



HAL
open science

Mille et un bois pour mille et un usages

Bruno Clair

► **To cite this version:**

Bruno Clair. Mille et un bois pour mille et un usages. Inventer l'avenir. L'ingénierie se met au vert, CNRS éditions, 2019, 9782271126382. hal-02372653v1

HAL Id: hal-02372653

<https://hal.science/hal-02372653v1>

Submitted on 20 Nov 2019 (v1), last revised 21 Nov 2019 (v2)

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Mille et un bois pour mille et un usages

Bruno Clair¹

¹ LMGC, Univ Montpellier, CNRS, Montpellier, France.

Le bois, matériau de l'arbre

Ingénieur vert par excellence, le règne végétal s'est imposé sur Terre malgré l'ensemble des contraintes de son environnement. L'arbre a su construire les structures les plus grandes et aux plus longues durées de vie grâce à son matériau: le bois. Fruit de 350 à 400 millions d'années d'optimisation, d'essais et d'erreurs, il donne des solutions de fabrication répondant à deux enjeux majeurs de l'ingénierie: la stabilité et la pérennité de la structure.

Le bois joue de multiples rôles dans l'arbre. D'abord des fonctions physiologiques, comme le stockage des nutriments ou le transport de la sève, un phénomène qui tient de la prouesse technologique pour faire monter un liquide dans un tube sur plusieurs dizaines de mètres avec un mécanisme très peu énergivore. D'autres fonctions relèvent davantage de l'ingénierie mécanique, telles que la fabrication additive de la structure (la croissance), le contrôle de la géométrie ou la résistance à la gravité et aux vents. Les cellules mortes du bois assurent cette résistance en formant un squelette léger et rigide. Le bois est constitué de fibres longues et creuses organisées en nid d'abeille, dont les parois sont elles-mêmes des multi-couches de composites constitués de nanofibres de cellulose cristalline, orientées dans une matrice de polymères amorphes de lignines et d'hémicelluloses (figure 1).

Cette organisation lui donne une grande rigidité dans la direction des fibres, que l'arbre peut moduler au cours de sa vie par un changement d'angle des nanofibres de cellulose ou par un épaississement de la paroi, au détriment de la cavité de la fibre. Mais tout squelette, si performant soit-il, a besoin de « muscles » pour contrôler sa forme et sa posture. Sans cela, la croissance d'un individu mal équilibré le déstabiliserait, le menant à sa chute. Dans un arbre, ce rôle est joué par les fibres encore vivantes (leur mort est programmée une à six semaines après leur naissance) qui génèrent des forces plus ou moins élevées lors de l'épaississement de la paroi. Pendant sa maturation, le nouveau bois formé développe donc des mécanismes de mise en tension pour compenser de l'intérieur l'incrément de poids lié à la croissance, ou pour restaurer sa verticalité après un accident (Alméras *et al*, 2008).

La pérennité du bois est assurée grâce à des mécanismes chimiques gérés par les cellules les plus longévives de l'arbre : les parenchymes. Elles peuvent vivre plusieurs années et, avant de mourir, elles sécrètent des substances, souvent colorées et odorantes, qui protègent le bois de cœur pendant des décennies. Enfin, le processus de fabrication additive, par création de nouvelles cellules en périphérie, dure toute la vie de l'arbre et permet la cicatrisation en cas de blessures ou de casse.

Toutes ces solutions ont inspiré la conception de structures et de matériaux inédits. Quel ingénieur n'a pas rêvé d'une structure évolutive, s'adaptant aux contraintes environnementales, ou de matériaux autoréparants ?

Le bois ? Les bois !

