

Quelle est la récolte annuelle de bois en France métropolitaine : est-elle durable ?

La récolte des bois en France métropolitaine comporte deux volets : une partie est auto-consommée, sous forme essentiellement de bois de feu, par les propriétaires privés et les habitants des communes (affouage) ; l'autre partie est commercialisée par les propriétaires publics (Etat, collectivités) et privés. Au cours de la période 1985-2015, la récolte commercialisée de la forêt française métropolitaine s'est accrue de 20 % du fait d'une augmentation structurelle de la demande en bois d'industrie et de feu, à laquelle s'est ajouté l'impact conjoncturel des tempêtes de 1987, 1990, 1999 et 2009. Selon les prévisions réalisées à l'horizon 2035 à partir de l'état de la ressource, cette croissance de la récolte de bois devrait se poursuivre. Cette augmentation de la récolte de bois procède-t-elle d'une gestion durable des forêts ?

La forêt en France métropolitaine : quelle récolte aujourd'hui ?

La récolte commercialisée en 2015 en France métropolitaine représente 37,4 millions de mètres cubes (Mm³) sur écorce. Elle se répartit en trois grandes catégories : le bois d'œuvre destiné au sciage, tranchage et déroulage en représente la moitié (18,9 Mm³) ; le bois d'industrie va surtout aux panneaux et à la pâte à papier (10,1 Mm³) et, pour le reste, aux poteaux (0,6 Mm³) ; le bois de feu sous forme de bûches et de plaquettes (7,8 Mm³), est en forte progression. S'y ajoute une récolte autoconsommée, non commercialisée, utilisée principalement pour l'énergie, estimée entre 18 et 25 Mm³ (selon l'étude FCBA-IGN/ADEME de 2016 et l'édition 2015 des indicateurs de gestion durable de forêts françaises métropolitaines IGN/MAAF).

La récolte de bois de feu, commercialisée ou non, est majoritairement feuillue, mais celle de bois d'industrie est résineuse à près de 60% et celle de bois d'œuvre à plus de 70%. En surface, on rappellera que les forêts françaises sont aux 2/3 feuillues et un 1/3 résineuses. Les principales essences de ce bois d'œuvre sont, dans l'ordre décroissant, les sapins et épicéas, le pin maritime, les chênes (sessile et pédonculé), le peuplier et le hêtre. Pour les volumes de bois commercialisé, les principales régions (anciennes configurations) sont : Aquitaine (19%) suivie de la Lorraine (11%), puis Auvergne, Rhône-Alpes et Bourgogne avec chacune 7%, et Limousin et Franche-Comté avec chacune 6%.

Cette récolte intervient largement dans le cadre d'une certification de la gestion durable des forêts (PEFC ou FSC) qui concerne plus de 50% des bois d'œuvre et d'industrie et plus de 40% du bois énergie. Il est évidemment utile, du point de vue de la gestion durable des forêts, d'appréhender l'effet de cette récolte totale, commercialisée ou non, sur le stock de bois en forêt. Cet effet est évalué par l'inventaire forestier national réalisé par l'IGN qui quantifie la croissance annuelle (production biologique), la mortalité naturelle qui vient en déduction, enfin les prélèvements de bois.

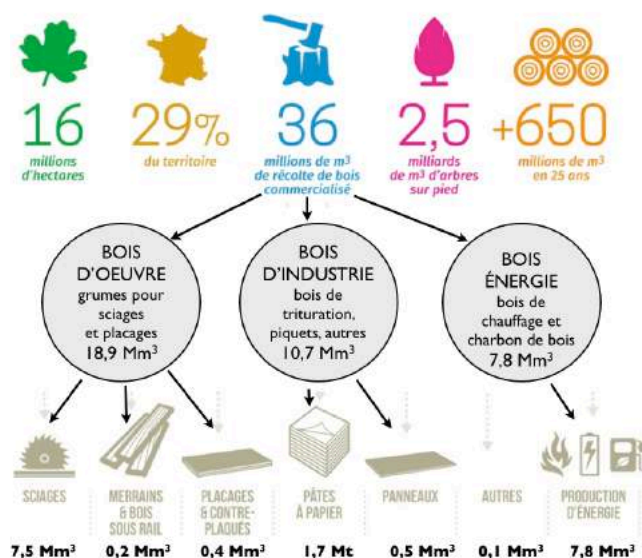


Figure 1. Les chiffres de la forêt et du bois en 2015 - Source : Agreste - MAAF (2014, 2016)

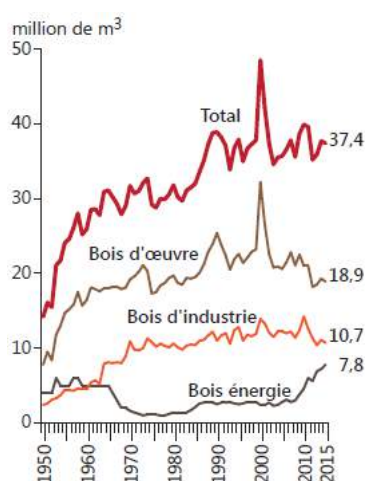
Ainsi, sur la période 2005-2013, et en se référant au volume des seules tiges des arbres (hors branches) et au-dessus d'un diamètre de 7 cm (volume dit « bois fort tige »), la production biologique s'élève à 91,3 Mm³/an, la mortalité naturelle à 8,5 Mm³/an, et les prélèvements à 41,4 Mm³/an. Il en résulte que **le taux de prélèvement de bois dans les forêts françaises métropolitaines est de l'ordre de 50%** (obtenu en divisant 41,4 Mm³ par la production biologique nette égale à 91,3-8,5=82,8 Mm³). Il en résulte une forte augmentation du volume de bois sur pied en forêt qui évolue au rythme d'un doublement en 50 ans. Ce taux moyen de prélèvement masque cependant des disparités entre les essences (taux est plus élevé pour les résineux), les catégories de propriétés (taux est plus faible pour les forêts privées), les conditions d'accès à la ressource, les régions (la Nouvelle Aquitaine a été contrainte à de forts prélèvements par les deux tempêtes de 1999 et 2009).

En conclusion, le prélèvement est cohérent avec les inventaires réalisés en forêt tandis que la récolte correspond aux quantités effectivement mobilisées pour les différents usages.

Encadré 1. Quelle différence entre prélèvement et récolte ?

Les prélèvements dont il est ici question se distinguent de la récolte pour plusieurs raisons : ils ne considèrent que le volume des tiges alors que des parties de branches sont récoltées ; ils englobent des pertes d'abattage qui, par définition, ne sont pas récoltées ; ils s'évaluent sur une dizaine d'années alors que la récolte commercialisée fait l'objet d'une enquête annuelle et que la récolte non commercialisée provient d'enquêtes périodiques auprès des ménages dont les déclarations ne différencient pas strictement le bois venant de forêt.

Quelles évolutions de la récolte au cours des dernières décennies ?



La récolte de bois commercialisé a globalement progressé au cours des dernières décennies (fig.2) mais différemment selon la destination des bois et les essences. Les bois d'œuvre et d'industrie se sont renforcés jusqu'en 2000 environ avant de stagner, voire décliner, hors effets des tempêtes de 1999 et 2009. Le bois énergie, qui avait quant à lui plutôt décliné, a commencé sa reprise pour se développer rapidement avec des politiques clairement en sa faveur et parvenir ainsi à stabiliser la récolte globale. Au sein du bois d'œuvre, la part des feuillus a considérablement baissé. Pour ce qui est du bois d'industrie, elle s'est dégradée après avoir augmenté jusqu'en 1980.

Figure 2. Récolte de bois commercialisé de 1950 à 2015. Source : SSP - Agreste - Enquête annuelle de branche exploitation forestière.

Quelle récolte potentielle à l'horizon 2035 ?

Une estimation réaliste des volumes de bois exploitables à l'échéance 2035 a été faite par un consortium FCBA-IGN/ADEME qui a utilisé des données inédites comme les mesures directes des prélèvements en forêt, la cartographie des forêts privées dotées d'un plan simple de gestion (PSG) et les cartes des zonages réglementaires (encadré 1). Ce travail s'est par ailleurs appuyé sur une méthodologie éprouvée (fig.3). Les résultats des simulations ont été produits en 2016 et font apparaître **une ressource supplémentaire potentiellement abondante** (fig.4, encadrés 2 et 3).

Encadré 2. Les approches suivies (fig.3) - Source : étude FCBA-IGN / ADEME (2016)

Les disponibilités en bois ont été calculées avec des modèles adaptés aux données de l'inventaire forestier national réalisé par l'IGN, et selon deux scénarios sylvicoles pour les 20 prochaines années: i) un scénario de « sylviculture constante » simule le maintien des pratiques actuelles observées ; ii) un scénario de « gestion dynamique progressif » consiste à augmenter progressivement les taux de coupe du scénario de sylviculture constante jusqu'à un niveau variable selon les catégories de propriétés et les zonages de gestion et dans le respect des principes de la gestion durable.

Les disponibilités en bois sont ventilées suivant les types d'usages potentiels des bois : bois d'oeuvre potentiel (BO-P), bois industrie bois énergie potentiel (BIBE-P) et Menus Bois (MB) qui incluent toutes les branches et brindilles de moins de 7 cm. Les volumes inexploitable pour des raisons physiques, environnementales ou économiques sont retranchés de la disponibilité brute pour obtenir la disponibilité technique et économique, dans laquelle les prélèvements actuels sont réalisés, le reste constituant la disponibilité supplémentaire.

Figure 3. Principales étapes de calcul de la disponibilité, depuis les données d'inventaire à la disponibilité supplémentaire - Source : étude FCBA-IGN / ADEME (2016)

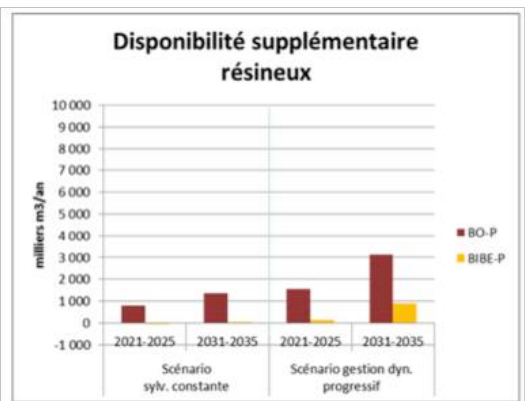
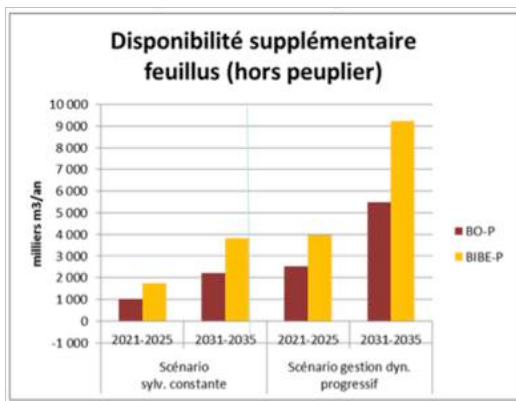
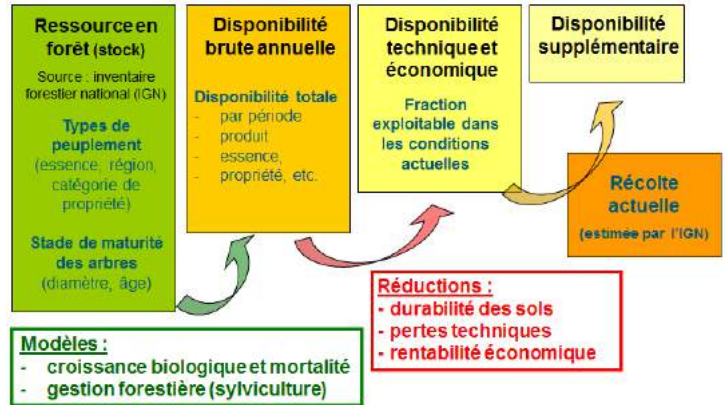
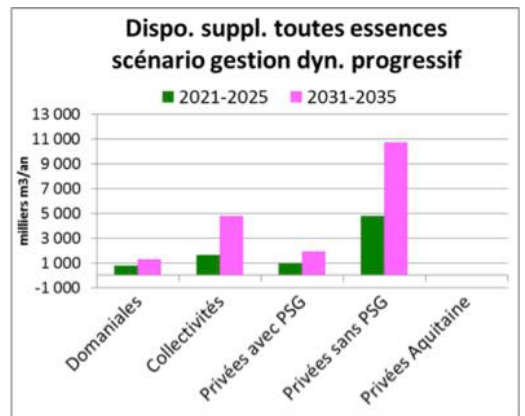
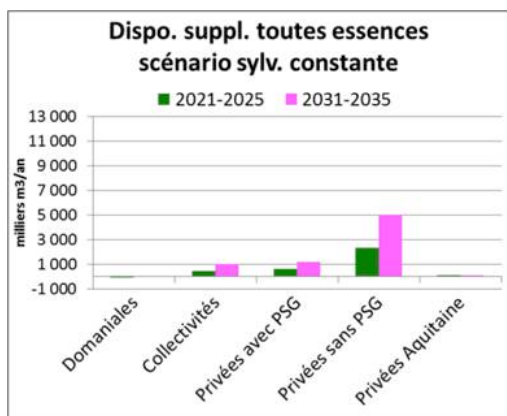


