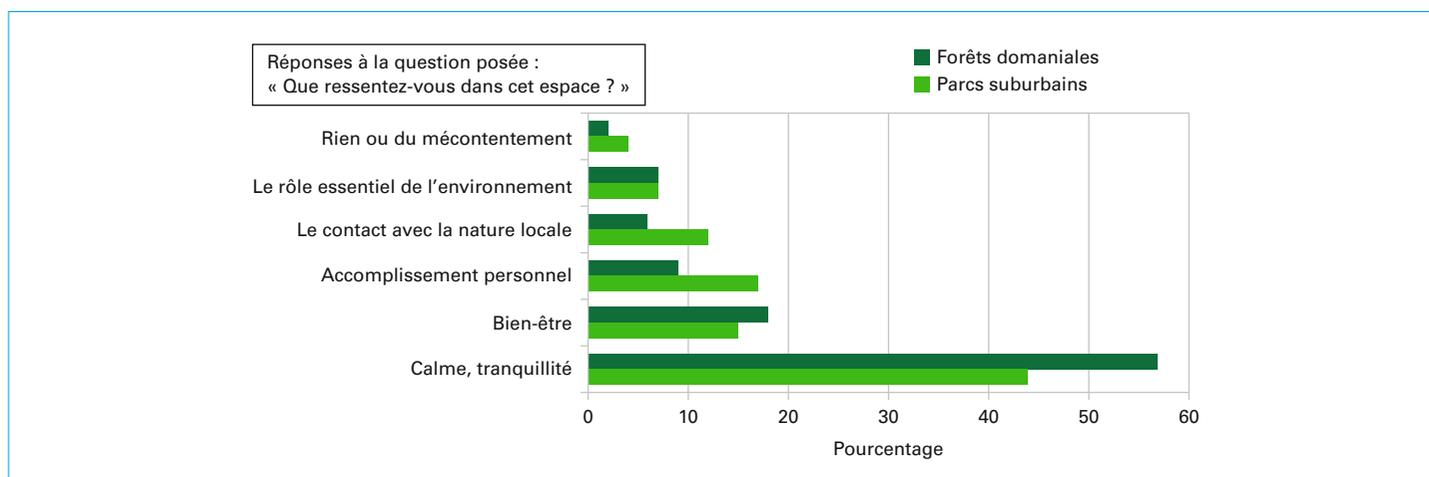


Figure 6 – Ressenti des usagers des forêts domaniales et des parcs suburbains d'Alençon, de Blois et du Mans [10]

1.3 Bains de forêt et sylvothérapie, des pratiques qui se développent

Plus les modes de vie génèrent des environnements stressants, plus les individus demandent à la forêt qu'elle relève d'une utilisation de loisirs (balades), d'une forme de reconnexion à la nature de manière ponctuelle et choisie (recherche de calme, de tranquillité, etc.) [6] [9]. Pour une minorité de personnes, la forêt représente un environnement néfaste pour la santé (nuisibles, pollens, allergies, etc.). Mais pour la grande majorité des individus interrogés dans plusieurs études [4] [10], la contribution des forêts – et plus généralement de la nature – au bien-être est certaine (figure 6).

À la fin du XX^e siècle, une pratique émerge de cette demande et se démocratise : la sylvothérapie, ou « bains de forêt ». Elle consiste à se soigner au contact des arbres et des forêts et repose sur le principe de l'éveil des sens en forêt : la contemplation (auditive, visuelle ou olfactive) des arbres dans le vent relaxe, réduit les états dépressifs et améliore l'estime de soi, la concentration ou la qualité du sommeil [11]. L'étude menée par Sanchez-Badini et Innes [6] dresse un état des lieux des relations entre les forêts et la santé humaine dans différents pays. En Scandinavie, certains moments de l'école ont lieu en plein air car le contact arbres-enfant pallie aux troubles de l'attention. Aux États-Unis, l'accès aux forêts est reconnu comme bénéfique pour la santé notamment dans la lutte contre l'obésité. En Europe, les questionnaires des forêts publiques prennent de plus en plus en compte l'intérêt des forêts pour la santé. En France, l'Office national des forêts (ONF), créé en 1966, compte parmi ses missions l'aménagement des forêts pour permettre l'accueil du public. L'effet positif des bains de forêt reste davantage considéré comme préventif car il relève de temps extraits d'un milieu sédentaire et soumis au stress. Ainsi, pour rester en bonne santé, il est bon de respirer un air pur, ombragé, de prendre un moment de calme, de pratiquer une activité physique régulière, etc. [10].

Au Japon pourtant, la discipline appelée *Shinrin-yoku* (équivalent aux bains de forêt) est reconnue au niveau sociétal et dans le domaine de la santé publique pour ses effets bénéfiques [11] [12]. Tout comme la phytothérapie, discipline qui consiste à recourir aux principes actifs des plantes dans un but thérapeutique, la sylvothérapie rend accessibles aux promeneurs les substances volatiles odorantes des différentes parties des arbres (écorces, aubier, feuilles, fleurs, bourgeons, etc.). Ces substances émises par les arbres sont des extractibles (aussi appelées « phytoncides ») que l'arbre utilise lui-même pour communiquer ou se défendre vis-à-vis de ses agresseurs grâce à leurs propriétés insecticides, antimicrobiennes et antifongiques. S'ils ont des effets néfastes sur les

insectes et micro-organismes, ces composés peuvent avoir des effets bénéfiques sur la santé humaine lorsqu'ils sont respirés par les promeneurs [9] [13]. Des forêts dédiées à la sylvothérapie ont été clairement identifiées au Japon comme des « bases thérapeutiques » : elles font l'objet de mesures de la qualité de l'air et l'effet positif sur la santé des patients y a été prouvé (effet relaxant principalement, dépendant des essences de bois présentes) [4].

Les substances volatiles, nombreuses et variées, émises par les arbres et utilisées en sylvothérapie sont aussi responsables des propriétés du bois une fois coupé et mis en œuvre. Ainsi, l'inhalation d'air dans des environnements intérieurs contenant des éléments en cèdre du Japon ou en différentes espèces de cyprès (émetteurs de COV) montre des effets physiologiques similaires à ceux constatés lors d'exposition des individus en forêt en présence de ces mêmes essences de bois (modification de l'activité du système nerveux autonome, réduction de l'anxiété) [14] [15].

1.4 Des molécules issues du bois à effet pharmaceutique

Les extractibles du bois, substances actives en pharmacologie

Comme leur nom l'indique, les extractibles du bois sont toutes les substances présentes dans le bois et pouvant en être extraites par des solvants. On les classe en plusieurs catégories : composés terpéniques (oléorésines, latex, phytostérols, bétuline, linalol, sesquiterpènes...), composés phénoliques (flavonoïdes, tanins, polyphénols, aspirine...), polysaccharides (gommes, saponines...), huiles, cires, alcaloïdes, sucres simples, etc. Dans le cadre de la sylvothérapie, le promeneur profite de la libération naturelle des extractibles en forêt et les respire. Mais la plupart du temps, un solvant permet leur extraction. La technique d'extraction mise en œuvre est adaptée à la molécule d'intérêt. Il peut s'agir de l'eau pour extraire les molécules hydrosolubles (infusion, décoction...), d'huile pour les molécules solubles dans l'huile, d'alcool, de vapeur (distillation), de CO₂ supercritique, etc. Ce sont ces molécules émises par les arbres ou extraites du bois qui sont ensuite utilisées en tant que principes actifs de certains médicaments ou compléments alimentaires en pharmacologie.

Chaque essence de bois possède ses spécificités en termes de composition en extractibles. Lorsqu'elles sont extraites, les molécules d'intérêt sont valorisées par la pharmacologie à destination

de traitements pour la santé humaine et animale. Des projets de recherche en cours valorisent l'utilisation de substances issues du bois dans le secteur de la santé ; voici quelques propriétés observées sur les extractibles :

- La thèse de F. Da Silva par exemple [16] traite des huiles essentielles utilisées dans les infections ORL car les feuilles d'*Eucalyptus globulus* riches en α -pinène et en 1,8-cinéole ont un rôle d'expectorant et fluidifiant des sécrétions bronchiques.
- L'écorce de cannelle, riche en aldéhyde cinnamique (63,1-75,7 %) et en eugénol (2-13,3 %) est un puissant antibactérien et antifongique [17].
- La réduction du niveau de noradrénaline (une hormone du stress), la suppression de la prolifération de protéines cancéreuses ou encore l'augmentation de la prolifération cellulaire du follicule pileux sont des effets observés avec l'huile essentielle provenant du cyprès hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) [13].
- Les tannins, de la famille des polyphénols, ont des propriétés antioxydantes et astringentes : ils proviennent de l'écorce et du tronc des chênes et des châtaigniers. Les entreprises KINGTREE en France et SILVATEAM en Italie extraient les tannins de bois de châtaignier afin de les intégrer comme compléments alimentaires dans l'alimentation animale.
- Dans le même esprit, un projet de recherche mené par l'entreprise LEUKE en France a pour objectif d'améliorer la satiété des animaux en intégrant de la poudre de peuplier dans leur alimentation.
- Un projet en cours, « Le Bois Santé » [18] a pour objectif de valoriser des molécules issues du bois en les intégrant dans la composition de produits pharmaceutiques ciblant les maladies respiratoires chroniques.
- Enfin, la lignine, qui n'est pas un extractible mais un des principaux constituants du bois (avec la cellulose et l'hémicellulose) pourrait être utilisée comme base pour former des nanoparticules entrant dans la composition de médicaments, comme l'illustre une étude réalisée en collaboration entre l'Inde, l'Iran, la Finlande et la Grèce [19].