Mais peut-on réellement dire le bois, ou ne devrait-on pas dire les bois ? Par leurs conditions de vie extrêmement contrastées dans des écosystèmes où règne une forte compétition entre les espèces, l'évolution a fourni un très grand nombre de solutions d'ingénierie viables et pérennes. On répertorie 60 000 espèces d'arbres dans le monde et autant de types de bois différents. La forêt française compte plus de 2 000 espèces, pour la plupart en Guyane et dans les départements d'outre-mer, et environ 140 dans l'hexagone. Cette diversité se traduit par une large gamme de matériaux de densités très variables, de 0,1 g/cm³, pour les plus légers comme le balsa, à plus de 1,3 g/cm³ pour l'amourette. Cette caractéristique dépend directement de la porosité, du rapport entre l'épaisseur des parois et du diamètre des cellules. La densité du composite

cellulose/hémicellulose/lignine varie en effet très peu entre les espèces et est de l'ordre de $1,5 \text{ g/cm}^3$. La diversité résulte surtout des types cellulaires (vaisseaux conducteurs, fibres de soutien, parenchymes de réserve), de leur proportion et de leur organisation. Ainsi, à densités similaires, le cyprès (résineux), le frêne ou le noyer (feuillus) présentent des bois aux motifs et propriétés très différents.

Le bois varie également au sein d'une même espèce, selon les conditions et contraintes hydriques ou mécaniques pendant la croissance. En effet, malgré un patrimoine génétique fixant les types cellulaires et leur organisation, l'individu garde une certaine latitude pour produire un matériau adapté à ses conditions de vie. À l'échelle d'une même espèce, les besoins ne sont pas les mêmes dans les stades jeunes et adultes, et le bois est modulé tout au long de la vie de l'arbre avec des densités et un rapport rigidité/ densité changeant du simple au triple. La grande diversité des bois promet une multitude d'usages, pour peu qu'elle soit caractérisée et comprise, afin de choisir la bonne espèce et la bonne partie de l'arbre.

Une palette de propriétés pour une palette d'usages

Grâce à sa fonction structurelle, le bois a été historiquement utilisé en conception mécanique. Il allie rigidité et légèreté, des caractéristiques des matériaux cellulaires et des matériaux composites dont le bois fait doublement partie. On le trouve donc naturellement dans la construction, la facture de manches d'outils ou de mobilier et pour des usages plus exigeants comme la facture d'instruments de musique.

Sa porosité en fait un bon isolant thermique, mais aussi acoustique et électrique. Ses caractéristiques hygroscopiques, soit sa faculté à absorber et restituer de l'eau, en font un régulateur climatique efficace pour l'habitat ou pour l'emballage de produits frais. Sa durabilité s'adapte aux conditions d'usage. Des bois rapidement biodégradables peuvent servir à des emballages jetables et, à l'inverse, les plus durables à des structures pérennes. Certains temples japonais ou églises scandinaves sont en effet pluricentennaires.

En milieu très agressif, comme le milieu marin, le bois a une durabilité très compétitive vis-à-vis des autres matériaux. Venise, âgée de plusieurs siècles, est ainsi bâtie sur des pieux de chêne et de mélèze. Le microbiote interagit avec les tanins de certains bois et

développe des micro-organismes aux propriétés gustatives appréciées en vinification (tonnellerie) ou en affinage (boîte à fromages). De même, le développement d'un cocktail de micro-organismes régulateurs en fait un matériau de choix pour le billot du boucher. Certains bois ont des caractéristiques tribologiques remarquables, tels les bois gras comme le gaïac, utilisé dans le passé pour les pièces de frottement comme les navettes de l'industrie textile ou les poulies de bateau.

Les fibres de bois servent également pour la papeterie, y compris technique, aussi bien que pour la production de panneaux isolants ou de structure. La déconstruction de la paroi des fibres donne accès à des synthons, « briques de base » pour la conception de nouveaux matériaux dans les bioraffineries. L'extraction des métabolites secondaires produit de nombreuses molécules d'intérêt en parfumerie (bois de rose), en cosmétique (bois de santal), en teinture (padouk), comme biopesticide (grignon)... Enfin, le bois est une ressource énergétique majeure dans de nombreux pays, où il constitue la première source d'énergie pour le chauffage et la cuisson des aliments. En France, le bois est la première source d'énergie renouvelable, loin devant l'hydroélectrique, le solaire ou l'éolien. L'ingénierie humaine a su tirer le meilleur parti de l'ingénierie végétale, mais l'effort de recherche reste immense pour connaître et valoriser au mieux la grande diversité des bois.