Figure 4. Disponibilité en bois à l'horizon 2035 par groupe d'essences et types de forêt en fonction de deux scénarios : sylviculture constante et scénario progressif de gestion dynamique - Source : étude FCBA-IGN / ADEME (2016)



Encadré 3. Quelle disponibilité supplémentaire ?

La disponibilité supplémentaire totale s'établirait en 2031-2035 à +7,6 Mm3/an avec le scénario de sylviculture constante (du fait de la seule évolution des classes d'âge dans la forêt française) et +19,8 Mm3/an avec le scénario de gestion dynamique progressive (avec en outre l'augmentation des taux de prélèvement). Les volumes additionnels croissent pour toutes les catégories de bois. Près de 80 % de la disponibilité supplémentaire concerne des essences feuillues, avec entre 6,1 Mm3/an et 15,8 Mm3/an en 2013-2035 selon le scénario mis en œuvre, dont la majorité de bois d'industrie et énergie. Les marges de croissance chez les résineux sont très limitées avec le scénario de sylviculture constante (+1,4 Mm3/an en 2031-2035) et exclusivement constituées de bois d'œuvre. La dynamisation de la gestion permettrait de mobiliser 4 Mm3/an en 2031-2035, dont seulement 0,9 Mm3/an de bois d'industrie et énergie, le plus souvent en montagne. La disponibilité supplémentaire est fortement concentrée dans les petites propriétés privées, sans plan simple de gestion (PSG).

Elle y atteint 5,2 Mm³/an en 2031-2035 avec le scénario de sylviculture constante et 11,8 Mm³/an avec le scénario dynamique progressif, soit 60 % du total national. En forêt publique, le scénario de sylviculture constante ne produit quasiment pas de disponibilité supplémentaire, avec +1 Mm³/an en 2031-2035 exclusivement dans les forêts des collectivités. La dynamisation de la gestion, là où elle est possible, porterait la disponibilité supplémentaire à +6,1 Mm³/an en 2035, majoritairement sous la forme de bois feuillus dans les forêts des collectivités. Source : étude FCBA-IGN / ADEME (2016).

Quelle récolte durable ?

La capacité de la forêt française à offrir une ressource naturelle renouvelable est actuellement sous-utilisée et permet une augmentation sensible de la récolte à l'horizon 2035. Si ce potentiel est sans doute insuffisant pour faire face à la demande de résineux, il est très substantiel en matière de feuillus. Une meilleure valorisation de ce potentiel nécessite un développement affirmé de la gestion des forêts, surtout privées, la recherche de solutions permettant de substituer du bois d'œuvre feuillu à du bois d'œuvre résineux et, de façon générale, un essor de l'ensemble de la filière forêt-bois soutenue par une politique ambitieuse. Des précautions restent nécessaires pour garantir au mieux localement la gestion durable des forêts. Les dispositifs institutionnels sont nombreux pour cela, y compris la certification. D'autres viennent s'y ajouter pour s'adapter à des contextes nouveaux : le développement des bioénergies incite notamment à veiller à la durabilité des sols et à la préservation des habitats remarquables. Des recommandations sont édictées à ce sujet.

La gestion durable des forêts consiste à prendre en compte l'ensemble des rôles de la forêt au profit des générations futures comme des générations présentes. Le faible taux actuel de prélèvement de bois dans les forêts françaises pose plusieurs problèmes à cet égard : il échoue à utiliser efficacement une ressource naturelle renouvelable ; il peut aboutir à une prise en compte insuffisante de rôles qui, au-delà de l'offre de bois, nécessiteraient une sylviculture plus marquée ; c'est en particulier le cas de la prévention des risques face aux menaces que constituent le vent, la sécheresse, les incendies, où certains organismes biologiques ; il est enfin susceptible d'empêcher de transmettre aux générations futures des forêts en pleines santé et vitalité. Une augmentation raisonnée des récoltes de bois dans les forêts françaises métropolitaines apparaît ainsi particulièrement souhaitable.



Figure 5. Chargement de bois en forêt - (Source : ONF)

Recommandation : consulter les fiches 3.11 et 7.04 et :
http://inventaire-forestier.ign.fr/spip/IMG/pdf/IF_prel-prod_web2.pdf
http://inventaire-forestier.ign.fr/spip/IMG/pdf/IGD_2015_FR.pdf
<http://www.fcba.fr/actualite/le-memento-2015-est-en-ligne>

Ce qu'il faut retenir

- La récolte reste très inférieure à l'accroissement biologique des forêts
- Au cours des dernières décennies, la récolte annuelle totale de bois commercialisé a légèrement augmenté avec une certaine stabilité depuis 20 ans
- À noter les pics de récolte liés aux tempêtes et le «boom» du bois énergie
- La récolte de bois d'œuvre résineux s'accroît tandis que celle des feuillus chute.
- Il existe un fort potentiel de bois supplémentaire récoltable dans de bonnes conditions de durabilité, surtout pour le bois d'œuvre feuillu, beaucoup moins pour les résineux.

Quels bois pour quels usages ?

La réponse à une telle question est bien complexe tant telle ou telle essence d'arbre, voire telle ou telle partie de l'arbre peut répondre à de nombreux usages. Ainsi au cours des siècles les utilisations du peuplier, par exemple, ont bien changé passant de la charpente, usage aujourd'hui oublié, à l'emballage et aux allumettes. Le chêne peut être utilisé dans de nombreux domaines et c'est plutôt son coût, ou les effets de mode qui font qu'il n'est plus guère utilisé en charpente, ou pour les meubles modernes. Bien que beaucoup de facteurs jouent et interfèrent pour orienter une essence, et/ou une partie de l'arbre vers une utilisation, la présente fiche s'efforce de répondre à la question en s'appuyant surtout sur les usages français.

Un aperçu des facteurs orientant les usages

Les différentes parties de l'arbre induisent immédiatement une première orientation en trois grands groupes d'usage : le bois d'œuvre (sciage, tranchage, déroulage) pour les troncs des plus beaux arbres, le bois d'industrie (pâtes, panneaux) pour les troncs de moindre qualité ou de petits diamètre généralement issus des premières éclaircies) et ou bois de feu pour les houppiers (branches et cimes).

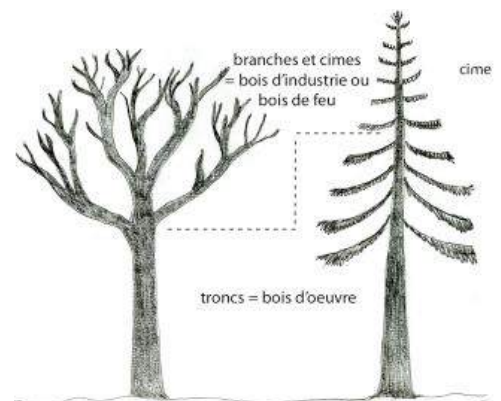


Figure 1. Les différentes parties de l'arbre



Figure 2. Bois d'industrie



Figure 3. Hêtraie



Figure 4. Bois d'œuvre (ci-contre)

Les qualités technologiques propres à chaque catégorie de bois, de mieux en mieux connues grâce aux études scientifiques orientent les usages. Ainsi pour les bois d'industrie, l'existence de **fibres longues** (principalement chez les résineux) sera particulièrement intéressante pour les pâtes destinées aux emballages qui exigent une forte résistance à la déchirure et à l'éclatement, alors que les fibres courtes des feuillus seront privilégiées pour conférer de l'opacité aux papiers d'impression écriture. Les petits bois de résineux, de hêtre, charme, frêne, se réduisant en particules pour fabriquer des panneaux agglomérés seront préférés au chêne et au châtaignier dont les tanins provoquent des taches disgracieuses sur les panneaux. Les bonnes **caractéristiques mécaniques** des bois d'œuvre seront valorisées en ce qui s'appelle les « emplois travaillant » notamment en charpente ou en ossature. **Les bois se fendant facilement** seront appréciés pour la fabrication de merrains pour les tonneaux dans le cas de certains crus de chêne, ou de tavaillons, essis, bardeaux pour les résineux tels sapins, épicéas, mélèze. Les **bois s'usant facilement, se teintant facilement** seront utilisés en ameublement ou agencement (hêtre, frêne, merisier, noyer, bois tropicaux...). Les **bois durs**, marquant peu sous les coups des talons des chaussures seront particulièrement intéressants pour le parquet (chêne, châtaignier). La **composition chimique** du bois parfait ou duramen (c'est-à-dire le cœur du bois, souvent de teinte différente de la partie externe ou aubier) de certaines essences, lui conférant une résistance aux atteintes biologiques des champignons ou insectes pourra être intéressante pour des usages extérieurs sans traitement chimique de préservation: cœur de chêne ou de mélèze, robinier, ipé, teck, et autres bois tropicaux.

La possibilité de **trancher le bois** en feuilles de très faible épaisseur permettra de fabriquer des placages permettant d'exprimer à la fois les nuances de couleur des bois mais aussi les images de ses différents constituants, veines du bois, mailles du bois (chêne, érable sycomore, bouleaux, bois tropicaux) etc... La possibilité de **dérouler le bois**, grâce à un énorme taille crayon horizontal et non conique permettra de disposer de feuilles de grandes dimensions permettant de fabriquer du contre-plaqué et des panneaux multiplis (hêtre, peuplier, okoumé). Enfin des qualités particulières pourront valoriser telle ou telle essence ou singularité (loupe en ébénisterie)

Les qualités esthétiques, c'est-à-dire l'aspect du bois, sa couleur, ses noeuds, son grain, la disposition de son fil (veines), ses caractéristiques propres (fil ondulé, mailles...) orientent les usages, notamment dans les domaines du meuble et des agencements intérieurs.