À retenir

- Le matériau bois issu d'un organisme vivant, l'arbre, possède naturellement des propriétés mécaniques et physico-chimiques exploitées industriellement dans l'ingénierie.
- Les fondements culturels de la relation de l'humain à la forêt évoluent en Europe et en Amérique du Nord du statut de ressource jugée inépuisable au besoin de s'y ressourcer.
- Les bienfaits de la forêt sur l'organisme, formalisés sous le nom de « sylvothérapie », sont reconnus dans certaines sociétés de façon institutionnelle.
- La pharmacologie exploite les propriétés chimiques de certaines essences de bois d'intérêt pour entrer dans la composition de médicaments, compléments alimentaires, etc.

2. Le bois, un matériau associé au confort dans les espaces intérieurs

2.1 Le bois massif, le choix du naturel

Lors du développement d'un nouveau produit, les industriels de la filière bois étudient son attractivité auprès des consommateurs afin de garantir sa réussite commerciale. Les préférences des utilisateurs varient en fonction des cultures et des époques. Elles sont basées sur de multiples facteurs parmi lesquels :

- le coût ;

- l'empreinte environnementale, la provenance ;
- l'image du produit ;
- la facilité d'entretien ou de pose ;
- la solidité et la durabilité ;
- la perception sensorielle du produit par l'utilisateur.

Plusieurs travaux de recherche ont été réalisés sur ce dernier point : ils comparent les perceptions sensorielles des individus se trouvant en présence de bois massif, de panneaux à base de bois, de parquets stratifiés, huilés, vernis ou encore de panneaux composites bois/plastique. Les résultats de ces études montrent que d'un point de vue sensoriel, le bois massif se place en première place pour son côté naturel et non transformé qui dégage visuellement et au toucher un sentiment de bien-être.

Les motifs uniques du bois perçus visuellement et les sensations au toucher sont les premiers indicateurs de la naturalité du matériau chez les individus interrogés [20] [21] [22]. Les produits transformés à base de bois tels que les panneaux OSB, MDF ou les parquets stratifiés ne produisent pas le même ressenti. Ils sont considérés comme moins naturels puisqu'ils sont fabriqués et mis en forme de manière uniformisée et industrielle. L'étude menée par Jonsson [20] se concentre sur la manière dont les participantes et participants perçoivent, distinguent et choisissent entre trois produits qui leur sont proposés : bois massif, panneaux de bois et composites bois/plastique. Les échantillons de bois massifs ont été les plus appréciés en comparaison des deux autres produits. Il leur est aussi demandé de préciser quel produit est différent des deux autres et d'en expliquer les raisons avec leurs propres mots et concepts. Des adjectifs tels que « naturel » « doux » « lourd » « agréable » « vivant » ont été utilisés pour décrire le bois massif. L'étude de Berger [23] s'est concentrée sur le ressenti haptique des usagers. Des consommateurs autrichiens ont été invités à toucher à l'aveugle différents revêtements de sol en bois (parquet huilé, parquet laqué et sol stratifié), pieds et mains nus. La majorité des consommateurs (76 % pour les tests avec les pieds, 72 % pour les tests avec les mains) ont préféré les revêtements de sols huilés. Ce type de sol évoque une texture naturelle, il est qualifié de « chaud », « rugueux » et « doux ». Une autre étude menée dans cinq pays européens (Autriche, Finlande, France, Norvège et Suède) [21] confirme ces résultats et les enrichit de nouveaux critères de perception : la chaleur, le bruit et l'odeur sont ajoutés par les participants pour décrire la perception de confort qu'ils ressentent de ce matériau. Ces critères de perception résultent de propriétés physiques intrinsèques au matériau bois (comme la densité, la dureté, le grain, la conductivité thermique, la teneur en eau, etc.) qui participent à créer un environnement de confort pour l'habitant (cf. § 2.3).

Il est toutefois important de noter que les travaux de recherche qui étudient la perception du bois ont en commun d'essayer d'évaluer en termes quantitatifs et qualitatifs l'appréciation du bois par les usagers de façon à pouvoir la comparer à la perception d'autres matériaux. La perception résulte d'émotions et de sensations ressenties qui sont le fruit de données sensorielles mais qui résultent aussi de composantes socio-culturelles, liées à l'histoire de l'individu et à son expérience. La perception est une manière unique de porter un jugement d'appréciation subjective sur le matériau bois [24] [25].

La biophilie

Une des explications de la perception positive du matériau bois repose sur « l'hypothèse de la biophilie » (ou « sympathie pour le vivant »). Selon Eric Fromm, psychanalyste américain des années 1960, les humains disposent d'une « affinité » innée à interagir avec le monde naturel qui tire son origine sur le plan émotionnel mais également génétique, comme le découvre Edward O. Wilson, biologiste américain dans les années 1980. Ainsi, les humains tendent à rechercher des solutions pour maintenir dans leur espace de vie un contact avec la nature, quels que soient les époques et les milieux, et a fortiori dans les espaces intérieurs et urbains modernes dans lesquels ils passent de plus en plus de temps.

La biophilie (Suite)

En 2008, une société de « planning stratégique environnemental » américaine, Terrapin Bright Green LLC [26], recommande trois principes de mise en œuvre pour aboutir à une conception biophilique de l'habitat. Pour prendre en compte la dépendance de l'humain à l'égard de la nature, l'espace bâti doit : intégrer des éléments naturels (chant d'oiseaux, lumière, présence d'eau, etc.) ; évoquer la nature par analogie avec des formes, structures ou couleurs naturelles ; produire des espaces qui reproduisent les fonctions qu'assurent les lieux naturels comme se cacher, se réfugier, surveiller, etc.

Une attention particulière doit être portée au fait que la biophilie ne consiste pas à recourir forcément à l'utilisation de matériaux biosourcés pour parvenir à reproduire un environnement naturel. Mais force est de constater que le bois porte en lui-même l'évocation du milieu naturel dont il est issu et qu'il mobilise avant tout sur le plan sensoriel comme en témoigne la première enquête présentée au § 2.1. On comprend dès lors pourquoi l'architecte américain Frank Lloyd Wright n'hésite pas, par exemple, à utiliser le grain du bois en tant qu'élément décoratif dans des usages intérieurs pour susciter le lien avec la nature. Ou encore pourquoi des matériaux composites imitent le veinage du bois et reproduisent visuellement les nœuds du bois (conséquence de l'insertion des branches dans le tronc) pour être crédités d'une origine naturelle.

2.2 Prise en compte des atouts visuels du bois dans l'habitat

À partir de la fin du XIX^e siècle, la place de la lumière est très importante dans l'architecture moderniste puisqu'elle est associée à une hygiène de vie. L'un des représentants de ce mouvement architectural est Alvar Aalto, architecte finlandais. Il va exceller dans l'utilisation du bois et des jeux de lumière dans l'habitat, favorisant ainsi le bien-être et le confort des lieux qu'il conçoit (figure 7).

Car sur le plan optique, le bois possède des propriétés d'absorption et de réflexion de la lumière dans le visible qui influencent la brillance, les couleurs et le contraste lumineux [27] [28] : la lumière réfléchie semble pénétrer dans le bois et s'en échapper, expliquant le « lustre » du bois [29]. Ces mêmes propriétés sont exploitées dans les maisons japonaises pour créer des jeux d'ombre et de lumière recherchés pour l'expérience sensible qu'ils procurent, un des fondements de la culture japonaise, relatée par Junichirō Tanizaki dans *L'Eloge de l'ombre* [30]. Des études scientifiques récentes quantifient l'effet des stimuli visuels du bois à l'intérieur d'une pièce [31]. Des différences dans la proportion de surfaces couvertes de bois provoquent des réponses physiologiques (au niveau du pouls, de la pression sanguine et de l'activité cérébrale) significativement différentes, notamment au niveau de l'activité nerveuse

autonome des individus [32]. Dans cette étude, le rapport entre la surface couverte de matériaux bois et la surface totale du plafond, des murs et du sol varie entre 0, 45 et 90 %. Lorsque la pièce comporte 45 % de couverture bois, les chercheurs observent une diminution de la pression sanguine diastolique et une augmentation du pouls et les usagers attribuent de manière subjective à cette configuration la meilleure qualité en matière de confort. Une autre étude compare le comportement d'individus convalescents dans deux environnements hospitaliers : une chambre conventionnelle peinte en blanc et une chambre revêtue de panneaux en bois [33]. Divers paramètres physiologiques décrivant les états de stress (rythme cardiaque, pression artérielle, taux d'hormones de stress) sont réduits dans la deuxième modalité. La présence visuelle du bois implique un état de santé mental plus relaxé.