Plus vert que vert

Face aux enjeux actuels de production de matériaux plus respectueux de l'environnement, le bois présente plusieurs avantages. Renouvelable, il n'est pas puisé dans un stock limité, mais participe à un cycle infini. Dans une gestion durable de la forêt, comme opérée par l'ONF et les propriétaires privés de Guyane et de l'Hexagone, chaque arbre prélevé laisse une place pour la croissance des suivants.

Son utilisation comme matériau permet en plus de stocker du carbone. Ces dernières décennies, l'extraction et la combustion des produits pétroliers ont dégagé une grande quantité de carbone, sous forme gazeuse. Ce déséquilibre peut être contré en stockant ce carbone gazeux sous forme solide, ce que seules les plantes parviennent à faire à grande échelle. Si le bois n'est pas récolté, le cycle naturel de l'arbre implique sa mort et sa décomposition, qui relargue son carbone dans l'air. Ainsi, une forêt à maturité ne piège que peu de carbone, alors que l'usage du bois libère de l'espace pour un nouveau stockage tout en conservant le carbone sous

forme solide. Cela dure de quelques mois, pour une cagette, à plusieurs dizaines d'années dans le bâtiment, sachant que 1 m³ de bois fixe une tonne de CO₂.

Le bois se démarque aussi par la plus faible énergie demandée pour sa fabrication et sa transformation. Son utilisation génère ainsi deux fois moins de CO₂ que le béton, dix fois moins que le ciment et vingt fois moins que l'acier (Triboulot et Reitz, 2000). Le bois peut de plus être produit localement dans la plupart des régions du monde. Enfin, il est biodégradable, ce qui, à une époque où la consommation planétaire explose et où le recyclage devient un enjeu majeur, pourrait bien être une de ses plus belles vertus.

Les bois : matériaux du futur

Depuis plus d'un million d'années, l'homme a mis toute son ingéniosité à maîtriser et tirer le meilleur du bois. Malgré un certain délaissement ces dernières décennies au profit du développement des matériaux de synthèse, les progrès technologiques récents ont généré une multitude de nouveaux produits. D'un côté, le lamellé-croisé CLT (*cross-laminated timber*), un sandwich de planches collées perpendiculairement entre elles, génère un matériau de grande robustesse autorisant la construction d'immeubles en bois toujours plus hauts (figure 3). À l'autre bout, la déconstruction maximale permet aujourd'hui de fabriquer des matériaux transparents à base de nanofibres de cellulose cristalline.

De nombreux défis restent pour valoriser chaque jour un peu mieux ce matériau, dans un souci d'écoconception pour un monde un peu plus écoresponsable.

Figure 1

Organisation multi-échelle du bois. On y voit la structure en nid d'abeille formée par les cellules, la structure multicouche de la paroi des fibres et la nature composite de chaque couche constituée de nanofibrilles de cellulose orientées dans une matrice de lignine et hemicelluloses.

Image Warrington, 1996.



Figure 2

Suivi du comportement mécanique d'une peinture sur bois soumise à des variations d'hygrométrie, ici une Sainte Trinité couronnant la Vierge, anonyme du ^{xvi}e siècle.

Photographie Christophe Hargoues / LMGC / CNRS Photothèque.



Figure 3

Quelques usages du bois : Construction des fondations sur pilotis à Venise (Dessin de Giovanni Grevenbroch, xviii^e siècle) ; archet de violon (Photographie N. Poidevin), Table design en bois cintré (www.josephwalshstudio.com) ; tonneaux en bois de chêne (Photographie O. Colas) ; huile de bois de rose de Guyane (Photographie N. Amusant) ; projet de la tour Hyperion à Bordeaux (Jean-Paul Viguier & Associés) ; jantes de vélo de compétition en bois de hêtre (www.cerchioghisallo.com).