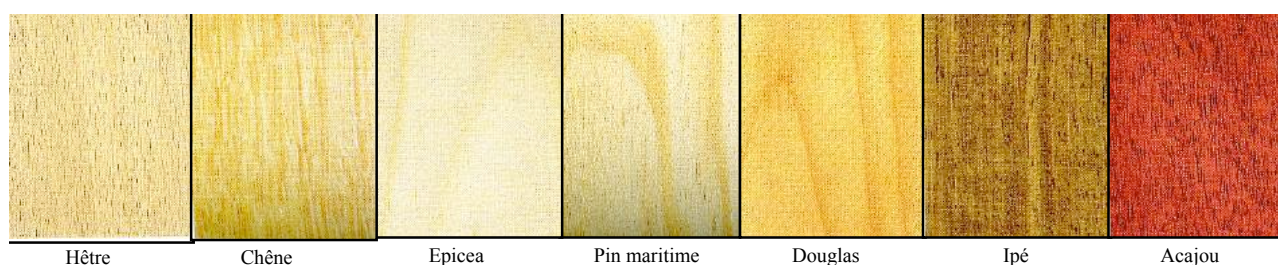


Figure 5 : quelques exemples d'aspect des bois

Tous ces éléments, auxquels s'ajoutent le facteur prix, fonction des disponibilités en bois, des décisions politiques pour les bois importés, amènent cependant en France à une utilisation majoritaire des feuillus dans l'ameublement, le parquet et l'aménagement intérieur et des essences résineuses dans la construction. Avec cependant en construction quelques exceptions pour des usages en menuiseries extérieures où certains feuillus résistant aux agressions climatiques et biologiques sont recherchés (chêne, robinier). La France importe des bois résineux pour la construction et des bois tropicaux pour le meuble et l'agencement et exporte des bois feuillus, notamment du chêne. Voir l'encadré en page 4.

Les grands domaines d'utilisation des bois en France

La pâte à papier : si toutes les essences de bois peuvent être utilisées, certaines sont privilégiées, soit pour leur rendement de transformation, soit pour les qualités de la fibre. Les principales essences sont donc les pins, le sapin, l'épicéa, le douglas, le hêtre, le charme, le peuplier, le chêne et les essences feuillues secondaires. Les pins et le douglas aux couleurs plus marquées mais aux fibres longues sont destinés à la fabrication de pâtes chimiques (seule la cellulose est conservée, la lignine fournit l'énergie à l'usine) pour le papier kraft, les résineux blancs (sapin, épicéa) sont eux privilégiés pour la fabrication de pâtes mécaniques, qui conservent les constituants des bois et entrent dans les papiers d'emballage et magazine. Les feuillus sont privilégiés pour l'impression et l'écriture.

Le secteur de l'emballage : les caisses pour les transports de gros matériels sont plutôt fabriquées à partir de résineux, notamment de pin maritime ; les palettes et caisses-palettes sont généralement en résineux ou en peupliers ; les bourriches, caissettes et cageots sont constituées de lame et/ou de lamelles contreplaquées de peupliers issues de déroulage .



Fig 6 : exemple de produits d'emballage en résineux et peuplier

Les travaux publics commencent à utiliser le bois : des sciages de résineux pour leurs résistances mécaniques (étagage, coffrage, échafaudages) et des panneaux. Ce sont des panneaux de contreplaqués en pin maritime souvent mais aussi des panneaux spéciaux pour certains coffrages constitués souvent de multiplis à base de hêtre.

Le secteur de la construction est un acteur majeur de l'utilisation du bois sous toutes ses formes. Les sciages résineux sont privilégiés en emplois travaillant, en charpente mais aussi en ossature avec aujourd'hui, suite aux travaux scientifiques, des caractéristiques mécaniques bien connues et normalisées au niveau européen permettant d'en optimiser les usages. Si épicéa et sapin (dits bois blancs) sont les plus utilisés notamment pour les grandes longueurs, l'utilisation du douglas prend de l'ampleur. Le pin maritime est privilégié pour l'ossature ou pour les charpentes de portée limitée. Tous ces bois sont aussi utilisés sous forme de lamellé-collé (sapin, épicéa, pin sylvestre, douglas). La construction c'est aussi la menuiserie extérieure et intérieure. En extérieur, pour les portes et fenêtres, et selon les régions et l'altitude, sont plutôt recherchées des essences résistantes aux agressions climatiques et biologiques comme le chêne, le douglas, le mélèze ou des essences tropicales comme le méranti, le curupixa, le moabi, ou des essences facilement imprégnables de produits de préservation comme les pins. En intérieur de très nombreuses essences peuvent être utilisées, pour des raisons esthétiques ou financière, issues de zones tempérées ou tropicales. Le parquet demande une réelle dureté de surface pour éviter le poinçonnement des talons aiguilles. On choisit alors : chêne, érable sycomore, hêtre, châtaignier, noyer, pour les essences de zones tempérées, ou avec des duretés encore plus élevées mais des couleurs et des prix marqués : ipé, cumaru, azobé, jatoba, etc, pour les essences tropicales. Enfin, la construction est aussi très grosse consommatrice de panneaux, surtout de particules.



Fig 7 : charpente, ossature et panneaux de



Fig.8 Huisserie en moabi



Fig 9 Porte extérieure en moabi

Le secteur meuble privilégie l'utilisation des bois feuillus, même si en montagne les résineux ont été et sont utilisés. Les **meubles massifs** sont généralement en chêne, noyer, châtaignier, merisier, plus rarement en bois tropicaux (acajous, palissandres). La recherche de nouveautés, l'évolution de la mode sont passées par des meubles massifs dits « ethniques » conçus avec des bois tropicaux aux teintes assez foncées, ilomba, iroko, kossipo, teck, puis plus récemment par des meubles aux bois clairs, frêne, bouleaux du nord, pitchpin, etc. Les **meubles d'ébénisteries** sont conçus avec une armature, faite de bois variés à faible coûts, recouverte de placages constituant la marqueterie. Celle-ci utilise de nombreuses essences dites nobles, souvent des bois tropicaux, amarante, bois de rose, divers acajous, ébènes, et palissandres, le citronnier, l'amourette, mais aussi de bois tempérés, pitchpin, buis, olivier, laurier, tous les fruitiers, les érables, etc. Le **meuble de premier équipement, courant, contemporain** est souvent conçu à partir de panneaux de particules ou de fibres, recouverts ou non de placages bois ou d'une finition synthétique, avec le cas échéant des façades en bois massif (meuble de cuisine, de rangement). Le **secteur de l'agencement** utilise à la fois feuillus et résineux en sciages et panneaux, avec pour ces derniers des panneaux en okoumé, aux teintes rosées, et des panneaux décoratifs, panneaux de particules, de fibres ou contreplaqués recouverts de placages d'essences nobles ou de stratifiés.



Fig 10 Marqueterie



Fig 11 Commode en marqueterie



F12 Siège (hêtre)



Fig13 Contemporains en frêne



Fig 14 Meuble en pin



Objets en bois tournés : charme, buis, olivier, cornouiller



Le violon : un cas très spécifique
Epicéa de résonance pour la table
Erable sycomore pour le fond
Ebène : touche, cordier, sillet
Alisier : chevilles et bouton
Pernambouc pour l'archet



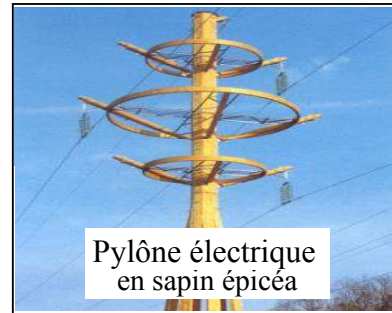
Figuratifs en tilleul
Panneaux et objets sculptés



Piquets en robinier

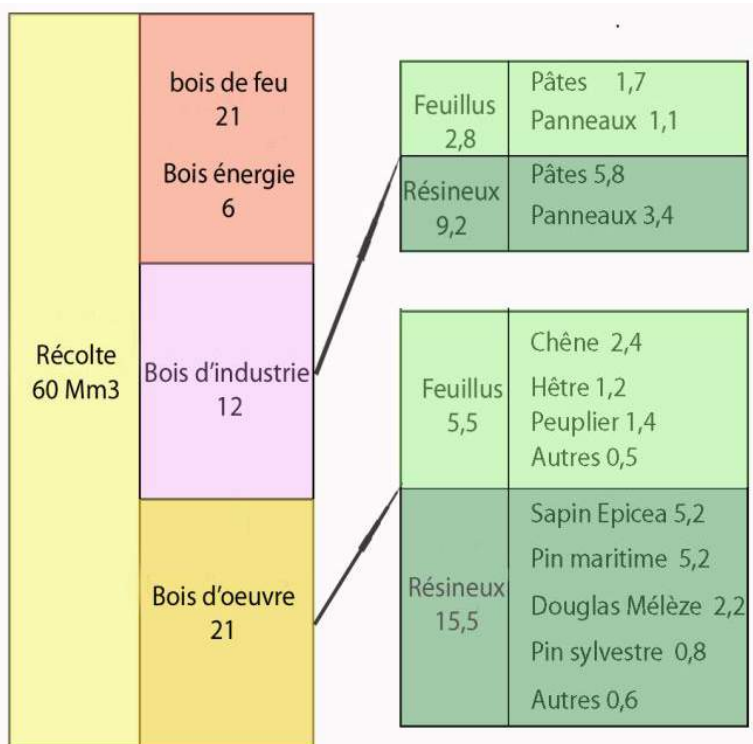


Manches d'outils en cornouiller et frêne



Pylône électrique en sapin épicéa

Bien d'autres exemples pourraient être cités : le balsa, très léger, pour l'aéromodélisme, l'ébène pour les flûtes, le bois de santal pour l'encens, le cèdre de Californie pour tous nos crayons de papier, et qui sait que la Joconde a été peinte sur un panneau en peuplier, etc...



Ce qu'il faut retenir

- Qualités technologiques, esthétiques et prix sont les trois grands critères qui conditionnent l'usage des bois
- Les résineux sont majoritairement utilisés en construction et les feuillus dans l'ameublement
- Beaucoup d'essences peu courantes et peu connues concernent des usages particuliers très pertinents
- Chêne, hêtre, sapin, épicéa, douglas, pin maritime sont les essences les plus importantes en volume en France

Quelle place pour le bois dans la construction en France?

Si certains des premiers hommes ont bien sûr utilisé et profité des abris sous roches existant, d'autres ne bénéficiant pas de ce type de formation géologique ont développé des campements en plein air utilisant ce matériau de choix par excellence, car bien plus facile à mettre en œuvre que les autres : le bois. Des huttes en bois et feuillage, chaume ou peaux, aux huttes entièrement en bois, l'art de la construction bois s'est développé largement alors que celui de la pierre était plutôt réservé aux couches aisées ou dirigeantes ou aux ouvrages publics ou de culte. Ainsi en France, pays de forêts, la construction bois a été très présente, bien au-delà des villages gaulois, et jusqu'au XVIII^{ème} siècle dans l'habitat rural. Elle a alors commencé à être concurrencée par d'autres matériaux (moellons, pierre, chaux, brique) puis plus sérieusement par la révolution industrielle de la fin du XVIII^{ème} et plus récemment par l'avènement du béton au XX^{ème}. La construction bois régresse alors fortement, sous la conjonction de plusieurs causes, restant cependant vivace pour certains ouvrages et dans les zones de tradition comme en montagne. Mais depuis une vingtaine d'années, une autre révolution s'annonce, résultat de la convergence d'une meilleure connaissance des possibilités du matériau avec les prises de conscience liées à l'environnement et aux économies d'énergie, qui donnent une nouvelle perspective au matériau bois.

Le bois : premier matériau de construction utilisé par l'homme

Aux huttes des chasseurs cueilleurs du paléolithique, faites de bois, de végétaux, ou de peaux, dont les traces les plus anciennes connues remontent à 400 000 ans, aux habitats plus variés du néolithique (de – 9000 à – 3 300), allant jusqu'à l'habitat lacustre de type palafitte, succèdent les maisons faites de troncs d'arbres empilés à l'âge de bronze (- 1 100 av JC). Puis les techniques évoluent.