Modernisme

Mouvement architectural qui vise à repenser le logement, notamment dans une logique sociale, et à se détacher de l'architecture classique.

2.3 Propriétés physiques du bois liées au confort acoustique

Le contrôle du son qui pénètre dans la structure depuis l'extérieur ou qui est transmis d'une pièce à l'autre est un enjeu primordial lors de la conception des bâtiments résidentiels et de bureaux pour assurer le confort de leurs usagers. Les bruits créent des vibrations sur les surfaces structurelles qu'ils touchent et le défi de la conception consiste à empêcher ces vibrations d'atteindre les murs. La construction en bois peut atteindre des niveaux d'insonorisation égaux ou supérieurs à ceux d'une construction plus massive comme le béton, à condition de prendre en compte l'isolation des bruits aériens et des bruits d'impact. L'isolation phonique dépend de la résistance à la transmission des bruits dans le matériau que l'on appelle la « réponse sonore » du matériau. Trois paramètres physiques régissent la réponse sonore émise par un matériau lorsqu'il est frappé d'une onde et qualifie le confort acoustique : la fréquence du son à laquelle le matériau vibre (hauteur du son), l'amortissement du son ou perte du son dans le matériau qui est régi par le coefficient d'amortissement η et l'absorption acoustique (rapport entre le bruit absorbé et le bruit entrant). Ces paramètres dépendent des propriétés anatomiques du bois, en particulier de sa structure poreuse (disposition et taille des pores) et de ses propriétés mécaniques, notamment de son module d'élasticité E et de sa densité ρ , des propriétés qui varient selon les matériaux (figure 8) [34]. Le coefficient d'amortissement est inversement proportionnel à E , la hauteur du son proportionnelle à sa racine carrée.

$$\text{Hauteur du son} = \sqrt{E/\rho}$$

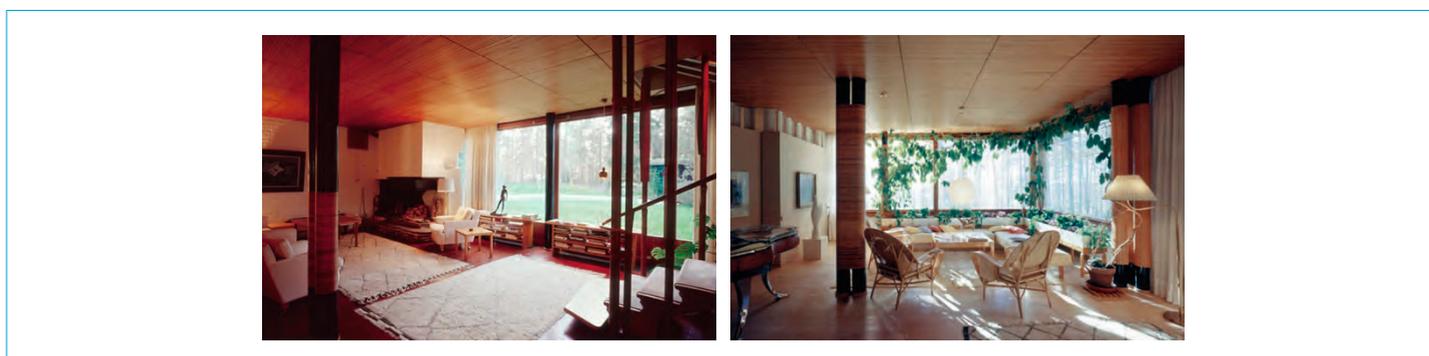


Figure 7 – Villa Mairea, Alvar Aalto. Les jeux de lumière (non filtrée à gauche, filtrée à droite par des lattes de bois aux fenêtres) donnent des aspects différents aux pièces (site du musée Alvar Aalto de Jyväskylä – <https://www.alvaraalto.fi/en/architecture/villa-mairea/#>)

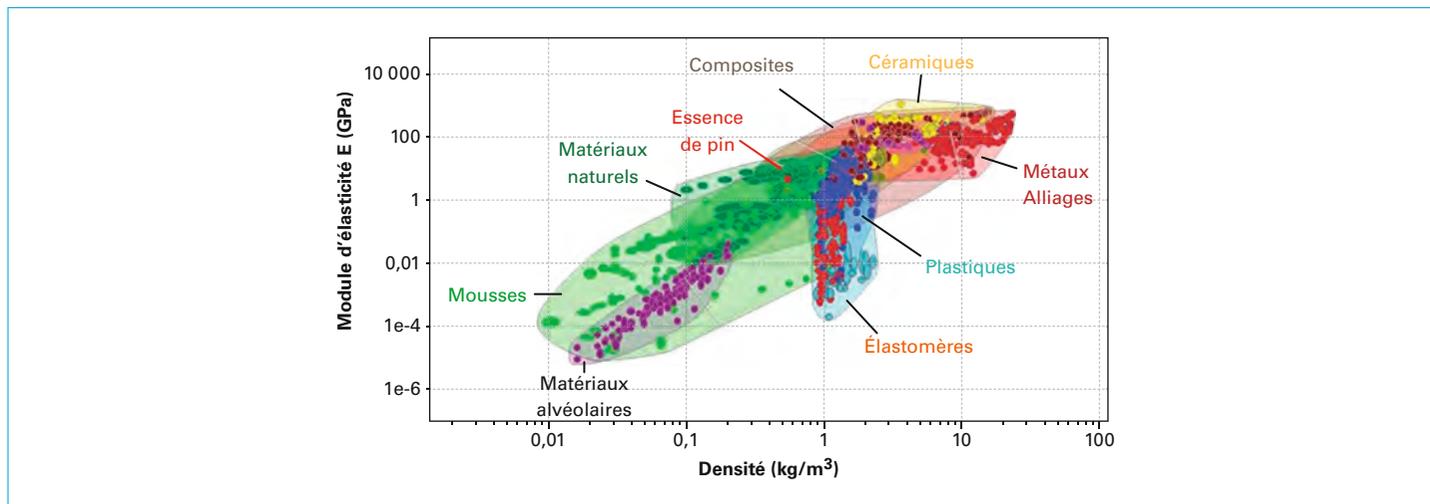


Figure 8 – Module d'élasticité (GPa) en fonction de la densité (kg/m³) pour différents matériaux (ANSYS Granta EduPack)

$$\text{Amortissement } \eta = \frac{4 \times 10^{-2}}{E}$$

avec E module d'élasticité en GPa, ρ densité du matériau

Un matériau qui amortit fortement produit un son terne, sourd et étouffé tandis qu'un matériau qui amortit faiblement produit un son plus clair, plus doux et plus intense. Les cloches sont fabriquées en cuivre pour leur luminosité acoustique (comme les verres) alors que les propriétés acoustiques du bois régissent un équilibre entre absorption, réflexion et amortissement du son qui convient le mieux aux espaces comme les auditoriums et les salles de concert. L'équilibre auquel parvient le matériau bois grâce à ses propriétés vibratoires procure à l'ouïe des espaces sonores agréables [29].

2.4 Confort au toucher, le rôle de l'effusivité thermique ?

La réponse thermique d'un matériau dépend de sa diffusivité thermique qui est une mesure de la rapidité avec laquelle un matériau peut absorber la chaleur de son environnement. Elle est définie par le rapport entre la conductivité thermique et le produit de la densité et de la capacité thermique. Dans le cas du bois, ces propriétés sont influencées par la densité de l'essence, sa teneur en eau, sa teneur en extractibles, la direction des grains, les irrégularités structurelles telles que les fentes et les nœuds, l'angle des fibrilles et la température. En raison de la faible conductivité thermique, de la densité et de la capacité thermique modérées du bois, la diffusivité thermique du bois est beaucoup plus faible que celle d'autres matériaux structurels tels que le métal, la brique, l'acier et la pierre. La valeur moyenne de diffusivité du bois est de $1,6 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, alors qu'elle est de $1 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ pour l'acier et de $1 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ pour la pierre et la laine minérale.

