




LE BOIS : DE L'ARBRE AU MATÉRIAU

Benoît Jourez, Jean-Marc Henin, Carol  Pollet
Laboratoire de technologie du bois (DEMNA, DGO3, SPW)

Hébert Jacques
Gembloux Agro-Bio Tech (ULg)

En raison de son origine biologique, le bois fait preuve d'une très grande variabilité en termes de caractéristiques anatomiques chimiques, esthétiques et de propriétés physiques, mécaniques, et de durabilité. Ce matériau naturel offre cependant des possibilités techniques et architecturales uniques lorsque cette variabilité est bien maîtrisée.

L'essence, l'origine génétique, les facteurs stationnels, biotiques et climatiques, les pratiques sylvicoles façonnent tout au long de la vie de l'arbre les caractéristiques anatomiques du tissu ligneux, déterminant ainsi les différentes propriétés du bois. Bien que la prévision du niveau atteint pour ces propriétés soit parfois complexe au vu des nombreuses interactions constatées, elle permet d'expliquer le comportement du matériau bois mis en œuvre et d'en tirer le meilleur parti.

En fonction des nouvelles exigences des producteurs, transformateurs et utilisateurs, motivées par des enjeux, économiques, environnementaux, climatiques ou sociétaux, la qualité recherchée de la ressource en bois est susceptible d'évoluer pour rencontrer les usages futurs privilégiés.

Le bois, matériau naturel, est constitué d'un tissu ligneux résultant d'un processus biologique qui se déroule tout au long de la vie de l'arbre. Ce processus confère à l'arbre la résistance mécanique et la souplesse nécessaires à l'élaboration et au maintien de sa structure. Il résulte de cette origine biologique une très grande variabilité des propriétés, entre autres physiques, mécaniques, chimiques et de durabilité. Cette variabilité s'explique notamment par la diversité des essences forestières. Elles se différencient par la composition et l'arrangement des éléments qui constituent le tissu ligneux, ainsi que par la production de substances extractibles qui donnent au bois des caractéristiques particulières en termes d'odeur, de couleur et de durabilité.

En outre, les facteurs stationnels (climat, topographie, facteurs édaphiques, etc.) qui prévalent tout au long de la vie de l'arbre amplifient cette variabilité naturelle. Finalement, à ces facteurs s'ajoute l'action anthropique qui, à travers la sylviculture appliquée aux peuplements forestiers, influence la vitesse de croissance et la morphologie des arbres, conditionnant ainsi les caractéristiques du bois produit.

Cette variabilité naturelle est à la fois un frein à l'usage et un atout majeur de ce matériau. Un frein parce que d'une part l'industrie préfère transformer un matériau le plus homogène possible et d'autre part l'architecte préfère mettre en œuvre des matériaux dont il peut prévoir le comportement avec la plus grande fiabilité. À l'inverse, la variabilité du bois est un atout par la diversité des couleurs, des aspects, des propriétés et des comportements qu'elle offre, permettant de répondre aux attentes et aux besoins les plus variés.

Par ailleurs, aujourd'hui plus que jamais, on découvre et met au point de nouveaux produits à base de bois, que d'aucuns considèrent comme la réponse aux besoins croissants de notre société confrontée à la raréfaction des matières premières. Enfin, il reste une source d'énergie renouvelable sous des formes qui se diversifient.

Sa structure hétérogène, son comportement anisotrope (différent selon son orientation) et son hygroscopicité (qui absorbe l'humidité de l'air) différencient clairement le bois des autres matériaux d'origine minérale tels que la pierre, le béton, l'acier ou l'aluminium. Pour autant, ses performances n'ont rien à envier à ces derniers et il offre dans certains cas des solutions nettement plus performantes en termes mécanique, esthétique ou financier et même de résistance au feu. Sa transformation est aussi plus aisée et moins énergivore.