Figures 1., 2. et 3.
Hutte préhistorique reconstituée ; maison sur pilotis ou palafitte ; maison faite de troncs empilés

En campagnes la construction des maisons s'appuie sur une structure à base de charpente bois dont les vides sont colmatés par divers matériaux, généralement du torchis, mélange d'eau, d'argile et de fibres naturelles (paille, foin, crin de chevaux, etc). Dans les villes, les Romains développent, à côté de leurs constructions en pierre destinées aux palais, temples et riches propriétaires, des constructions dites à pan de bois pour les populations moins fortunées. Pompéi, fondé au VI^{ème} siècle avant JC, témoigne de ces édifices dits "opus craticium" constitués de quadrillages de montants et de traverses en bois remplis de mortier. Herculanium montre même des constructions à étages en encorbellement (l'étage supérieur avance sur l'étage inférieur).

L'essor du bois

Ce type de construction à pan de bois, ou colombage*, fort utilisateur de bois, est en France à partir du haut moyen âge la technique prédominante de construction, remplaçant la pierre. Elle le restera jusqu'au XVIII^{ème} siècle, période où l'utilisation du bois dans la construction décline, du moins pour la partie ossature ou structure de l'habitation.

L'origine du terme colombage, plutôt utilisé pour désigner un ensemble de pan de bois, remonte vers le XI^{ème} siècle et vient du mot colombe au sens de « jambage » ou « poutre », lequel vient de columbe issu de la difficulté de prononcer le latin classique *columna*, colonne.

D'abord à un simple niveau les maisons vont devenir de plus en plus importantes et à étages. Les pans de bois longs initialement utilisés vont être remplacés par la technique des bois courts pour diverses



Figure 4. Hôtel Pirou à Thiers : en encorbellements

raisons : raréfaction des bois longs en ville et difficultés de transport, plus grandes possibilités architecturales des bois courts qui ont permis les encorbellements. Beaucoup de ces architectures ont été dans le passé recouvertes d'enduits cachant les pans de bois. Aujourd'hui ceux-ci sont plutôt remis en valeur. Ce type de construction se retrouve dans beaucoup de rues du centre de Paris et dans de nombreuses



Figures = 5 Maisons à pan de bois longs et courts du XVII^{ème} à Rennes - 6 maison à pan de bois et briques Blois - 7 Maisons à pan de bois et mortier à Blois - 8 Chalet traditionnel dans les Alpes

villes de nos provinces. Blois, entre autre, abrite de telles maisons qui ont 800 ans et sont toujours habitées. Et bien évidemment, au-delà de l'utilisation du bois pour la structure de l'ouvrage, celui-ci est largement utilisé en menuiserie (porte, fenêtre, lambris, parquet...). Cela étant, si l'essor du bois en emploi en structure s'arrête au cours du XVIII^{ème} siècle en ville, (exception faite jusque vers 1925 dans l'hausmannien parisien où seules les façades sont en pierre) et dans une grande partie des zones rurales, il n'en est pas de même en montagne ou la tradition du bois perdure dans le monde agricole et est même restée plus présente qu'ailleurs dans les villages.

Le bois menacé, le bois en déclin

À partir du milieu du XVIII^{ème} Siècle trois causes majeures vont affecter l'utilisation du bois dans la construction, du moins comme élément de structure, les autres emplois de menuiserie perdurant. La première tient à ce qu'il est convenu d'appeler la Révolution industrielle, dont l'une des origines est liée au développement de l'utilisation du charbon. Ce charbon, qui remplace heureusement le bois comme source d'énergie, permettant la reconstitution des forêts alors en mauvais état, va permettre de créer la fonte, le fer forgé, l'acier, et de mettre au point de nouvelles techniques de construction avec le rivetage, le soudage (vers 1850), créant ainsi de nouveaux modes de construction dont on admire aujourd'hui les réalisations les plus hardies pour l'époque comme la Tour Eiffel ou le viaduc de Garabit. Puis c'est la mise au point du ciment et surtout du béton de ciment en 1861 qui là aussi va permettre progressivement d'offrir de nouvelles possibilités constructives au détriment du bois. La seconde cause est liée aux guerres successives de 1914-1918 et 1939-1945, faisant des millions de morts, touchant dramatiquement la France, et conduisant à une perte de savoir et de savoir-faire importante dans le secteur bois avec la disparition de nombreux charpentiers et menuisiers morts au combat, ces savoir-faire se transmettant alors principalement par voie orale.

La troisième cause est plus insidieuse. En effet, le bois est un matériau qui a été donné à l'Homme par la nature, il ne l'a pas créé lui-même. Il n'en a donc pas déterminé toutes les propriétés comme il l'a fait pour le fer ou le béton, d'autant que celles du bois, matériau anisotrope issu du vivant, sont particulièrement complexes, liées à l'origine territoriale des bois, accrue par la diversité des forêts françaises. Ainsi, alors que les calculs des ingénieurs optimisaient de plus en plus l'utilisation du métal ou du béton pour les emplois travaillant, là où les résistances mécaniques doivent être sécurisées pour éviter les accidents, le bois continuait à être utilisé selon l'usage (largement surdimensionné) et perdait de sa compétitivité. En même temps la mise en place des normes et des DTU (documents techniques unifiés de la construction), résultats d'une démarche de consensus, conduisait les nouveaux métiers à se mobiliser fortement pour faire les compléments d'études nécessaires, alors que les métiers du bois, composés de petites entreprises, n'avaient pas les moyens financiers pour participer et conduire ces études très coûteuses. L'utilisation du bois pour ces emplois travaillant était donc pénalisée...et ce de plus en plus. Pendant cette période, la charpente bois résistera pour la maison individuelles (charpente traditionnelle ou industrielle), et seul le lamellé-collé créé en 1890 se développera en structure, car plus compétitif que le béton pour les ouvrages de grandes portées. (Pm : se développeront aussi : les panneaux de contreplaqué à partir de 1925 de particule à partir de 1940, mais pas en structure).

Le renouveau et l'avenir du bois dans la construction

La prise de conscience d'un handicap certain, alors que le matériau était toujours particulièrement apprécié par les populations, et avait des propriétés écologiques et environnementales certaines, eut lieu au début des années 1980. La profession, ses outils techniques (Centre technique FCBA) et de communication (CNDB) se mobilisèrent et investirent fortement pour faire évoluer la situation, tant en matière de recherche pour optimiser l'utilisation du matériau et établir les nouvelles règles techniques et normatives pour les résistances mécaniques des bois, et pour créer des solutions constructives innovantes, qu'en matière de communication. Communication qui en outre a pu mettre en avant, face à la crise énergétique et environnementale actuelle, les autres atouts du bois : matériau renouvelable, isolant thermique, régulateur de l'hygroscopicité, etc. Cette mobilisation ainsi qu'une formation-sensibilisation des architectes et acteurs de la construction a permis un réel développement basé sur :

i) les résultats de recherche permettant d'optimiser les résistances mécaniques des pièces de bois issus des forêts françaises en fonction de classements déterminés, visuels ou par machine, et d'imaginer aussi de nouveaux mode d'assemblage des bois (Fig 9 et 10) :

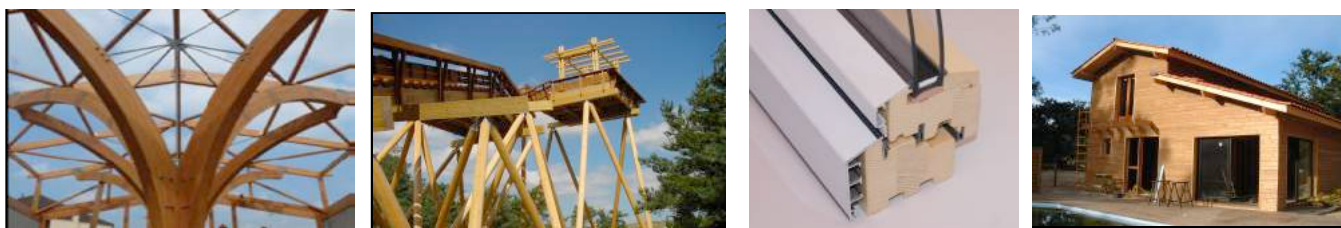


Figure 9, 10, 11, 12. Assemblages complexes de lamellé collé - Assemblages spéciaux (goujons collés)
Belvédère de Pessac - Exemple de lamellé complexe pour menuiserie extérieure - bardage extérieur en bois chauffé à haute température pour une meilleure durabilité



ii) la mise au point de nouveaux produits compétitifs issus, soit du progrès des colles comme pour les menuiseries extérieures performantes (Fig 11), les panneaux bois massifs pour l'habitat (Fig 15), les nouveaux parquets, soit d'autres techniques, notamment pour l'usage extérieur, bois chauffés à haute température (Fig 12), bois composites (Fig 13).

Figure 13. : exemples de bois composites (bois-plastique extrudé) pour la menuiserie

iii) le souci de répondre à la demande, appuyé sur la diversification des modes constructifs bois pour la maison individuelle ou le collectif : maison à ossature bois (les parois sont en panneaux de particules accrochés à l'ossature, Fig 14) ou encore : maison en panneaux porteurs en bois massifs lamellés-aboutés-contrecollés, Fig 15.



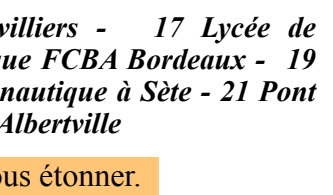
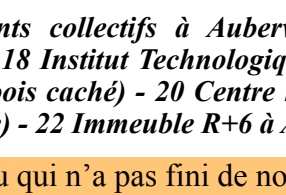
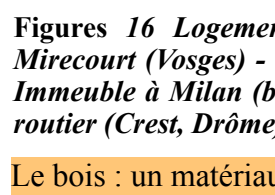
Figure 14. Maison à ossature bois (à gauche) et Figure 15. Maison bois à panneaux porteurs en sapin-épicéa, et exemple de panneau à gauche en pin (à droite)



Les développements de ces nouvelles techniques et de ces nouveaux produits, favorisés par la sensibilité des consommateurs à l'environnement et à l'intérêt du bois en matière énergétique, conduisent à un réel développement de l'utilisation du bois dans la construction tant pour la structure que pour le second œuvre, comme le montrent quelques exemples ci-dessous.



Figures 16 Logements collectifs à Aubervilliers - 17 Lycée de Mirecourt (Vosges) - 18 Institut Technologique FCBA Bordeaux - 19 Immeuble à Milan (bois caché) - 20 Centre nautique à Sète - 21 Pont routier (Crest, Drôme) - 22 Immeuble R+6 à Albertville



Le bois : un matériau qui n'a pas fini de nous étonner.

En 2016, l'immeuble bois culmine à R + 8 en France et R = 13 en Norvège. Des projets ambitieux sont lancés sur Bordeaux et Champs-sur-Marne (plan Nouvelle France Industrielles Bois) pour atteindre ou dépasser 15 étages est en cours d'étude afin de montrer ce qu'il est possible de réaliser avec le bois. Ces projet sont aussi conçus comme des démonstrateurs destinés à faire évoluer les règles actuelles de construction bois en France, plutôt pénalisantes.

Quelques points de repère :

- Si le chêne et le châtaignier ont principalement été utilisés pour les constructions à pan de bois, aujourd'hui les bois de structure sont essentiellement des résineux.
- Les feuillus sont plutôt utilisés en second œuvre : menuiserie (escaliers, boiseries, portes, fenêtre, volets) et en parquets.
- Le secteur de la construction utilise
 - 60% des produits manufacturés bois en France (sciages, panneaux, parquets, charpentes, menuiserie, placages, travaux de construction comme les coffrages), ce qui représente 9 millions de mètre cube de bois,
 - 25% de l'ensemble du bois utilisé en France, en intégrant la pâte et le bois énergie
- 60% des sciages destinés à la construction proviennent des forêts françaises, le reste est importé.
- La maison individuelle à base de bois représente 12% du marché, et le logement individuel groupé bois 11 %.