Si les propriétés thermiques du bois en font un candidat intéressant pour l'isolation des murs ou des combles dans la construction, elles sont aussi responsables de la sensation du bois qui n'est ni extrêmement chaud ou froid au toucher, contrairement à d'autres matériaux. Cette sensation est régie par un paramètre, l'effusivité thermique, responsable de la sensation thermique ressentie lorsqu'il y a un contact physique (en particulier dans les chambres et salles de bains où les gens sont souvent pieds nus). Plus un matériau est effusif, plus il va absorber rapidement la chaleur en profondeur sans pour autant se réchauffer et donner une sensation plus froide au toucher. La faible effusivité du bois s'explique par sa faible conductivité. Au-delà de cette sen-

sation tactile, des travaux de recherche ont été menés sur l'observation de paramètres physiologiques chez des individus en contact physique avec le bois. Les résultats de ces études sont assez homogènes et vont dans le sens de la réduction de certains marqueurs d'états de stress physiologique. Toucher des planches de cyprès du Japon avec la paume de la main calme l'activité du cortex préfrontal et augmente l'activité nerveuse parasympathique, ce qui entraîne une relaxation physiologique [34]. De faibles variations de la pression artérielle systolique et de la fréquence cardiaque sont observées lors du toucher de planches de cèdre et de cyprès du Japon ; à l'inverse, de grandes variations sont mesurées lors du toucher de plaques d'acier ou de tissu [35]. De manière concomitante, la pression artérielle des individus ne change pas lors du toucher d'essences de chêne, cèdre du Japon et cyprès du Japon à l'aveugle, que le bois soit froid ou à température ambiante [36]. À l'inverse, d'autres matériaux (plastique, aluminium) induisent une augmentation de la pression artérielle qui dépend toutefois également de la température. Cependant, la représentativité et donc la généralisation de ces résultats à des situations issues de la vie quotidienne et sur le long terme semblent limitées de par le faible nombre de participants (10 à 20 personnes) dans chaque étude, qui peine à prendre en compte la variabilité de la population, et le temps d'exposition aux environnements testés dans les études relativement court (entre 60 secondes et 75 minutes) [31]. En outre, aucune des études citées ne fait un lien entre confort au toucher et effusivité du matériau (E_f), une propriété facilement mise en évidence par les technologies d'imagerie infrarouge (figure 9) et qui diffère grandement d'un matériau à un autre.

Le confort thermique de l'habitat

Il est lié aux échanges de chaleur sensible à la surface cutanée de l'occupant (qui ont lieu par convection, rayonnement et conduction) avec l'air intérieur ambiant. Ces échanges résultent d'un grand nombre de paramètres (humidité de l'air, vitesse de l'air, etc.) dont certains sont relatifs aux propriétés thermophysiques du matériau des murs (température radiative, température de surface, gradient de température, conductivité thermique du matériau, etc.). Les études de caractérisation du confort global ressenti par l'utilisateur dans une pièce ne permettent pas d'isoler la contribution du matériau bois au vu de l'ensemble des paramètres mis en jeu.

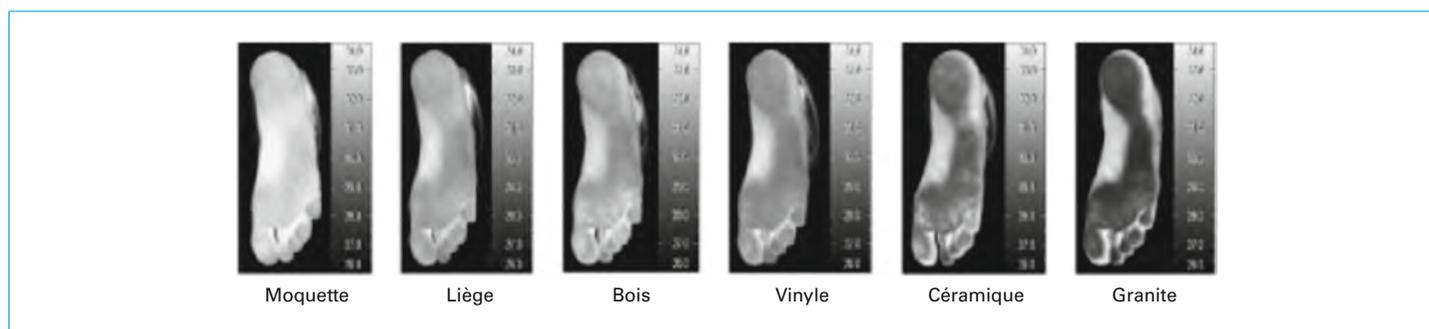


Figure 9 – Thermographie infrarouge du pied en contact avec divers matériaux après 1 minute [37]

$$\text{Effusivité } Ef = \sqrt{\lambda \rho c}$$

$$\text{Diffusivité } \alpha = \frac{\lambda}{\rho c}$$

avec λ conductivité thermique
 ρ densité,
 c capacité thermique du matériau.

À retenir

- Ce chapitre tisse un lien entre la perception du matériau bois par les consommateurs, les propriétés physiques de ce matériau et son utilisation en construction et en architecture.
- Le bois comporte des veines, des couleurs. Il dégage des molécules odorantes, constitue une matière aux propriétés acoustiques intéressantes et génère des sensations au toucher (température, rugosité...). Ces différents stimuli sensoriels induisent chez les individus des émotions et des effets sur des paramètres physiologiques (activité cérébrale, système nerveux, stress ou encore système immunitaire).
- Le bois génère des ambiances et des sensations qui sont le fruit de ses propriétés physiques qui produisent les conditions d'un environnement perçu comme confortable aux usagers.

3. Bois et impact sanitaire

3.1 Utilisation du bois dans le secteur de la santé et de l'alimentation

La présence bénéfique des arbres ou du matériau bois dans l'environnement visuel, tactile et auditif direct des individus a été présentée en détails dans les paragraphes précédents. Dans le domaine de la santé, le matériau bois est utilisé en pharmacologie pour les propriétés thérapeutiques de ses extractibles. Dans le domaine alimentaire, le bois est un matériau utilisé traditionnellement pour de nombreuses applications (ustensiles, emballages, plans de travail, agencement...). Malgré tout, le bois est généralement peu utilisé voire même discriminé dans le secteur hospitalier comme dans l'industrie agroalimentaire (deux secteurs pourtant clés de la santé humaine), car il inquiète au regard de son caractère poreux (considéré instinctivement comme difficile à nettoyer), de son comportement à l'eau (voir encadré) et comme milieu de culture d'agents infectieux (moisissures, microbes, bactéries, virus, etc.) qu'il pourrait constituer.

En 2019, une séance publique de l'Académie d'agriculture de France intitulée « Bois et aliments : amis ou ennemis ? » a eu lieu, abordant divers thèmes : tonnellerie, fromagerie, emballage de denrées alimentaires. Pour les œnologues, le contact du vin avec le bois est très important pour les échanges gazeux et hygroscopiques qu'il permet et les composés aromatiques qu'il apporte. Les apports du bois au contact du fromage sont reconnus par l'ensemble des professionnels concernés. C'est une dérogation qui leur permet de l'utiliser dans ce secteur alors qu'il est souvent interdit au contact des produits laitiers. Le règlement (CE) n° 1935/2004 du 27 octobre 2004 précise que les matériaux et objets mis ou destinés à être mis au contact des denrées alimentaires doivent être inertes vis-à-vis des denrées alimentaires. Le matériau bois constitue une exception à ce règlement car certaines transformations industrielles comme le vieillissement des alcools en fûts ou l'affinage des fromages nécessitent une libération intentionnelle des constituants naturels du bois dans les denrées alimentaires. Les échanges hygroscopiques entre le fromage et le bois sont primordiaux pour un bon affinage et le caractère inhibiteur du bois sur le développement de certains pathogènes est aussi apprécié.

Dans le secteur hospitalier, le groupe de travail Wood-Health de l'organisation FBIE (France Bois Industries Entreprises, représentant les organisations professionnelles de l'aval du secteur forêt-bois-ameublement) promeut l'utilisation du bois pour favoriser la santé des patients. Il fonde son argumentaire sur des résultats scientifiques relatifs à quatre axes de travail :

- Relation entre la perception du matériau bois et le bien-être des patients

De nombreux aspects positifs du matériau bois cités précédemment sont aussi valables dans les établissements de santé (maisons de retraite, maisons de santé, hôpitaux, etc.) améliorant l'humeur, l'anxiété, le temps de convalescence des patients, etc. (cf. section 2).

- Qualité de l'air

Le bois y joue un rôle important lorsqu'il est utilisé sans adjuvants chimiques car les substances volatiles qu'il peut dégager sont émises à des taux très faibles. Il a aussi la capacité de réguler l'humidité de l'air. Des règles strictes de mise en œuvre du matériau bois lors de la construction des établissements de santé doivent être respectées pour créer des conditions d'emploi adaptées (température/hygrométrie de l'air, ventilation) qui empêchent le développement de bactéries et surtout de moisissures (cf. encadré).

- Processus de nettoyage du bois

Contrairement aux idées reçues, les caractéristiques anatomiques du bois massif (porosité) et ses propriétés physiques ne constituent pas un frein à l'utilisation de ce matériau dans les domaines alimentaires ou hospitaliers. La porosité du bois lui conférerait même des propriétés bactériostatiques, selon certains auteurs et autrices. (cf. § 3.2).

- Propriétés bactéricides du bois

Les études s'accordent à dire que les propriétés antimicrobiennes du bois dépendent de plusieurs paramètres : les bactéries en question, l'essence de bois utilisée, sa teneur et composition en extractibles et lignine, la température et l'humidité du matériau. Aucune généralité ne peut donc être extrapolée (cf. § 3.3).