Dans ce contexte, ce matériau au comportement surprenant, parfois perçu comme capricieux, ne laisse personne indifférent. Sa transformation peut se faire à l'aide d'outils simples et du savoir-faire. Sa mise en œuvre nécessite une connaissance approfondie de son comportement, de ses propriétés et un regard critique sur ses particularités afin de le valoriser



dans des ouvrages contemporains, même audacieux. Sur ces bases, le bois doit être considéré comme un matériau moderne et technique permettant de donner libre cours à l'imagination des artisans et des industriels qui auront réussi à maîtriser cette variabilité. Ainsi, la prise en compte croissante des préoccupations environnementales, l'épuisement des ressources et l'attrait du grand public pour des matériaux renouvelables font du bois le matériau du futur par excellence.

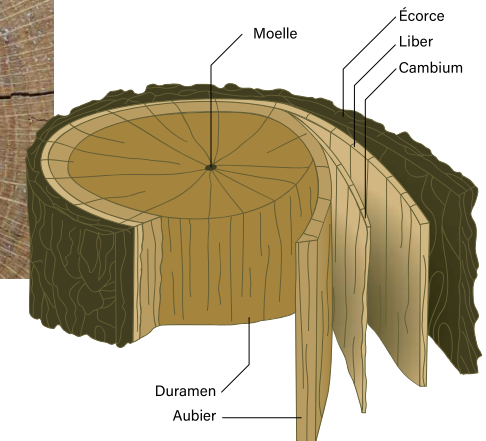
L'ARBRE : UNE USINE À PRODUIRE DU BOIS

La croissance en hauteur de l'arbre est assurée tout au long de sa vie par une zone de multiplication cellulaire active, le méristème primaire, localisé dans les bourgeons terminaux, à l'extrémité des axes en croissance. Parallèlement, une autre assise génératrice localisée sous l'écorce, appelée méristème secondaire ou cambium, se divise activement durant une partie de la période de végétation pour donner naissance à des cellules qui formeront, vers l'intérieur du tronc, le tissu ligneux constituant un cerne d'accroissement annuel. Au fil des années, de nouvelles couches de bois sont formées en périphérie de l'arbre, enserrant les cernes les plus vieux vers



de soutien de l'arbre et le rôle de conduction de la sève. Le bois est dit homoxylé. Chez les feuillus, le tissu ligneux est plus complexe : les fibres assurent le soutien, tandis que la conduction est assurée par les vaisseaux. Ce bois est dit hétéroxylé. Dans les deux cas, le parenchyme assure le stockage des matières de réserve nécessaires au démarrage de la croissance annuelle au début du printemps.

À l'intérieur d'un cerne, les propriétés du bois varient fortement en relation avec les caractéristiques anatomiques des cellules. Chez les conifères, au début de la saison de végétation, les trachéides du bois de printemps ont une large section et des parois minces faiblement résistantes, induisant une faible masse volumique. Plus tard dans la saison, les trachéides du bois d'été présentent une section étroite et



le centre du tronc et induisant sa croissance en diamètre. Le comptage du nombre de cernes sur une souche permet ainsi d'estimer l'âge de l'arbre.

La cellulose est le composant majeur du bois. Avec la lignine et les hémicelluloses, ces macromolécules s'assemblent intimement pour former les parois des cellules qui structurent le matériau et lui donnent ses caractéristiques. La paroi des cellules du bois peut être comparée à du béton armé dans lequel la cellulose et les hémicelluloses joueraient le rôle des armatures métalliques et la lignine celui du béton qui remplit les espaces vides. Dans le bois, les cellules s'assemblent pour former un matériau alvéolaire aux performances remarquables.

Les caractéristiques et propriétés du bois sont notamment liées au caractère résineux ou feuillu de l'essence. Les premiers, aussi appelés conifères ou Gymnospermes (« grains nus »), constituent un groupe taxonomique plus primitif que les seconds, qualifiés d'Angiospermes (« graines englobées dans un fruit »). Les conifères se caractérisent ainsi par une composition histologique relativement simple : des cellules appelées trachéides assurent à la fois le rôle mécanique

des parois épaisses et plus résistantes, induisant une augmentation de la masse volumique. Ainsi, la masse volumique au sein d'un cerne de douglas peut varier de 300 kg/m³ dans le bois de printemps à plus de 1000 kg/m³ dans le bois d'été. De telles variations engendrent certaines difficultés lors de la transformation du bois. Chez les feuillus à bois hétérogène tels que le chêne, le frêne ou le robinier, les vaisseaux du bois de printemps présentent une section importante qui diminuent fortement dans le bois d'été, entraînant une augmentation de la proportion des fibres dans cette zone et de la masse volu-

■ Largeur de cerne variable.