Ce qu'il faut retenir

- Le bois a été le premier matériau utilisé par l'homme pour s'abriter
- Il a été, sur le territoire national, le matériau majeur de la construction jusqu'au XVIIIème siècle
- Après une période de déclin, concurrencé par l'acier et le béton, le bois regagne une place perdue grâce, à une meilleure connaissance de ses propriétés, et à ses atouts
- Le secteur de la construction est aujourd'hui le principal utilisateur de bois d'œuvre et panneaux en France
- Les essences résineuses sont utilisées en structure, les feuillus plutôt en second œuvre.

Quelle place pour le bois dans l'ameublement ?

Agé de près de huit siècles, le secteur de l'ameublement est issu de l'artisanat et de sa tradition. Il cultive l'art de vivre à la française et est depuis toujours associé au matériau bois même si aujourd'hui d'autres matériaux font aussi sa renommée. Comment s'est-il adapté aux évolutions de nos modes de vie et de nos goûts ? Comment a-t-il conquis nos « espaces de vie » en apportant les réponses ergonomiques, économiques, réglementaires, environnementales et esthétiques qu'un consommateur, de plus en plus exigeant et changeant, réclame ?

Petite histoire de l'ameublement

Du moyen âge à l'âge industriel, les artisans du meuble se sont progressivement différenciés des menuisiers et des charpentiers en se spécialisant pour satisfaire une clientèle d'aristocrates et de notables. Le plus ancien meuble français en l'état semble l'armoire liturgique de l'abbaye d'Aubazine en Corrèze datée de 1176 mais il existe des meubles datant du VIème siècle, ayant subi des modifications. Au XIII siècle, les techniques sont encore communes aux artisans bois du bâtiment et de l'ameublement. A Paris, les artisans se spécialisent en huchiers, tabletiers et buffetiers. Ces artisans et compagnons utilisent (comme les gens du bâtiment) les bois de leur région et créent des styles « régionaux » ou « rustiques ». La commande aristocratique et royale s'adressera plus particulièrement aux ébénistes célèbres. A Paris, dans le Faubourg Saint-Antoine, se concentre l'essentiel de l'activité française des XVIIème et XVIIIème siècle avec production et distribution (Baudrillet, Boudin, Courson, Hédin, Magnien, Migeon, Moreau...). Les ateliers royaux, notamment de l'Arsenal, verront débiter les grands noms de l'ébénisterie (Boullé, Oeben, Leleu, Riesener...). Les styles se spécialisent avec les Louis XIII, XIV, XV, XVI. La révolution française perturbe le marché et supprime les corporations. Avec l'empire et un certain embourgeoisement, le meuble bois reprend de la vigueur : il est mis en avant dans les expositions universelles et les salons. Le XXème siècle voit les mouvements Art Nouveau puis Art Déco avec des talents comme Groult, Majorelle ou Ruhlmann. Enfin, après la seconde guerre, de nouveaux designers les Mourgue, Paulin, Putman, Starck... utilisant de nouvelles techniques émergent.



Figure 1. Commode Louis XV style provençal

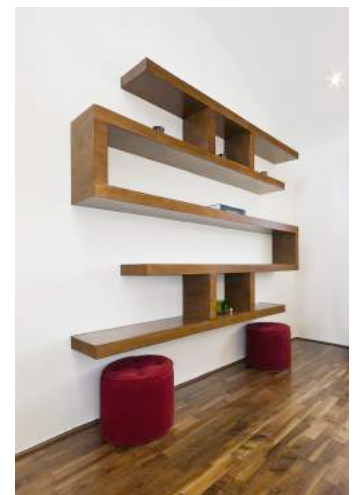


Figure 2 . Bibliothèque contemporaine en bois

Au cours de la seconde moitié du XXe siècle, quatre facteurs ont sensiblement modifié le secteur : l'industrialisation, le design et suivi de l'évolution du goût du consommateur, la concentration des enseignes de la distribution (But, Conforama, Ikéa, Alinéa..), et enfin, l'écoconception. L'industrialisation de la production fut à la fois celle de la fabrication de meubles massifs en grande série, et celle du développement des **panneaux à base de bois** répondant à des besoins de masse. Le panneau permet la constitution d'un caisson autoporteur. Les faces sont assemblées par des connecteurs, (assemblages mécaniques ou vis) notamment pour le kit, ou collées par tourillons. La face arrière est souvent composée de panneaux de fibres, durs et glissés en rainures assurant la rigidité de l'ensemble. Les portes en panneaux plaqués ou mélaminés voire stratifiés sont fixées par des charnières.

Les années 90 furent celles du revirement avec la fin des grandes séries, la nécessité de réagir vite face à la demande des consommateurs changeant leurs modes de vie, où la salle à manger, la chambre à coucher ne sont plus les meubles que les jeunes mariés achètent en priorité. Il faut souplesse et rapidité pour répondre à de petites séries grâce à l'entrée en force de l'informatique et de la robotisation. Les années 2000 marquent un nouveau tournant avec la compétition internationale, les restructurations, les délocalisations pour gagner en productivité et où le design devient primordial. Aujourd'hui les achats des ménages et des collectivités suivent de près la situation économique : la part du budget des ménages consacrée à l'ameublement est tombée à 1%. En période de crise, le meuble est un achat retardé par précaution. L'ameublement, par la baisse des prix, est passé du statut d'équipement à haute valeur nominale à celui de bien de consommation courante.



Figure 3. meuble en bois plaqué



Figure 4. Assemblage par tenon et mortaise

Quelles sont les essences utilisées ?

Avant l'arrivée des panneaux, les bois sont mis en œuvre sous forme massive ou en placage. Une trentaine d'essences indigènes ou exotiques sont utilisées. Le chêne est l'essence du meuble par excellence ; il est très développé dans les styles et copies de Louis XIII et Louis XIV. Le hêtre est utilisé en intérieur de meubles et en structure de sièges. Il a profité de la raréfaction de l'orme décimé par une maladie. Il nécessite un parfait séchage.

Le merisier, par sa couleur, était très recherché pour l'extérieur des meubles. Teinté, il a été utilisé pour l'imitation des meubles en acajou (style Régence). Il a été remplacé parfois par des bois d'importation (*Prunus serotina*). L'érable clair a été très prisé, comme le frêne notamment, dans la période Charles X. Le tilleul est utilisé en intérieur (tiroirs...) ou teinté pour les pieds de meubles. D'autres essences comme peuplier, châtaignier, charme, noyer, poirier et pin sont aussi utilisés. D'apparition concomitante au meuble en kit d'importation, le bouleau et différents résineux d'importation se sont aussi développés. Les placages ont fait appel à des bois exotique d'importation : kosipo, sapelli, palissandre... Citons enfin le bambou (qui provient non pas d'un arbre mais d'un stipe).

Coup d'œil sur les principaux process de fabrication

Pour les bois : les opérations successives sont les suivantes : délignage et tronçonnage, corroyage des quatre faces avec ou sans moulurage, tenonnage et mortaisage pour les assemblages (fig. 4) , encollage et serrage de profils, encadrage des panneaux, perçage, ponçage, montage des quincailleries, mise en teinte et finition (égrenage, vernis, cire, séchage).

Pour les panneaux : pré-débit des panneaux, assemblage des lés de placage, encollage double face des panneaux, pressage des faces, placage des chants, rainurage et perçage, ponçage, mise en teinte, pose de quincaillerie, montage ou emballage.



Figure 5. Ligne de montage de meubles de cuisines, usine Fournier Mobalpa de Thônes ; crédit photo Fournier Mobalpa

L'innovation, une stratégie nécessaire

Quand les modes de vie changent, les désirs d'achat suivent. Nous passons près de 4 heures devant un écran de télévision et d'ordinateur, nos goûts sont analysés par les sociologues qui nous classent en « tribus ». A défaut de pousser les murs, nous privilégions les solutions modulables et sommes plus enclins au changement. Notre mobilier (on parle de plus en plus de composants des espaces de vie où nous passons 80% de notre temps en travail, loisir et repos), doivent être aux dernières normes de sécurité, d'ergonomie, de « durabilité », d'accessibilité aux personnes à mobilité réduite. Aussi attachons-nous une grande importance à l'innovation et la recherche d'une part, au design d'autre part et à la qualification (essais, certifications, comparaisons...). L'attestation de l'origine française des produits fait l'objet d'une demande accrue dans l'hexagone.



Figure 6. Table console extensible
www.fabricant-de-meubles.com

L'acier, le verre, l'aluminium, les mousses, le cuir, les tissus synthétiques et bien d'autres nouveaux matériaux ont complété le bois et le tissu d'ameublement dans la palette du choix des designers et concepteurs. Ils font appel à des «matériauthèques» comme celle de FCBA. La recherche sur les matériaux innovants et l'ergonomie, l'éco-conception et la conception, étudiée *living lab* (laboratoire en liaison «visio» directe avec des individus ou groupe d'individus, permettant de tester de nouvelles conceptions de meubles, en conditions réelles ou virtuelles, et la simulation informatique autorisent des progrès sensibles. Par ailleurs, soucieux de la protection de l'environnement, les producteurs ont mis en place au travers de la REP (Responsabilité Elargie du Producteur) deux éco-organismes chargés de la récupération et du recyclage du vieux mobilier.



Figure 7. Chaise bois et cuir Photo : Chapo



Figure 8. Table basse bois et verre
Photo : <http://www.meuble-auboisdormant.fr>

Le meuble en bois : production française et échanges mondiaux

La production française de mobilier avoisine en 2013 6,6 Milliards d'Euros dont 75% pour l'industrie et 25% pour l'artisanat. Le premier secteur d'utilisation est représenté par le bureau, les collectivités : crèches, écoles, hôpitaux, lieux de sport et de loisir. Les principales régions de production étaient en 2012 les suivantes : Pays de Loire (32%), Rhône Alpes (13%), Ile de France (12%). Spécialistes du sur-demande, et aussi gros utilisateurs de bois, les agences d'intérieur interviennent pour les magasins (plus de 50% de leur activité), l'hôtellerie, le tertiaire (halls, auditoriums...) et les collectivités. La consommation est de 9,8 milliards €, l'import de 5.2 milliards € et l'export d'environ 2 milliards €. Ce déficit récurrent de la balance commerciale française "ameublement" de plus de 3 milliards € pèse pour une part notable dans le déficit de l'ensemble de la filière bois française. La France occupe le neuvième rang mondial (2,8%) des exportateurs de meuble. L'Allemagne est son premier client. Avec plus de 25% des exportations mondiales (39 milliards de \$), l'Italie poursuit son ascension devant la Chine, l'Allemagne, la Pologne et les Etats-Unis. Ce remarquable dynamisme italien est fondé sur un tissu régional de PME performant et sur un design attractif, alors même que le pays doit importer une bonne partie du bois nécessaire. Bientôt un meuble sur quatre fabriqué dans le monde sera consommé en Chine. Les grandes foires exposition en Europe sont Milan et Cologne.

Ce qu'il faut retenir

- A côté de meubles «tout bois» existent aujourd'hui des meubles multimatériaux
- Le bois produit «naturel», esthétique et de teinte variée plaît aux consommateurs et aux designers de meubles. Il est majoritaire dans l'agencement
- 50% des panneaux produits en France sont utilisés dans l'ameublement
- L'innovation et le design sont essentiels pour un secteur aujourd'hui concentré, dans lequel la distribution est capitale
- L'éco-conception et le recyclage aisé de l'ameublement bois en fin de vie est un atout environnemental important

Quelle place pour le bois dans l'emballage ?

L'emballage se définit comme un objet destiné à contenir et à protéger des marchandises, à permettre leur manutention et leur transport du producteur à l'utilisateur, et à assurer leur présentation. Le type d'emballage utilisé dépend de la nature des marchandises ; poids, taille, produits alimentaires, etc. ; il doit répondre à des cahiers des charges précis et des normes. Produit à durée d'utilisation relativement courte, l'emballage doit aujourd'hui pouvoir être facilement recyclé. Vis-à-vis d'autres matériaux, plastique, carton, quels sont les atouts du bois dans l'emballage et quelles sont les essences requises, quels sont ses domaines d'utilisation préférentiels ?