Le comportement du bois à l'eau : un aspect a priori négatif pour son usage en santé

Le bois est un matériau poreux qui a la capacité d'adsorber la vapeur d'eau de l'air ambiant dans les sites de sorption hydrophiles des régions non cristallines de la paroi cellulaire. Les molécules d'eau sont fortement attirées par les divers groupes chimiques hydrophiles, principalement les groupes hydroxyles (OH) de la cellulose et des hemicelluloses. Étant donné que les liaisons hydrogènes formées entre les molécules d'eau et les groupes OH des polymères de la paroi cellulaire sont toujours plus fortes que les liaisons hydrogènes des molécules d'eau liquide entre elles, les molécules d'eau se « lient » (on parle d'eau liée) préférentiellement au bois plutôt que de simplement se condenser et former un film liquide sur le substrat du bois (on parle d'eau libre lorsque la teneur en eau du bois est supérieure à 30 %). Cette attractivité du bois pour l'eau confère au matériau une capacité d'agir par effet tampon à réguler l'humidité relative de l'air puisqu'il peut, à la différence des surfaces de matériau non poreux, absorber ou relarguer la vapeur d'eau de l'air ambiant en fonction de l'humidité relative [39]. Cet effet tampon peut être valorisé positivement pour générer de la chaleur de sorption et améliorer le confort thermique des usagers de salles de bain par exemple [40]. Mais l'attractivité du bois pour l'eau est aussi source de développement de micro-organismes. Les moisissures, par exemple, se développent sur la plupart des surfaces si l'humidité relative à la surface est supérieure à une valeur critique (> 80 % pendant de courtes périodes) et si les températures de surface sont propices à leur développement (supérieures à 4 °C). Or les moisissures dans les bâtiments sont offensantes ; leurs spores peuvent causer des problèmes respiratoires (asthme, etc.) et des réactions allergiques chez les individus.

3.2 Le bois en contact alimentaire : le rôle des conditions d'hygiène

Le bois est-il bénéfique à la conservation des produits agroalimentaires lorsqu'il est utilisé pour les emballer ? Dans le secteur de l'emballage léger, le bois est effectivement utilisé en contact alimentaire car il est en mesure de stopper le développement et la migration des micro-organismes [41]. Ce sujet a été traité au sein du projet d'envergure EMBALIM, mobilisant des ressources en sciences du bois, chimie et microbiologie en France.

Le bois peut-il être utilisé comme matériau pour des planches à découper ou des plans de travail conformes aux normes d'hygiène dans le secteur alimentaire ? Si la plupart des surfaces utilisées pour ce type de contact sont des surfaces lisses et non poreuses, des études comparent l'adhérence et la prolifération de bactéries sur plusieurs supports dont le bois (verre, acier, plastique et plusieurs essences de bois) avant et après des nettoyages à l'eau et à l'aide de différents détergents. L'intérêt est de comprendre comment la migration des liquides au sein du matériau poreux influence le piégeage physique des micro-organismes et leur développement sur les aliments en contact. Les conditions d'expérimentation des différentes études étant variables (essences de bois,

bactéries observées, température, humidité, état du bois, conditions d'utilisation, protocoles de test, etc.), les conclusions sont différentes et souvent contradictoires. Un état de l'art exhaustif illustre bien la diversité des résultats obtenus [42]. Des résultats sur les bactéries *Bacillus subtilis* et *Pseudomonas fluorescens* sont en faveur du matériau bois : elles ont été retrouvées en plus grand nombre sur le plastique et l'acier que sur les différentes essences de bois [43]. D'autres auteurs ont comparé l'adhérence de bactéries sur des planches à découper en polyéthylène et sur des planches de bois (huit essences différentes) après nettoyage. Ils n'ont pas trouvé de différence significative entre les différents types de planches [42]. Et dans ces deux cas, le nombre de bactéries diminue considérablement après un brossage sous eau sur les planches en polyéthylène comme sur les planches en bois ; l'ajout de détergents n'améliorant pas la situation. Quel que soit le matériau utilisé, le nettoyage à l'éponge à l'eau ou avec un détergent classique s'est montré efficace pour obtenir les conditions d'hygiène requises. Une autre étude disqualifie cette conclusion : des bactéries restent présentes dans le bois même après lavage [44]. Et encore une autre nuance les conclusions : si les bactéries ne sont pas éliminées instantanément par le lavage, cela ne signifie pas pour autant qu'elles sont en mesure de retourner à la surface pour contaminer d'autres aliments [45] [46]. Au vu de la diversité des observations, le bois peut être considéré comme un matériau apte au contact alimentaire, en respectant certaines règles d'hygiène, point prioritaire à l'usage. Les contaminations bactériennes par le contact de surface ne seraient pas liées aux matériaux eux-mêmes mais plutôt aux conditions de leur nettoyage et de leur utilisation. Les planches à découper en plastique usées par de nombreuses traces de couteau semblent plus difficiles à nettoyer dans les différentes études [42].

3.3 Interaction entre le bois et certains agents pathogènes

Les autrices et auteurs de plusieurs études [47] [48] [49] s'accordent pour confirmer des effets bactériostatiques et bactéricides intéressants de certaines essences comme le pin ou le chêne sur plusieurs bactéries présentes dans le secteur de la santé humaine (*E. Coli*, *Staphylocoque doré*, *E. Faecium*, *Listeria*, etc.). Comme l'illustre la figure 10, au-delà de 24 h après l'inoculation, les bactéries *E. Coli* et *E. Faecium* ne survivent ni dans des sciures de pin ni dans celles de chêne. Le peuplier et le hêtre quant à eux ont montré des taux de survie des bactéries équivalents à des essais sur du plastique [46] [50]. De tels résultats sont à l'origine du projet BOIS H2 débuté en France en 2017 avec pour objectif d'améliorer les connaissances sur le comportement des bactéries et moisissures au contact du bois afin de démontrer la possibilité de l'utiliser dans le secteur hospitalier, un environnement très strict en termes d'hygiène [51]. Les travaux se focalisent sur l'interaction entre certaines essences de bois (dont *Fagus sylvatica*, *Abies alba*, *Quercus robur*, *Quercus petraea*) et les agents pathogènes les plus fréquents (concernant les infections nosocomiales) en milieu hospitalier (dont *Candida auris*, *E. Coli*, *K. pneumoniae*, *S. aureus*, *A. baumannii* et *Pseudomonas aeruginosa*). L'hypothèse de départ repose sur le rôle de limitateurs de croissance de certains extractibles (cf. § 1.4) sur les organites des micro-organismes. Les conclusions de ces travaux ouvrent la voie à une possible compatibilité entre le bois et son utilisation dans les établissements de santé (en construction ou aménagement intérieur). En effet, de manière générale, toutes les bactéries ont montré un taux de survie plus faible sur les essences de bois testées que sur les autres matériaux (plastique, verre, acier). Ces résultats permettent peut-être de fonder la relation de confiance qui est aujourd'hui à établir entre la filière construction bois et les systèmes de santé pour dépasser certains préjugés sur l'aptitude hygiénique du bois (figure 11).