■ Rondelle de chêne.



mique dans le cerne. Chez d'autres essences feuillues dites à bois homogène telles que le hêtre, l'érable ou le bouleau, les vaisseaux de taille relativement constante sont répartis uniformément dans le cerne ; la variation de la masse volumique à l'intérieur de celui-ci est donc peu importante.

La morphologie des résineux suit un schéma simple. La croissance est **monopodiale** : le bourgeon terminal induit la croissance **apicale** de l'arbre, tandis que les bourgeons latéraux mettent en place annuellement un verticille de branches. Les branches d'un diamètre limité induisent des perturbations locales dans le fil du bois. Les troncs généralement rectilignes se prêtent facilement à une récolte mécanisée, à une transformation hautement automatisée en scierie et permettent l'obtention de pièces de grande longueur. La morphologie des feuillus est plus complexe, arborant des structures qui paraissent plus aléatoires même si, pour un œil averti, chaque espèce présente une silhouette caractéristique. Ils ont une croissance **sympodiale** : la croissance en hauteur est assurée simultanément par plusieurs axes donnant naissance à des bifurcations du tronc. La valorisation principale porte sur le tronc considéré jusqu'aux premières grosses branches ; les parties plus menues sont valorisées sous forme de bois d'industrie pour les panneaux, la pâte à papier, l'énergie, etc.

La présence de nœuds dans le bois induit de l'hétérogénéité.



■ Coupe anatomique de douglas (résineux) et de chêne (feuillus).

■ Trace des nœuds dans une planche



té. Ils sont la trace laissée par les branches dans le bois ; ils partent de la moelle vers la périphérie du tronc. Même s'ils ne représentent que 1 % du volume de la tige, la dimension et la fréquence des nœuds conditionnent considérablement la résistance mécanique des pièces débitées dans la grume. Ils induisent une déviation locale du fil du bois et ont un impact esthétique non négligeable, plus ou moins apprécié suivant les débouchés. À la mort des branches, les nœuds ne grossissent plus mais, en l'absence d'élagage naturel ou artificiel, elles continuent d'être progressivement intégrées dans le tronc.

La formation du bois n'est pas un processus figé : il est sous la dépendance de facteurs tels que la durée du jour, la disponibilité en eau et en éléments minéraux, l'éclairage, la gravité, la température, les agressions biologiques et les aléas climatiques. En fonction de ces éléments, le cambium module son activité au travers de la fréquence des divisions cellulaires, de la proportion des différents types de cellules dans le tissu ligneux, de leur composition chimique ou en mettant en place des mécanismes de protection vis-à-vis des agressions extérieures. Dans une certaine mesure, l'arbre est susceptible de s'adapter aux modifications qui interviennent dans son environnement. Ainsi, soumis à un stimulus gravitationnel qui perturbe son équilibre morphologique, l'arbre est capable de ressentir l'importance de ce dernier, de produire du bois de réaction et de générer des contraintes de croissance permettant de pallier ce déséquilibre et de corriger sa morphologie.

Parmi les sources de variabilité des caractéristiques du bois figure l'âge du cambium. En effet, au cours des premières années de son existence (10 à 20 ans pour les conifères et 20 à 40 ans pour les feuillus), le jeune cambium, sous le contrôle de la production d'auxines dans le houppier, produit des cellules de bois juvénile. Par la suite et progressivement, le



cambium mature donne naissance au bois adulte. Ce dernier se caractérise par des cernes plus étroits et des propriétés toujours supérieures à celles du bois juvénile. Il peut donc s'avérer intéressant de réduire la proportion de bois juvénile, en limitant par exemple la croissance dans le jeune âge par l'adoption de densités de plantation plus élevées, ou encore en augmentant l'âge de la récolte des arbres.