Quels sont les principaux types d'emballage ?

L'emballage en bois se décline en trois familles distinctes :

Les emballages « légers » concernent le conditionnement de produits agroalimentaires (cagettes, cageots). Les emballages légers en bois, dans certains cas, peuvent être assimilés à des emballages primaires ou de vente. Ils sont alors conçus de façon à constituer sur le point de vente une unité distincte pour le consommateur ou l'utilisateur final (bourriches d'huîtres, barquettes, boîte à fromage...).



Figure 1. Cageots de fruit (photo FCBA)



Figure 2. boîtes à fromage, barquettes, cagettes, bourriches (syndicat national de l'emballage) léger en bois
<http://emballage-leger-bois.fr/sites/>

On parle d’emballages « **sur mesure** » pour le transport de pièces volumineuses ou à forte valeur ajoutée, Ce sont des caisses ou emballages spéciaux dédiés au transport de produits volumineux (industries aéronautique, automobile, informatique, de défense, etc.) ou particulièrement précieuses (œuvres d’art).

Les emballages « **lourds** » sont constitués essentiellement par les palettes et caisses-palettes. Elles sont destinées à faciliter la manutention et l’acheminement de produits entre un fabricant et un distributeur, en vue d’éviter leur manipulation physique et les dommages liés au transport. Le produit est séparé de



Figure 3. Aire de stockage de palettes
(photo FCBA)



Figure 4. Emballage de type caisse-palette

Quelles sont les essences utilisées et les caractéristiques recherchées ?

Sauf cahiers des charges spécifiques, contraintes normatives ou législatives particulières, la plupart des essences courantes de bois peuvent être utilisées en l’emballage. Cinq principales essences sont utilisées pour la fabrication des palettes, caisses-palettes et caisses : peuplier, pin maritime, pin sylvestre, sapin-épicéa, douglas. Les emballages légers en bois sont fabriqués essentiellement à partir de bois de peuplier et, dans une moindre mesure, avec du hêtre et des pins (tasseaux d’angle). Le peuplier est un bois qui présente de nombreux avantages pour la fabrication des emballages légers : sa blancheur qui facilite le marquage, sa facilité à être déroulé, agrafé, imprimé et collé. Les critères de choix des essences sont :

- la densité et la résistance mécanique ;
- la qualité : absence de défauts ou de singularités (nœuds, fentes, anomalies de structure...) ;
- l’aptitude de mise en œuvre, qui apparaît, selon les cas, lors du sciage (planches, dés...), du déroulage (fonds, têtes...) ou du tranchage (planchettes), puis au cours des opérations complémentaires d’usinage divers (clouage ou agrafage) ;
- l’absence d’odeur : des bois, trop aromatiques ou riches en résine, pourraient communiquer leur goût ou leur odeur à des denrées périssables stockées de façon prolongée en atmosphère confinée ;
- la durabilité de l’essence par rapport à une utilisation donnée ;
- la valeur marchande : la matière première constitue la part essentielle du prix de revient d’un emballage classique (70 à 80 % du coût de revient d’une palette Europe).

La **masse volumique**, ou densité, est une donnée importante, car elle conditionne largement les **propriétés mécaniques**. Dans la pratique, on se limite à des masses volumiques généralement comprises entre 400 et 800 kg/m³ pour éviter les déformations et les ruptures mais aussi les éventuelles difficultés de clouage sur des bois trop durs, ou d'un poids excessif.

- Les peupliers sont les bois les plus légers et les moins résistants mécaniquement des feuillus. Toutefois, eu égard à leur poids, leurs propriétés mécaniques sont assez élevées.
- Le pin sylvestre est l'un des meilleurs résineux français sur le plan de la résistance mécanique et il résiste particulièrement bien en flexion et compression.
- Le pin maritime possède des caractéristiques mécaniques satisfaisantes ; il apparaît moins élastique et plus fragile aux chocs.
- Le sapin-épicéa est le résineux qui possède, au moindre poids, les caractéristiques mécaniques les plus élevées, notamment en flexion.
- Le douglas possède de très bonnes caractéristiques mécaniques pour des sollicitations en compression, mais il est nettement moins performant en flexion statique.

Deux chiffres pour illustrer l'importance de l'emballage bois : il utilise 5 millions de m³ de bois rond et représente un quart de la production française des scieries.

Quels sont les autres matériaux utilisés ?

D'autres matériaux présentent l'avantage de s'affranchir de quelques-unes de ses singularités. Plus homogènes, ils présentent une meilleure stabilité dimensionnelle et peuvent être produits en grande dimension. C'est pourquoi les fabricants de caisses utilisent ainsi régulièrement des panneaux de contreplaqué, de particules, de fibres, des OSB ; quant aux fabricants et reconditionneurs de palettes, ils emploient aussi des dés en bois moulés, qui servent de jonction entre les plateaux des palettes. Ces dés, composés de fines particules de bois compressées et amalgamées entre elles par une résine synthétique, connaissent un développement important, tant dans la fabrication que dans le reconditionnement des palettes. Cylindriques ou cubiques, ils présentent des caractéristiques techniques intéressantes : taux d'humidité et densité constants, bonne résistance à l'humidité, calibrage précis, bonne résistance à l'arrachement.

Les panneaux de particules (et de fibres) sont principalement destinés à être utilisés en milieu abrité, ce qui en limite les applications dans l'emballage. En cas d'exposition directe à l'eau, le gonflement en épaisseur peut être important et les qualités mécaniques largement dégradées. Il existe, cependant, sur le marché des panneaux dont la tenue à l'humidité a été améliorée et qui font l'objet d'une certification de contrôle. Les panneaux de contreplaqué (de 5 à 15 mm, en général) sont surtout utilisés pour la fabrication de caisses industrielles (emballages maritimes destinés à l'export). Ils présentent de nombreux avantages : allègement de la masse, diminution du volume, bonne imperméabilité...

On trouve des dés en plastique, des intercalaires (plastique, papier ou carton), des films de polyéthylène, alvéolé, antistatique, des polystyrènes, des poudres de dessiccation, etc. Les films plastiques sont utilisés lorsqu'il est nécessaire d'isoler la marchandise de son emballage.

Quelle fin de vie pour les emballages en bois ?

À l'issue d'un cycle d'utilisation, à défaut de réemploi dans sa fonction initiale, l'emballage est alors considéré comme un « déchet ». Mais ce déchet devient sous-produit, ou matière secondaire, dans le cas d'une valorisation effective. Deux modes de valorisation du « déchet » d'emballage sont possibles :

- la valorisation énergétique, qui correspond à la combustion du bois avec récupération d'énergie.
- la valorisation matière, qui correspond à un recyclage du matériau bois ;

Les palettes en fin de vie et, dans une moindre mesure, les emballages légers nécessitent une transformation en un élément de petite taille qui s'apparente à une plaquette de bois : le broyat. Sa production nécessite une opération de déferrage (pointes, agrafes). Généralement, le broyat présente une humidité de l'ordre de 25 % et sa granulométrie est comprise entre 2 et 5 cm pour une épaisseur variant de 0,5 à 1 cm. Le broyat de palettes présente un pouvoir calorifique d'environ 3 800 kWh/tonne à 25 % d'humidité, soit un pouvoir calorifique double de celui des écorces. En outre, il est quatre fois moins générateur de cendres que les écorces. Aujourd'hui, le broyat est utilisé dans les chaufferies industrielles et collectives, en complément des sciures et des écorces, essentiellement pour préparer un combustible plus sec. Le broyat trouve enfin des débouchés en mulch coloré utilisé en couvre-sol à des fins décoratives, pour le revêtement d'aires de jeux, ou bien entre dans la composition de composts.

En termes de valorisation matière, le broyat de palettes peut entrer dans la composition des panneaux de particules et, dans une moindre mesure, de fibres. Dans les deux cas, les fabricants ont des exigences assez strictes (bois résineux ou feuillus tendres, humidité de 25 à 30 %, souillures refusées : métaux, produits de traitement, plastiques... La valorisation matière comprend aussi le recyclage à travers le réemploi d'éléments sains (planches, dés, chevrons) issus de palettes en fin de vie pour la réparation de palettes usagées (cas le plus courant) ou pour la fabrication de nouvelles palettes.

Le bois a des atouts pour l'emballage

- très bon rapport performance/poids pour tous les éléments structurels d'emballage (côtés, planches, fonds etc.), d'autant plus élevé que le bois est léger (intérêt du peuplier)
- capacité d'absorption de l'énergie du choc à faible contrainte de contact, car le bois en sens transverse se comporte comme une mousse et la contrainte de contact varie comme le carré de la densité
- bon comportement vis-à-vis de l'humidité : les propriétés mécaniques ne chutent pas beaucoup en cas de reprise d'humidité et le bois est capable de réguler cette reprise d'humidité en évitant les stagnations d'eau liquide
- capacité d'inhibition ou de ralentissement du développement des bactéries,

Ce qu'il faut retenir

- Léger, résistant, naturel, économique, l'emballage bois surclasse les autres matériaux notamment dans l'usage agroalimentaire
- Son image de produit «naturel» plaît au consommateur
- L'emballage est un important débouché pour le bois : 25% de la production des scieries est utilisé par le secteur de l'emballage
- le bois est dominant dans la fabrication de palettes
- le recyclage aisé de l'emballage bois en fin de vie est un atout environnemental important

Quelle place pour le bois dans l'industrie du papier et du carton ?

Les fibres cellulosiques, constituants de base des papiers et cartons, sont extraites du bois ou d'autres végétaux par des procédés mécaniques ou chimiques. Vu le rôle majeur de ces fibres, que représentent elles pour l'industrie papetière ?

- Peut-on utiliser des végétaux autres que des arbres pour produire des fibres papetières ?
- Que représente le bois, en termes de quantité, qualité, essences et origines géographique, dans la production des papiers et cartons fabriqués en France ?
- Le recyclage des papiers ne signifie-t-il pas que la production de papier pourra se passer de bois ?

Le bois est-il la seule matière première fibreuse utilisée pour fabriquer du papier ?

D'autres végétaux que les arbres sont utilisés pour la fabrication du papier lorsque les caractéristiques recherchées (résistance notamment) ne peuvent pas être obtenues en utilisant des fibres issues de ligneux.

La fabrication de papiers fiduciaires, de papiers minces pour l'impression (notices de médicaments...) ou encore de papiers cigarettes, conduit à l'utilisation de plantes annuelles (coton, lin...). Le volume des éléments fibres provenant de plantes annuelles est cependant très faible, et ne représente que 0,2 % du total des fibres entrant dans la fabrication des papiers et cartons en France. Notons toutefois que, dans diverses régions du monde, principalement au sein des pays en développement, la production de papier s'effectue encore pour partie en utilisant les ressources végétales non ligneuses présentes localement (paille, riz, kénaf...). Les médiocres performances de ces matières premières, tant sur le plan environnemental qu'économique, ont cependant conduit à rendre largement dominant la production de papier à partir de fibres issues du bois. Le carton est par nature très proche du papier et les procédés de fabrication en sont similaires. Deux méthodes sont utilisées : soit à partir de papiers ou cartons récupérés avec ou sans addition d'autres substances, soit à partir de feuilles de papier.