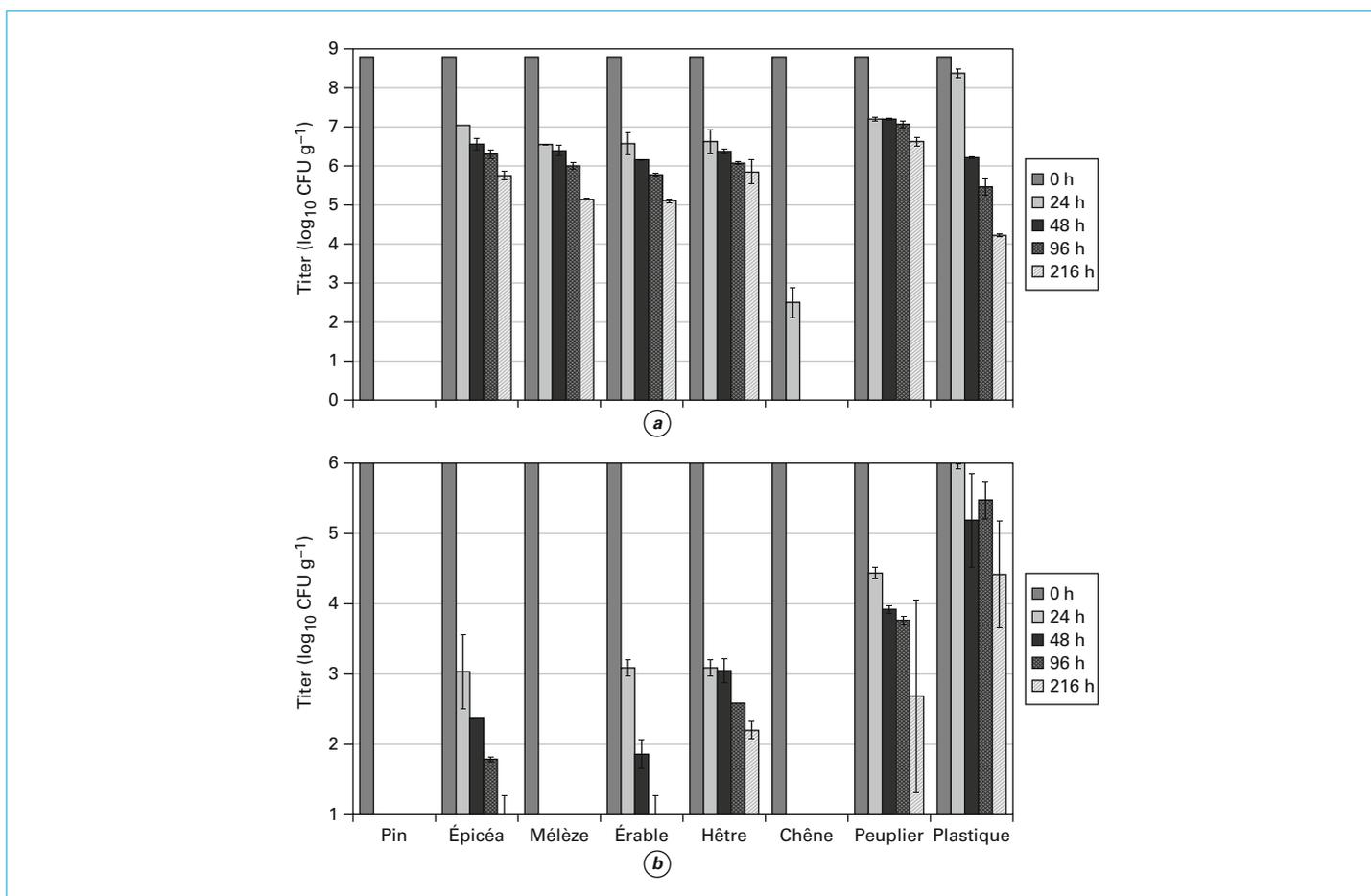


Figure 10 – Survie d'*E. coli* (a) et *E. faecium* (b) sur des poussières de bois et des copeaux plastiques [46]



Figure 11 – Exemple d'un établissement de santé construit en bois : le Tseshaht Tribal Multiplex and Health Centre, Canada, 2007 [47]

3.4 Bois et santé, un sujet controversé – Cas de la qualité de l'air intérieur et des COV émis par le bois

La médecine s'accorde sur l'importance de la qualité de l'air intérieur sur la santé (Suzanne Dehoux, OMS), les espaces intérieurs étant devenus le premier environnement des individus en terme de temps passé. Cette qualité de l'air est dépendante de nombreux

paramètres tels que l'air extérieur, le sol, le mode de vie de ses occupants (chauffage, produits d'entretien, fréquence d'aération...), les modes de construction et leurs matériaux. Utilisé comme matériau de construction en usage intérieur, le bois massif présente l'avantage de conserver les mêmes COV que ceux émis naturellement par l'arbre en forêt – les taux d'émission étant toutefois plus faibles. Deux études prouvent que dans le cas de différents cyprès et de *Cryptomeria japonica* mis en œuvre en usage intérieur, les usagers bénéficient alors d'effets physiologiques similaires à ceux

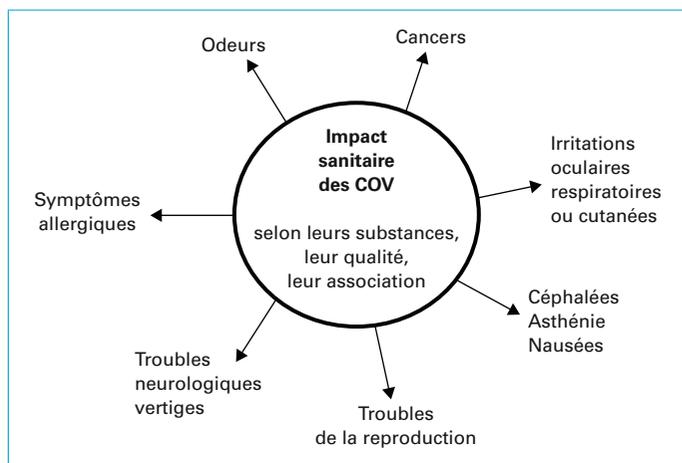


Figure 12 - Impact sanitaire des COV émis par les adjuvants des produits à base de bois (selon S. Dehoux)

constatés lors de l'exposition en forêt (ce que valorise la sylvothérapie, voir § 1.2) : réduction des états anxieux, de l'activité du système nerveux autonome en présence de bois en usage intérieur. Au contraire, les panneaux reconstitués, produits peints, traités etc. dégagent des COV à des taux non négligeables [53] qui peuvent être des polluants. Leur utilisation dans différents domaines (construction, ameublement, etc.) n'a pas toujours des effets positifs sur la santé (figure 12). Cependant la législation évolue dans le sens de la réduction des seuils d'émissions de particules polluantes et l'industrie des panneaux bois se met en accord avec la réglementation en travaillant sur les adjuvants [54].

L'utilisation du bois pour la santé humaine est donc un sujet controversé puisqu'il n'est pas simple de prouver scientifiquement les effets recherchés. De plus, les effets ne sont pas toujours bénéfiques, le cas de l'émission de COV par les panneaux de bois étant intéressant à cet égard car il invite les chercheurs à résoudre une question encore plus complexe : qui prend le dessus entre le bien-être ressenti dans un espace contenant du bois et la réalité des matériaux utilisés contenant des colles et traitements aux effets potentiellement négatifs sur la santé ?

À retenir

- L'usage du bois en aménagement intérieur dans le secteur hospitalier est bénéfique sur la santé et le confort des patients (réduction de l'anxiété, des états dépressifs, qualité de l'air). Son emploi dépend de la capacité à dépasser les préjugés et à prendre en compte des conditions d'usage adaptées.
- Des usages connus en tonnellerie et fromagerie utilisent l'hygroscopicité et les extractibles du bois pour l'œnologie et l'affinage.
- Les conclusions des études traitant du développement des bactéries sur le bois ne convergent pas toutes, mais certaines essences (pin, chêne) montrent de propriétés bactéricides supérieures à d'autres (hêtre, peuplier).
- Les adjuvants des panneaux de bois émettent des COV aux effets négatifs sur la qualité de l'air intérieur et la santé des usagers.

4. Conclusion

Le bois est un matériau d'ingénierie issu d'une ressource vivante et renouvelable, l'arbre et la forêt. Ses propriétés sont d'ores et déjà valorisées dans des applications technologiques de

différents secteurs industriels. Moins répandue, son utilisation en santé humaine fait l'objet de nombreuses études qui tentent de caractériser quantitativement et qualitativement l'impact que le bois peut avoir, dans certaines conditions d'usage, sur les sensations de bien-être, le confort des individus et leur état de santé.

Le bois est un matériau naturel qui présente visuellement un grain, des motifs, un veinage, des couleurs, etc. Il procure au toucher une sensation de chaleur et de douceur que les autres matériaux n'ont pas. Il est associé à des sons caractéristiques et constitue une matière aux propriétés acoustiques intéressantes d'un point de vue de l'ingénierie. Il dégage des molécules odorantes spécifiques et reconnaissables. Il véhicule une tradition lorsqu'il est associé à un savoir-faire artisanal et un rappel aux origines de l'humanité lorsqu'il est associé aux temps primitifs de l'évolution, quand l'humain vivait des ressources de la forêt. Les impacts sensoriels du bois sur des paramètres physiologiques des individus (activité cérébrale, système nerveux, etc.) sont observés lors de promenades en forêt, d'aménagements intérieurs où le matériau est visuellement et quantitativement présent. Le secteur de la santé pourrait bénéficier de ces propriétés thérapeutiques pour le soin des patients. En contact alimentaire, il n'est pas moins hygiénique que d'autres matériaux qui lui sont pour l'heure préférés (plastique, acier, inox, etc.). Certaines de ses molécules ont des usages thérapeutiques en pharmacologie.

Chacun de ces résultats est à replacer dans le contexte de son étude, dans des conditions d'emploi spécifiques et parce que chaque essence de bois possède des propriétés différentes, fruits de l'évolution qui a permis à l'arbre de s'adapter à son écosystème. Si certains évoquent un matériau bois qui possède une personnalité, c'est une manière de traduire la diversité des bois dont l'usage adéquat parviendra à utiliser « le bon bois au bon endroit ». Cela vaut pour les usages technologiques mais aussi pour son utilisation en santé humaine.

5. Glossaire

Bioraffinerie ; biorefinerie

Installation industrielle qui transforme la biomasse en énergie et une gamme de produits destinés à produire de la chaleur, de la puissance (agro-énergie), des produits chimiques à valeur ajoutée, biomatériaux, des produits destinés à l'alimentation humaine, animale, etc.

Bois d'œuvre à lamelles parallèles ; parallel strand lumber

Matériau obtenu par collage des morceaux de placages de bois (épaisseur maximale de chaque placage = 6 mm ; longueur moyenne = au moins 300 fois l'épaisseur) disposés parallèlement, encollés et pressés en continu.