■ Trace des nœuds dans une planche

■ Rondelle de mélèze

■ Partie de rondelle de chêne

Chez les espèces dites à duramen différencié telles que le chêne, le merisier, le douglas, le pin ou le mélèze, les cellules des cerne les plus anciens subissent, quelques années après leur formation, une transformation chimique appelée duraminisation. Ce processus induit généralement une coloration plus foncée du bois, qui se démarque alors de la couleur claire des cerne plus récents constituant l'aubier. Ce changement de couleur du bois a des implications esthétiques importantes, pouvant nécessiter l'élimination de l'aubier dans la perspective d'usages nobles. Par ailleurs, ces modifications chimiques induisent un accroissement notable de la durabilité naturelle du bois, tandis que l'aubier, toujours considéré comme non durable, ne convient pour des usages extérieurs que moyennant un traitement de préservation. Chez les espèces dites de bois blanc telles que le hêtre, l'érable, le frêne, l'épicéa ou le sapin, les modifications chimiques liées au vieillissement des cerne ne s'accompagnent pas d'une modification de la couleur et de la durabilité : on parle alors de bois parfait. Globalement, pour un âge fixé et à humidité égale, les propriétés mécaniques de l'aubier et du duramen sont similaires.

LES PROPRIÉTÉS DU MATÉRIAU BOIS

Les propriétés du matériau bois sont relativement bien connues. Elles sont cependant susceptibles d'évoluer en raison de modifications des pratiques sylvicoles initiées pour répondre aux nouvelles exigences des producteurs, transformateurs et utilisateurs. En outre ainsi qu'il a déjà été mentionné, ces propriétés varient largement en fonction notamment de l'essence, de l'individu, de l'âge des arbres, de la zone considérée dans le tronc ou dans le cerne. Compte tenu des nombreuses interactions entre ces paramètres, la prévision du niveau atteint pour ces propriétés est parfois complexe.

Au niveau microscopique, les propriétés physiques, méca-



niques, acoustiques ou encore thermiques du bois résultent des caractéristiques anatomiques et de la répartition des cellules du tissu ligneux. Ainsi, la morphologie, la proportion et la répartition des différents types de cellules affecte considérablement la masse volumique. Cette dernière propriété, généralement bien corrélée aux autres propriétés, revêt une importance particulière car elle conditionne fortement les potentialités d'usage du matériau. On notera que le forestier, par le choix des pratiques sylvicoles ou par la sélection génétique, peut contribuer à améliorer la masse volumique du bois.

En Wallonie, la production forestière résineuse vise généralement à produire du bois de structure qui fera appel à des exigences relatives aux propriétés mécaniques du matériau. Compte tenu de l'impact de la vitesse de croissance des arbres et donc des largeurs de cerne sur la masse volumique et sur la dimension des nœuds, le sylviculteur aura tout intérêt à conduire ses peuplements en respectant les normes sylvicoles préconisées. Ces dernières visent à trouver un juste compromis entre le dynamisme de la production et le maintien d'un niveau suffisant des propriétés en fonction des usages envisagés. Ceci étant, la tendance actuelle est à l'accélération de la croissance et au raccourcissement des révolutions : l'augmentation de la rentabilité des investissements, la diminution de l'exposition des peuplements aux risques biologiques ou climatiques, ainsi que la mécanisation poussée de la mobilisation des arbres militent en ce sens. L'arrivée de ces bois plus jeunes impose à l'industrie d'adapter les outils de transformation ou de développer davantage les produits en bois reconstitué.

En ce qui concerne les essences feuillues, hormis pour l'aspect de la rentabilité, la question de la vitesse de croissance est moins importante. Les propriétés mécaniques sont en effet généralement suffisantes pour un usage en construction, quelle que soit la largeur des cerne. Néanmoins, une distinction doit être faite entre les bois à zone poreuse tels






que le chêne ou le frêne, et les bois à porosité diffuse tels que le hêtre ou le bouleau. L'impact d'une accélération de la vitesse de croissance sur le bois des premiers entraîne une augmentation de la proportion de bois d'été dans le cerne et, partant, de la masse volumique. En ce qui concerne les seconds, l'augmentation de la vitesse de croissance est sans impact sur la masse volumique.