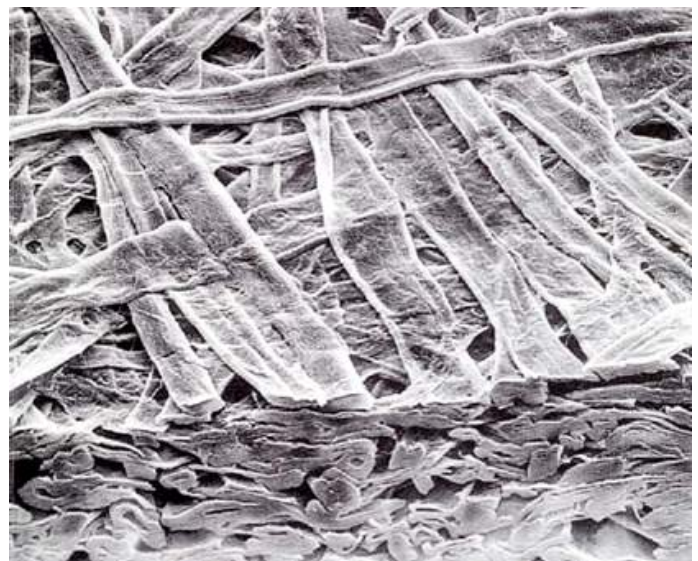


Figure 1. feuille de papier à fort grossissement
(crédit Copacel)

Que représente, en volume, nature et origine, le bois français utilisé pour produire du papier ?

Près de 8 millions de tonnes de bois français ont été utilisées en 2013 pour produire de la pâte de cellulose (voir Fig. 3). Ce tonnage, à peu près stable depuis 2009, est la résultante des augmentations de capacités de production dans certaines usines, et de la fermeture de deux sites de plus faible capacité, dans le Nord et l'Est de la France, produisant du papier magazine.



Figure 2. Camion chargé de rondins se dirigeant vers le tambour écorceur d'une usine de pâte (crédit Copacel)

Notons également que le bois provient directement des forêts (bois d'éclaircies, taillis, houppiers...) pour près de 70 %, mais également, pour le solde, de Produits Connexes de Scieries (PCS). En ce qui concerne les essences utilisées, celles-ci sont constituées pour 68 % de résineux (Pin maritime, Epicéa, ...) et pour 32 % de feuillus (Châtaignier, Peuplier, ...). Cette répartition, qui diffère de celle qui existe en France entre feuillus et résineux, tient au fait que les fibres des différentes essences ont des caractéristiques qui leur sont spécifiques, et qu'elles ne sont de ce fait pas substituables. Les fibres de résineux, plus longues que celles des feuillus, concourent à la résistance des papiers, tandis que celles des arbres à feuilles caduques donnent de l'opacité. Enfin, pour ce qui est de son origine géographique, le bois (sous forme de rondins ou de Produits Connexes de Scierie) utilisé pour la production en France de pâte de cellulose provient à 95 % du territoire national, et pour le reste essentiellement des pays limitrophes (Espagne, Allemagne...).

Consommation de bois

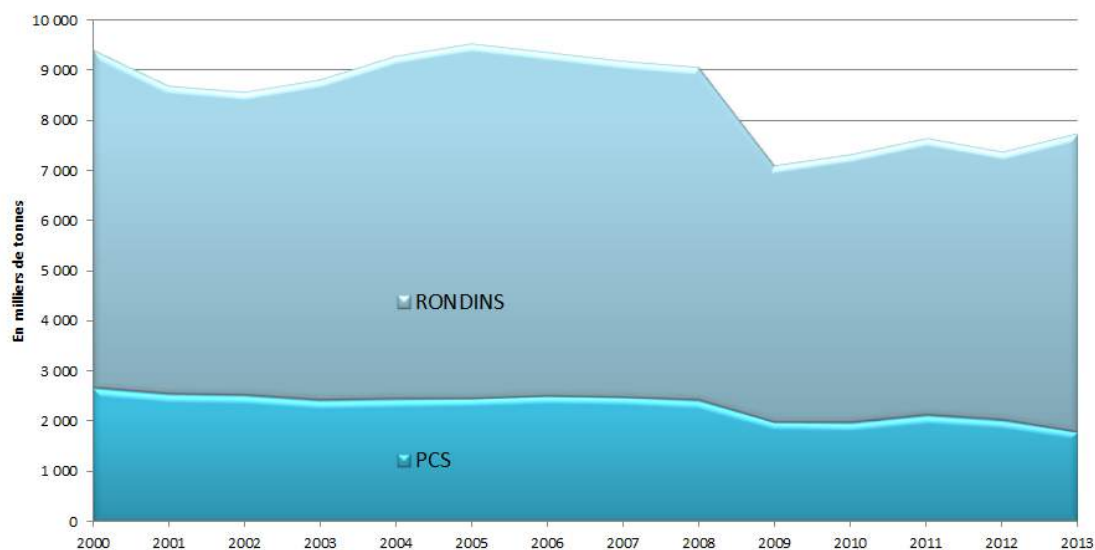


Figure 3. Évolution de la consommation de bois français destiné à la production de pâte de cellulose : rondins et produits connexes de scierie (PCS)



Figure 4. Plaquettes de scierie avant déchargement dans une usine de pâte de cellulose (crédit : Copacel)

Le développement du recyclage des papiers et cartons ne conduira-t-il pas à ne plus utiliser de bois pour produire du papier ?

L'industrie papetière française a accru de manière sensible l'utilisation de fibres récupérées au cours de ces vingt dernières années. Ces fibres, qui proviennent du recyclage des papiers et cartons usagés, représentent en 2013 un peu plus de 60 % du total des fibres entrant dans la composition des papiers et cartons. Les 40 % restants sont des fibres vierges produites en France ou à l'étranger et importées dans ce cas sous forme de « pâte marchande ». Cette tendance ne doit pas laisser penser que demain la fibre vierge ne sera plus utilisée. En effet, les fibres papetières s'altèrent à chaque boucle de recyclage, de sorte qu'il sera toujours nécessaire d'avoir recours à des fibres neuves pour remplacer celles qui ne sont plus aptes à être utilisées (car coupées, délitées...) et qui de ce fait se retrouvent sous forme de « boues papetières »



Figure 5. Collecte de papiers récupérés pour le recyclage en Italie (crédit wikimedia)

dans les usines utilisant les « vieux papiers » comme matière première. A l'échelle mondiale, cette utilisation de fibres neuves est d'autant plus nécessaire que la production de papier et cartons est croissante, et nécessite de ce fait l'apport de fibres neuves.

Produire et utiliser du papier ne signifient pas la destruction de la forêt !

L'idée reçue la plus communément répandue, est que la fabrication et l'utilisation du papier participerait à la destruction des forêts. Les médias (presse, radio, télé), certaines ONG et même les organes étatiques contribuent à populariser largement cette contre-vérité. Le papier est en effet un matériau provenant d'une ressource naturelle renouvelable, le bois, ce qui le distingue des matériaux provenant de ressources minières. Le bois utilisé par l'industrie papetière française provient des coupes d'éclaircies, des taillis et des cimes des arbres, mais jamais des troncs dont le diamètre permet produire des sciages destinés à la construction, l'emballage, l'ameublement, et dont le prix plus élevé n'est pas économiquement compatible avec la fabrication du papier. Ces coupes d'éclaircie correspondent à une nécessité sylvicole : récolter les arbres de petite taille ou mal conformés pour laisser une espace vital suffisant aux tiges d'avenir qui fourniront ultérieurement du bois d'œuvre à forte valeur. L'achat des coupes d'éclaircie par les industries du papier contribuent ainsi aux revenus des sylviculteurs, des bûcherons, des entreprises de transport de bois. De ce fait, l'industrie papetière participe à la gestion durable des forêts. Les déchets et chutes de l'activité de sciage du bois d'œuvre (écorces, plaquettes), des activités de l'ameublement, de la construction ou de la menuiserie, contribuent également à cet approvisionnement pour un tiers du volume total. L'industrie papetière ne participe donc pas à la déforestation (95% des bois proviennent de France ou des pays voisins où les forêts sont gérées de manière durable). Pour démontrer ses bonnes pratiques en termes d'approvisionnement en bois, l'industrie papetière utilise le plus largement possible des fibres que des tiers ont certifiées comme provenant de forêts gérées durablement. Ces systèmes de certification (tel PEFC ou FSC) visent à apporter la garantie au consommateur qu'il peut acheter les produits en bois ou dérivés du bois sans crainte que ceux-ci contribuent à la déforestation.



Figure 6. Usine de production de papier photocopie intégrée sur une unité de pâte de cellulose : Saillat (Corrèze) - Crédit : Copacel

Ce qu'il faut retenir

- Le bois est la source de fibres la plus utilisée pour la fabrication du papier
- 60% des papiers sont produits à partir de papiers recyclés et 40% à partir de fibres vierges
- Les fibres vierges proviennent à 30% des déchets de scierie et à 70% de petits bois (éclaircie) ou de résidus d'exploitation (branches)

Le bois est-il encore une source d'énergie ?

Le bois énergie représente à l'heure actuelle, la première consommation de bois issu des forêts françaises et le nombre d'utilisateurs a tendance à s'accroître avec l'augmentation des prix du pétrole, du gaz et de l'électricité et les préoccupations environnementales. Le bois énergie se situe au premier rang dans la production primaire d'énergies renouvelables*, loin devant l'hydraulique et les biocarburants de première génération. Par ailleurs considéré comme neutre au point de vue CO₂ son utilisation est favorisée par les pouvoirs publics.

* énergies dont la source se renouvelle à l'échelle de temps humaine.

Le Bois énergie en quelques chiffres et sa place dans la consommation énergétique nationale

Le bois est un mode de chauffage qui séduit de plus en plus de particuliers et de collectivités ou d'industries. Sa consommation est, quant à elle, restée stable, pour le chauffage individuel grâce notamment à l'amélioration des performances énergétiques des appareils mis sur le marché. C'est une source d'énergie significative, représentant **47% des énergies renouvelables et 4% de l'énergie primaire** consommée en France, sachant que la part relative des énergies renouvelables dans la consommation d'énergie primaire est en croissance faible et encore seulement depuis 2008.

Le Bois-Énergie correspond à 41 millions de m³, ou 9 millions de tonnes équivalents pétrole (Mtep), dont 27% pour le chauffage collectif, tertiaire ou industriel (part en croissance) et 73% pour le chauffage domestique. Le combustible utilisé se présente sous différentes formes : plaquettes forestières (ou copeaux), produits connexes de scierie, produits bois en fin de vie, granulés (pellets en anglais), bûches ainsi que la "liqueur noire", sous produit de la fabrication de la pâte à papier chimique. Aux installations classiques de combustion (domestiques, collectives/ industrielles) s'ajoutent maintenant de nombreuses installations avec une cogénération. La consommation de bûches reste majoritaire pour le chauffage individuel (31 Mm³ soit 6.9 Mtep) mais stable depuis 1999, malgré une augmentation du nombre d'utilisateurs passé de 5,9 millions en 1999 à 7,4 millions en 2012 : on observe une diminution de la consommation individuelle due à un meilleur rendement des appareils et au remplacement des foyers ouverts (33 % en 1999 à 17 % en 2012) par des poêles à bûches (de 8 % à 23,6 %), alors que l'utilisation du bois en énergie principale est passée de 30 % à 50 % des utilisateurs et que 23 % se chauffent uniquement au bois. (Source ADEME).