Bois lamellé-croisé ; cross laminated timber

Panneau de bois multicouche utilisé comme matériau de construction ; 3 à 11 couches de quelques centimètres d'épaisseur chacune sont collées croisées entre elles.

Contreplaqué ; plywood

Panneau obtenu par collage de plusieurs placages (appelés « plis ») croisés à angles droits ; le nombre de placages est impair, leur épaisseur varie entre 1 et 5 mm.

Lamibois ; laminated veneer lumber

Panneau obtenu par collage de plusieurs placages (appelés « plis ») orientés dans la même direction (orientation parallèle).

Panneau de fibres à densité moyenne ; *medium-density fibre-board*

Panneau de fibres de bois à moyenne densité constitué de fibres de bois et d'un liant synthétique à base de résine urée-formol que l'on soumet à des contraintes de température et de pression.

Panneau de lamelles de bois orientées ; *oriented strand board*

Panneau constitué de copeaux de bois orientés dans des directions spécifiques et liés entre eux sous pression et à chaud par de la résine.

Phytoncides ; *phytoncide*

Ensemble de molécules, composés organiques volatils (COV), bio-synthétisés par les arbres et les plantes herbacées pour se défendre contre les micro-organismes pathogènes et émis dans l'air environnant les plantes qui les émettent, pouvant être inhalés par les humains qui peuvent ainsi bénéficier de leurs vertus thérapeutiques.

Phytothérapie ; *phytotherapy*

Traitement thérapeutique fondé sur les extraits de plantes et les principes actifs naturels dans un but prophylactique ou thérapeutique.

Trachéides ; *tracheids*

Ensemble de conduits permettant le transport de la sève brute et assurant le soutien mécanique de l'arbre chez les résineux.

Vaisseaux ; *vessels*

Grandes cellules, plus larges et moins longues que les trachéides, permettant le transport de la sève brute chez les feuillus (le soutien mécanique de l'arbre étant assuré par les fibres).

6. Sigles, notations et symboles

Symbole	Description	Unité
CLT	Cross Laminated Timber – Bois lamellé-croisé	–
LVL	Laminated Veneer Lumber – Lamibois	–
OSB	Oriented Strand Board – Panneau de copeaux de bois orientés	–
PSL	Parallel Strand Lumber – Bois d'œuvre à lamelles parallèles	–
MDF	Medium-density fibreboard – Panneau de fibres à densité moyenne	–
E	Module d'élasticité ou module d'Young	GPa
ρ	Densité	kg.m ⁻³
λ	Conductivité thermique	W.m ⁻¹ .K ⁻¹
η	Amortissement acoustique	–
c	Capacité thermique massive	J.K ⁻¹ .kg ⁻¹
α	Diffusivité thermique	m ² .s ⁻¹
Ef	Effusivité thermique	J.K ⁻¹ .m ⁻² .s ^{-1/2}

Bois et santé

Rôle du matériau bois sur la santé humaine

par **Anne LAVALETTE**

Chercheuse en sciences du bois
Alt-R&D, coopérative de recherche en sciences du bois, Co-Actions, Captieux

et **Anna DUPLEIX-MARCHAL**

Chercheuse en sciences du bois
CRISES (E.A. 4424), Université Paul-Valéry, Montpellier

Sources bibliographiques

- [1] SCHMITHUSEN (F.). – *Percevoir la forêt et la gestion forestière / Perceiving forests and their management*. In Annales de géographie, n°609-610, pp. 479-508 (1999).
- [2] GUIOT (H.). – *Gestion traditionnelle des espaces forestiers à Futuna (Polynésie occidentale) : Contenu idéal et pratiques associées*. In Journal de la Société des océanistes, n°110, pp. 19-33 (2000).
- [3] SOGA (M.) et GASTON (K.J.). – *Extinction of experience : the loss of human-nature interactions*. In Frontiers in Ecology and the Environment, vol. 14, n° 2, pp. 94-101 (2016).
- [4] GRANET (A.M.) et DOBRE (M.). – *Les citadins et la forêt en France*. In Revue forestière française, AgroParisTech, vol. 61, n° 5, pp. 521-534 (2009).
- [5] GLON (E.). – *Wilderness et forêts au Canada. Quelques aspects d'une relation homme/nature très ambivalente*. In Annales de géographie, n° 3, pp. 239-257 (2006).
- [6] SANCHEZ-BADINI (O.) et INNES (J.). – *La forêt et les arbres : une perspective de santé publique*. In Santé Publique n° 1, pp. 241-248 (2019).
- [7] FORESTA (H.D.), SOMARRIBA (E.), TEMU (A.), BOULANGER (D.), FEUILY (H.) et GAUTHIER (M.). – *Towards the assessment of trees outside forests*. In FAO Forestry Paper, FAO Rome, pp. 164 (2013).
- [8] MERGNAC (M.O.) et BERTRAND (B.). – *Les métiers d'autrefois*. Archives & culture (2003).
- [9] FRANCO (L.S.), SHANAHAN (D.F.) et FULLER (R.A.). – *A Review of the Benefits of Nature Experiences: More Than Meets the Eye*. In International Journal of Environmental Research and Public Health, vol. 14, n° 8, p. 864 (2017).
- [10] PAILLON (P.). – *Les forêts péri-urbaines : des espaces récréatifs à la fonction prophylactique : le cas des aires urbaines d'Alençon, de Blois et du Mans*. Thèse de doctorat, Géographie, Université du Maine, pp.1-452 (2014).
- [11] HANSEN (M.M.), JONES (R.) et TOCCHINI (K.). – *Shinrin-Yoku (Forest Bathing) and Nature Therapy: A State-of-the-Art Review*. In International Journal of Environmental Research and Public Health, vol. 14, n° 8, p. 851 (2017).
- [12] LI (Q.). – *Effets des forêts et des bains de forêt (shinrin-yoku) sur la santé humaine : une revue de la littérature*. In Revue forestière française, AgroParisTech, vol. 70, n° 2-3-4, pp. 273-285 (2018).
- [13] LEE (S.H.), DO (H.S.) et MIN (K.J.). – *Effects of Essential Oil from Hinoki Cypress, Chamaecyparis obtusa, on Physiology and Behavior of Flies*. In PLoS One, vol. 10, n° 12 (2015).
- [14] MATSUBARA (E.), NAOYUKI (M.) et TATSURO (O.). – *Evaluation of the psychophysiological effects of the Cupressaceae family wood odor*. In Wood Science and Technology, Springer Berlin Heidelberg, vol. 54, n° 1, pp. 269-286 (2020).
- [15] MATSUBARA (E.) et KAWAI (S.). – *VOCs emitted from Japanese cedar (Cryptomeria japonica) interior walls induce physiological relaxation*. In Building and Environment, Elsevier, vol. 72, pp. 125-130 (2014).
- [16] DA SILVA (F.). – *Utilisation des huiles essentielles en infectiologie ORL*. Thèse de Doctorat, Sciences pharmaceutique, Université de Lorraine, pp. 1-161 (2010).
- [17] GOETZ (P.) et HADJI-MINAGLOU (F.). – *Conseil en phytothérapie. Guide à l'usage du prescripteur*. Lavoisier Tec&Doc, p. 82 (2019).
- [18] LATIEULE (S.). – *Norke Skog Golbey et Harmonic Pharma partenaires dans la valorisation de dérivés du bois*. In Chimie Pharma Hebdo (2017). <https://www.usinenouvelle.com/article/norke-skog-golbey-et-harmonic-pharma-partenaires-dans-la-valorisation-de-derives-du-bois.N1255167>
- [19] GARG (J.), NEE CHIU (M.), KRISHNAN (S.), KUMAR TRIPATHI (L.), PANDIT (S.), FARASATI FAR (B.), JHA (N.K.), KESARI (K.K.), TRIPATHI (V.), PANDEY (S.) et GUPTA (P.K.). – *Applications of lignin nanoparticles for cancer drug delivery: An update*. In Materials Letters, vol. 311 (2022).
- [20] JONSSON (O.), LINDBERG (S.), ROOS (A.), HUGOSON (M.) et LINDSTRÖM (M.). – *Consumer perceptions and preferences on solid wood, wood-based panels, and composites: A repertory grid study*. In Wood and Fiber Science, vol. 4, pp. 663-678 (2008).
- [21] STROBEL (K.), NYRUD (A.Q.) et BYSHEIM (K.). – *Interior wood use: linking user perceptions to physical properties*. In Scandinavian Journal of Forest Research, vol. 32, n° 8, pp. 798-806 (2017).
- [22] JIMENEZ (P.), BREGENZER (A.), EIBEL (K.), DENK (E.), GROTE (V.), KELZ (C.) et MOSER (M.). – *Wood or Laminate? – Psychological Research of Customer Expectations*. In Forests, vol. 7, p. 275 (2016).
- [23] BERGER (G.), KATZ (H.) et PETUTSCHNIGG (A.). – *What consumers feel and prefer: haptic perception of various wood flooring surfaces*. In Forest Product Journal, vol. 56, n° 10, pp. 42-47 (2006).
- [24] MANDRARA (Z.H.). – *Impact thermique des revêtements en bois sur l'ambiance intérieure des Bâtiments Application dans l'habitat traditionnel en France et à Madagascar*. Institut national des sciences appliquées de Lyon, pp. 1-276 (2011).
- [25] JANIN (G.), CHARRIER (F.), GONÇALEZ (J.), ZERBINI (N.), FERNANDES DA SILVA (G.), ANANIAS (R.A.), KATEKAWA (M.) et BAKOUR (R.). – *La colorimétrie appliquée à l'évaluation de la couleur et de la qualité des bois européens et tropicaux*. In Actes du colloque Iris, essence et sens des couleurs, pp. 53-57 (2001).
- [26] BROWNING (W.D.), RYAN (C.O.) et CLANCY (J.O.). – *14 Patterns of Biophilic Design [14 Modèles de conception biophilique]*. New York: Terrapin Bright Green LLC, pp. 1-54 (2016).
- [27] POIRIER (G.), DEMERS (C.M.) et POTVIN (A.). – *Experiencing wooden ambiances with Nordic light: Scale model comparative studies under real skies*. In BioResources, vol. 12, n° 1, pp. 1924-1942 (2017).
- [28] POIRIER (G.), DEMERS (C.M.) et POTVIN (A.). – *Wood perception in daylight interior spaces: An experimental study using scale models and questionnaires*. In BioResources, vol. 14, n° 1, pp. 1941-1968 (2019).
- [29] ROSS (R.J.). – *Wood handbook: wood as an engineering material*. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, General Technical Report FPL-GTR-190 (2010).
- [30] TANIZAKI (J.). – *Éloge de l'ombre*. Traduit du japonais par René Sieffert, Verdier (2011).
- [31] ALAPIETI (T.), MIKKOLA (R.), PASANEN (P.) et SALONEN (H.). – *The influence of wooden interior materials on indoor environment: a review*. In European Journal of Wood and