Pour autant, la vitesse de croissance a des répercussions sur d'autres propriétés, si bien qu'en fonction des débouchés retenus, on préférera des bois à cerne fin ou large. Ainsi, le chêne à cerne étroits est préféré pour la fabrication de barriques plus favorable aux échanges entre le bois et le vin. Il en va de même pour le tranchage ou la sculpture qui préfèrent le bois de chêne plus tendre issu d'une croissance lente. A contrario, une valorisation en plancher favorisera les bois plus denses, moins sujets au poinçonnement.

La durabilité naturelle d'un bois est une propriété importante lorsque l'utilisation envisagée rend possible des ré-humidifications plus ou moins fréquentes ou importantes. Cette durabilité s'exprime vis-à-vis des agents biologiques tels que les champignons et les insectes. Parmi ces derniers, certaines espèces sont capables de dégrader du bois sec en absence de ré-humidification du bois. La durabilité d'un bois est liée à des caractéristiques anatomiques et chimiques susceptibles de favoriser ou de freiner les dégradations biologiques de la matière ligneuse. Ces organismes assimilent le bois pour en extraire les composants élémentaires constitutifs des parois cellulaires nécessaires à leur croissance. L'aubier de toutes les espèces est non durable tandis que le duramen, lorsqu'il est différencié, présente un niveau de durabilité plus élevé mais variable d'une essence à l'autre en fonction de la présence d'extraits produits lors de la duraminisation du bois. À cet égard, l'allongement des révolutions des peuplements a un impact favorable en induisant une augmentation de la proportion du duramen.

En parallèle des propriétés du bois, la notion de qualité peut être discutée. Appliquée à un matériau, elle correspond à l'ensemble des propriétés qui conditionnent son adéquation avec les exigences des utilisateurs. Ainsi, lorsque l'on envisage les diverses propriétés du matériau ligneux et la multi-

-  Rondelle de douglas
-  Lame de plancher en robinier
-  Peuplement d'épicéa.



tude des voies de transformation et de valorisation du bois, il est évident qu'il existe autant de qualités que de produits manufacturés. La qualité ne s'envisage dès lors qu'en fonction de voies de valorisation spécifiques. Par ailleurs, certaines caractéristiques ou propriétés qui peuvent compromettre l'accès à une filière de valorisation peuvent s'avérer tout à fait intéressantes pour un autre usage. Ainsi, si le bois juvénile d'un épicéa est de qualité médiocre pour la réalisation d'un bardage, il est acceptable pour la fabrication de papier.

IMPACT DE LA SYLVICULTURE SUR LES PROPRIÉTÉS DU BOIS

Une grande partie des propriétés du bois sont déterminées tout au long de la vie de l'arbre, en fonction des nombreux paramètres en interaction qui vont conditionner les caractéristiques anatomiques et chimiques des tissus ligneux. Une fois élaborée dans l'arbre, la structure du bois est figée et il n'est plus possible de revenir en arrière et de la modifier. Tout au plus, et dans une certaine mesure, des traitements physiques ou chimiques peuvent, après transformation, conférer, modifier ou renforcer certaines propriétés du matériau. C'est donc au moment de la fabrication du bois dans l'arbre que le sylviculteur doit intervenir pour influencer sur ces caractéristiques.

En particulier, c'est au travers de son action sur la vitesse de croissance des arbres, sur leur morphologie, leur nodosité, ou encore la proportion de cime ou de duramen que le sylviculteur façonnera les propriétés du bois.

C'est dès le départ du projet de boisement que les choix du sylviculteur et du gestionnaire conditionneront les caractéristiques et les propriétés de la ressource produite. Ainsi, le type de régénération (naturelle ou artificielle, et dans ce cas l'origine génétique des plants) et l'adéquation de l'essence à la station ont un impact sur la croissance des arbres qui se marquera tout au long de la vie du peuplement et partant sur la formation du bois. La qualité du travail de plantation revêt également une grande importance, un chevelu racinaire mal positionné ayant des répercussions évidentes sur la forme de l'arbre. Les espacements à la plantation conditionnent la concurrence entre les arbres et donc la proportion de bois juvénile dans la grume, le défilement, ainsi que la dimension des nœuds et la mortalité naturelle des branches dans le jeune âge. Par ailleurs, la forme des arbres et partant les propriétés du bois peuvent souffrir de trop larges espacements. Par la suite, le type, le rythme et l'intensité des éclaircies conditionneront l'activité physiologique des arbres restant en place, la proportion du houppier, sa forme, la largeur des cernes ou encore la nodosité. À cet égard, la dimension et la fréquence des nœuds dans une pièce de bois sont gé-

néralement des facteurs importants pour sa résistance et ses potentialités d'utilisation. Par ailleurs, l'élimination des arbres de moins bonne venue est de nature à améliorer la qualité globale des peuplements, en favorisant les individus présentant les propriétés les plus recherchées. Il est à noter qu'en peuplement feuillu, une éclaircie trop intensive peu favoriser l'apparition de « gourmands » (branches épicromiques) susceptibles de nuire à la qualité des troncs.

L'élagage artificiel des branches mortes et vivantes, en éliminant une partie du houppier, a des répercussions notables sur la qualité et les propriétés du bois. D'une part, l'élagage a pour effet d'améliorer la forme des arbres dans la partie élaguée en réduisant le défilement et en améliorant la cylindricité du tronc. D'autre part, le bois produit dans la partie élaguée ne contient plus de nœud, ce qui est particulièrement favorable pour sa valorisation, pour autant que cette opération ait été effectuée suffisamment tôt afin de maximiser le volume de bois sans nœud. À défaut, le coût de l'opération peut ne pas être compensé par la plus-value financière éventuellement obtenue sur les arbres élagués. Enfin, la hauteur de l'élagage doit également être dosée afin de ne pas induire un ralentissement trop important de la croissance.

Finalement, la durée de la révolution du peuplement programmée par le forestier influence considérablement les propriétés globales du bois produit. Récoltée trop jeune, la grume présentera une proportion de bois juvénile trop importante, tandis que la proportion de bois duraminisé sera trop faible. Augmenter la révolution engendre des troncs de plus forte dimension, allant de pair avec un meilleur rendement à la transformation, une proportion généralement plus élevée de bois sans nœud, etc. Toutefois, la rentabilité financière peut souffrir de l'augmentation de la durée de la révolution, notamment parce que le prix de vente des grumes n'augmente plus au-delà d'un certain diamètre. Par ailleurs, les industriels rechignent généralement à acheter des bois de trop fortes dimensions, les chaînes de transformation fortement automatisées étant conçues pour des billes standardisées de moindres dimensions nécessitant peu de main d'œuvre.



Rondelle de chène

À l'issue de cette énumération, rappelons que toutes ces actions peuvent interagir, ce qui peut singulièrement complexifier l'évaluation de l'impact individuel d'une action sur les propriétés du bois produit. Par ailleurs, ces actions doivent être envisagées également sous l'aspect financier : la rentabilité de certaines peut être réévaluée à la lumière de l'amélioration des propriétés apportée, tandis que pour d'autres actions, l'augmentation de la production compensera la diminution du niveau de certaines propriétés.

CONCLUSION

Le matériau bois ne laisse personne indifférent et rencontre auprès du public un succès considérable. Néanmoins, sa mise en œuvre nécessite une bonne connaissance de ses caractéristiques, de ses propriétés et de son comportement.

La grande variabilité du matériau découle notamment des conditions de croissance et de la sylviculture, qui interagissent et influencent les caractéristiques du tissu ligneux. Celles-ci conditionnent le niveau des différentes propriétés qui déterminent sa qualité en fonction de l'usage envisagé. Les forestiers qui se relayeront tout au long de la vie de l'arbre exercent donc un rôle déterminant sur les potentialités de valorisation du matériau produit.

Dans ce contexte, la concertation entre sylviculteurs et transformateurs industriels apparaît primordiale afin que les attentes et les contraintes des uns et des autres soient clairement identifiées. Cette concertation est d'autant plus indispensable que la production s'étale sur des décennies.