- Wood Products, vol. 78, n° 4, pp. 617-634 (2020).
- [32] TSUNETSUGU (Y.), MIYAZAKI (Y.) et SATO (H.). – *Physiological effects in humans induced by the visual stimulation of room interiors with different wood quantities*. In Journal of Wood Science, vol. 53, n° 1, pp. 11-16 (2007).
- [33] OHTA (H.), MARUYAMA (M.), TANABE (Y.), HARA (T.), NISHINO (Y.), TSUJINO (Y.), MORITA (E.), KOBAYASHI (S.) et SHIDO (O.). – *Effects of redecoration of a hospital isolation room with natural materials on stress levels of denizens in cold season*. In International Journal of Biometerology, vol. 52, pp. 331-340 (2008).
- [34] ASHBY (M.F.), BRECHET (Y.J.M.), CEBON (D.) et SALVO (L.). – *Selection strategies for materials and processes*. In Materials & Design, vol. 25, n° 1, pp. 51-67 (2004).
- [35] IKEI (H.), SONG (C.) et MIYAZAKI (Y.). – *Physiological effects of touching hinoki cypress (Chamaecyparis obtusa)*. In Journal of Wood Science, vol. 64, pp. 226-236 (2018).
- [36] MORIKAWA (T.), MIYAZAKI (Y.) et KOBAYASHI (S.). – *Time-series variations of blood pressure due to contact with wood*. In Journal of Wood Science, vol. 44, pp. 495-497 (1998).
- [37] SAKURAGAWA (S.), KANEKO (T.) et MIYAZAKI (Y.). – *Effects of contact with wood on blood pressure and subjective evaluation*. In Journal of Wood Science, vol. 54, pp. 107-113 (2008).
- [38] BARREIRA (E.), ALMEIDA (R.M.) et MOREIRA (M.). – *An infrared thermography passive approach to assess the effect of leakage points in buildings*. In Energy and Buildings, vol. 140, pp. 224-235 (2017).
- [39] NORIMOTO (M.) et YAMADA (T.). – *Effect of Interior Boards on Indoor Humidity of Prefabricated Wooden House*, Journal of the society of material science Japan, vol. 11, pp. 11-35 (1977).
- [40] DUPLÉIX (A.), VAN NGUYEN (T.), VAHTIKARI (K.) et HUGHES (M.). – *The anisotropic temperature rise on wood surfaces during adsorption measured by thermal imaging*. In Wood science and technology, vol. 52, n° 1, pp. 167-180 (2018).
- [41] AVIAT (F.), GERHARDS (C.), RODRIGUEZ-JEREZ (J.J.), MICHEL (V.), BAYON (I.L.), ISMAIL (R.) et FEDERIGHI (M.). – *Microbial Safety of Wood in Contact with Food: A Review*. In Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, vol. 15, n° 3, pp. 491-505 (2016).
- [42] MILLER (A.), BROWN (T.) et CALL (J.E.). – *Comparison of Wooden and polyethylene cutting boards: potential for the attachment and removal of bacteria from ground beef*. In Journal of Food Protection, vol. 59, n° 8, pp. 854-859 (1996).
- [43] BEYER (G.) et GUÐBJÖRNSDÓTTIR (B.). – *Wood in the Food Industry – Guidelines for handling wooden pallets*. Nordic Industrial Fund., pp. 1-27 (2002).
- [44] ABRISHAMI (S.), TALL (B.), BRUURSEMA (T.), EPSTEIN (P.) et SHAH (D.). – *Bacterial adherence and viability on cutting board surfaces*. In Journal of Food Safety, vol. 14, pp. 153-172 (2007).
- [45] AK (N.O.), CLIVER (D.O.) et KASPARI (C.W.). – *Decontamination of plastic and wooden cutting boards for kitchen use*. In Journal of Food Protection, vol. 57, n° 1, pp. 23-30 (1994).
- [46] MILLING (A.), SMALLA (K.), KEHR (R.) et WULF (A.). – *The use of wood in practice – A hygienic risk?*. In Holz als Roh- und Werkstoff, vol. 63, pp. 463-472 (2005).
- [47] VAINIO-KAILA (T.), ZHANG (X.), HÄNNINEN (T.), KYHYKYNEN (A.), JOHANSSON (L.S.), WILLFÖR (S.), ÖSTERBERG (M.), SIITONEN (A.) et RAUTKARI (L.). – *Antibacterial effects of wood structural components and extracts from Pinus sylvestris and Picea abies on methicillin-resistant Staphylococcus aureus and Escherichia coli O157:H7*. In Biore-sources, vol. 12, n° 4, pp. 7601-7614 (2017).
- [48] MOUREY (A.) et CANILLAC (N.). – *Anti-Listeria monocytogenes activity of essential oils components of conifers*. In Food Control, vol. 13, n° 4, pp. 289-292 (2002).
- [49] MILLING (A.), KEHR (R.) et SMALLA (K.). – *Survival of bacteria on wood and plastic particles: Dependence on wood species and environmental conditions*. In Holzforschung, vol. 59, pp. 72-81 (2005).
- [50] SCHÖNWÄLDER (A.), KEHR (R.), WULF (A.) et SMALLA K. – *Wooden boards affecting the survival of bacteria?*. In Holz als Roh- und Werkstoff, vol. 60, p. 249-257 (2002).
- [51] MUNIR (M.T.). – *Wood and hospital hygiene: Investigating the hygienic safety and antimicrobial properties of wood materials*. Thèse de doctorat, Génie des Matériaux, Ecole Centrale de Nantes. pp. 1-226 (2021).
- [52] STRUCTURLAM. – *Wood in healthcare*. pp. 1-24 (2005). <https://www.structurlam.com/wp-content/uploads/2016/12/Wood-in-Healthcare-Case-Study.pdf?x54838>
- [53] NYRUD (A.Q.), BRINGSLIMARK (T.) et ENGLUND (F.). – *Wood use in a hospital environment: VOC emissions and air quality*. In European Journal of Wood and Wood Products, vol. 70, n° 4, pp. 541-543 (2012).
- [54] GOURVES (V.) et YRIEIX (C.). – *Qualité de l'air intérieur : actualités*. FCBA Info. pp. 1-5 (2019). <https://www.fcba.fr/wp-content/uploads/2020/11/FCBAINFO-2019-26-Ameublement-Qualite-air-interieur-Gourves-Yrieix.pdf>.

À lire également dans nos bases

Bois Energie-Propriétés et voies de valorisation. [BE 8 535].

Matériau bois-Structure et caractéristiques. [C 925].

Emballages bois – Palettes, caisses industrielles, emballages légers. [AG 6 100].

Collage du bois. [C 7 635].

Charpentes en bois. [C 2 440].

Annuaire

Producteur d'extrait de châtaignier français

KingTree, France – <https://www.kingtree.eu>

Leader français de l'exploitation totale du peuplier

Leuke, France – <http://www.leuke.fr>

Leader mondial dans la production des extraits végétaux utilisés avec succès dans la tannerie des peaux de qualité supérieure

Silvateam, Italie – <https://www.silvateam.fr/>

France Bois Industries Entreprises – représente les organisations professionnelles de l'aval du secteur forêt-bois-ameublement <https://fbie.org>