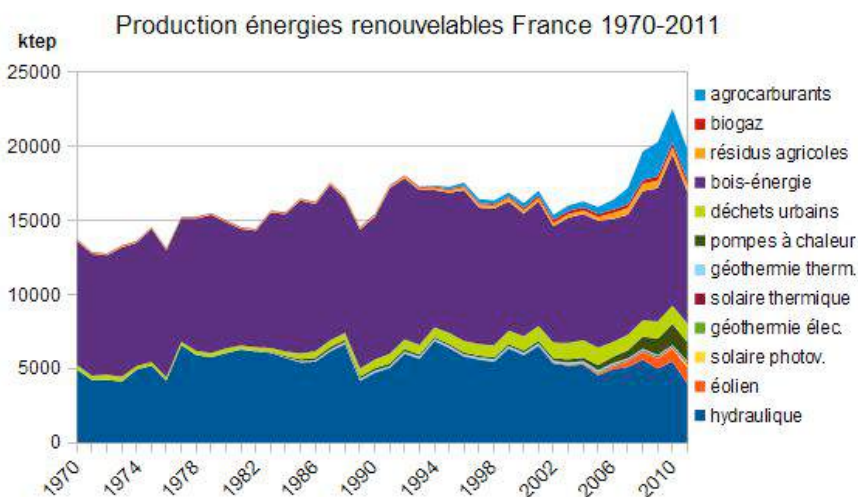
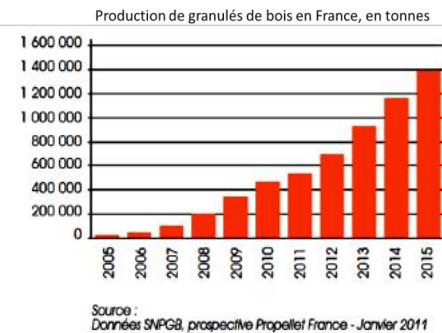


Figure 1 : Production d'énergies renouvelables en France, 1970-2011. Source: base de données "Pégase" du Ministère de l'Écologie

Pour sa part, le chauffage avec des granulés de bois est en forte augmentation. La production est passée de 20 000 tonnes en 2005 à 680 000 tonnes en 2012, (1,4Mt prévues en 2015, cf. figure 2), sans compter quelques importations minoritaires en provenance de l'ouest du Canada et du sud des Etats-Unis. Les prévisions sont également optimistes (fig.6 : le marché des chaudières à bois). Les projections pour l'avenir tablent sur une croissance soutenue (fig. 6), et pour suivre cette demande, l'approvisionnement nécessaire à la production des granulés de bois se diversifie : outre les sciures et copeaux issus de scieries (résineux ou feuillus), une nouvelle source provient des résidus de gestion forestière (souches, houppiers, branchages, cimes), avec une usine qui vient de démarrer.

Figure 2. Production française de granulés de bois

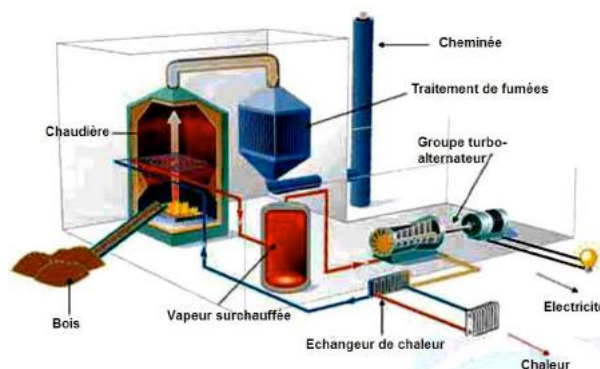


La cogénération (cf schéma fig. 3) se développe en accompagnement des chaufferies collectives et industrielles. L'énergie contenue dans le bois est convertie en vapeur haute température et haute pression dans une chaudière. La vapeur ainsi produite est ensuite :

- détendue au travers d'une turbine à vapeur couplée à un alternateur produisant de l'électricité.
- utilisée directement dans un procédé industriel ou à travers un échangeur de chaleur sous forme d'eau chaude (réseau de chaleur, séchage de produits industriels, chauffage de bâtiments, etc.).

Notons que le TRE, Taux de retour énergétique (Energie utilisable/Energie dépensée) compris entre 20 et 40 pour le bois énergie, dépend du coût énergétique de l'approvisionnement et de la technologie de conversion. La cogénération aurait un TRE élevé, proche de 40. Le TRE bois énergie est à comparer à celui des biocarburants (0,8 -16), du pétrole (17), de l'énergie nucléaire (5-15), de l'énergie éolienne (~18) et du photovoltaïque (~ 7). Source: Forest Bioenergy for Europe, "WhatScience can tell us 4", EFI, 2014, p93

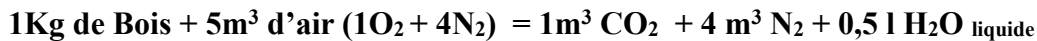
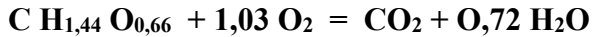
Figure 3 Schéma de la cogénération à partir de bois
(Source ADEME)



Le chauffage domestique : Pour expliquer les problèmes posés par le chauffage individuel, il est nécessaire de bien comprendre ce qu'est la combustion. Comme pour tous les combustibles solides, la première étape est la pyrolyse (cf fiche 7.07) où le bois, avec apport de chaleur (allumage), se décompose en gaz, liquides (goudrons) et solide (charbon) cf figure 4. Les gaz CO, H₂, CH₄, combustibles se forment à partir de 300°C environ, température d'inflammation du bois.

Les proportions relatives de gaz, goudron et charbon dépendent de l'état de division du combustible, et de la température de pyrolyse, donc de combustion. Ces goudrons contenant des hydrocarbures aromatiques (HAP) sont cancérigènes. Ils doivent être filtrés ou craqués par traitement catalytique durant ou après la combustion. La température de combustion (500°C à 1000°C* varie en fonction du taux d'humidité et de la quantité d'air en excès. Plus le **bois** est **divisé**, plus complète est la combustion avec peu de particules de charbon imbrulé, plus grande est la proportion de gaz et moins il y a formation de goudrons. cancérigènes. Ils doivent être filtrés ou craqués par traitement catalytique durant ou après la combustion.

En revanche, plus le **bois** est **humide** et plus la température de combustion sera faible, avec formation de goudrons dans les fumées, donc de pollution. La combustion idéale serait une combustion avec un excès d'air de 50% environ par rapport à celle déterminée par l'équation de combustion du bois :



Plus l'excès d'air est important au delà de 50% et plus la température de combustion sera basse, avec formation de composés organiques volatils (COV), de goudrons et de particules de carbone imbrulé. Dans les installations collectives et industrielles, de grande taille, les conditions de combustion sont mieux suivies, c'est donc plutôt pour les cheminées et chaudières individuelles mal réglées que le problème se pose. Le label de qualité des appareils domestiques de chauffage au bois Flamme verte 4 ou 5 étoiles, doit permettre de choisir l'appareil permettant d'atténuer ce problème. Le marché des **chaudières bois**, 480 000 en 2012, a légèrement augmenté (+3,7% sur 2011) soutenu par la hausse du prix des énergies et la conscience environnementale. **Les chaudières à chargement manuel restent majoritaires avec 58% des ventes. Les automatiques à granulés ont continué à progresser (20%) et représentent en 2012, 33% du marché.**

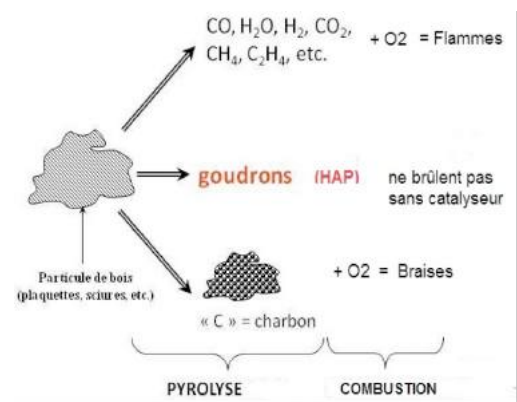


Figure 4. Mécanisme de combustion du bois

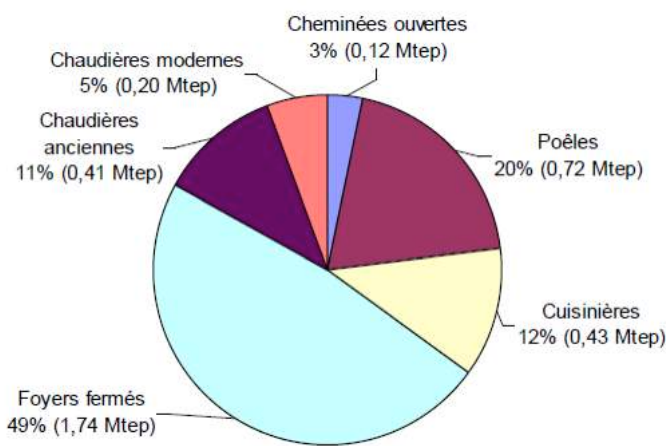


Figure 5 : Répartition de l'énergie produite dans le secteur domestique. Source: Note de synthèse Bois énergie et qualité de l'air ADEME/MEEDDM

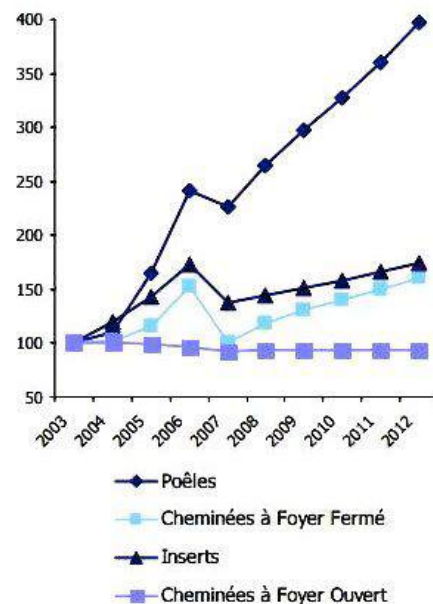


Figure 6 : Evolution du nombre de chaudière bois vendues (base indice 100 en 2003) - Source : Les Echos, MSI-reports, se-chauffer-au-bois.com

Les deux principales questions qui se posent quant à l'utilisation du bois énergie sont la pollution et la réalité de la **neutralité carbone** pour lutter contre le réchauffement climatique.

La combustion du bois génère des polluants, comme nous venons de le voir: particules fines, HAP et COV. On parle également de métaux lourds, dans les particules fines issues de cendres du bois. Ces polluants sont nuisibles pour la santé (cancers, asthme...). S'il est admis pour le moment que le chauffage au bois est responsable d'environ 35% des émissions de particules fines, il s'agit majoritairement du chauffage domestique (bois bûches dans les cheminées ouvertes et vieux inserts p.ex.), et peu des chaufferies collectives automatiques. Pour ce qui concerne les métaux lourds, les mesures effectuées sur ces chaufferies montrent largement moins de métaux lourds qu'à la sortie d'un incinérateur. Les quantités sont très faibles voire non détectables (source CITEPA). Avec près des ¾ de la consommation de bois énergie, c'est donc dans le chauffage domestique que l'effort doit principalement porter, en remplaçant les équipements anciens par des équipements labellisés *Flamme verte* où les émissions de particules fines seront réduites et surtout en veillant à utiliser des bois secs et propres, pour diminuer le dégagement de COV et HAP présents dans les goudrons apparaissant dans les fumées!

La neutralité carbone ⁽ⁱ⁾ du bois énergie repose sur l'hypothèse que le CO₂ émis lors de la combustion serait séquestré en retour par la photosynthèse, si le territoire d'où est issu le bois reste disponible. C'est une hypothèse qui neutralise la dimension temporelle (Source : Forest Bioenergy for Europe, EFI ed. 2014). En effet pour les produits bois issus de grumes ou tiges, il faudrait tenir compte de la différence de temps entre la durée d'émission de CO₂ lors de la combustion** et celle de sa séquestration dans la végétation par la photosynthèse après repousse d'un arbre des décennies plus tard. Mais pour des rémanents d'exploitation, des sous produits de sciage ou des produits bois en fin de vie, comme les emballages bois récemment sortis du statut de déchet et valorisés en "cascade", on peut admettre la neutralité carbone (cf fiche 7.06).

**la température de combustion ne doit pas dépasser 1200°C pour éviter la fusion des cendres (à cause de sodium, potassium et silice présents dans les bois en proportions variables) provoquant le bistrage (avec les goudrons) et le coulage des réfractaires*

***1min 15 sec temps moyen de combustion d'une tonne de bois dans une centrale de 30MW*

(i) Une autre définition de la neutralité carbone liée à la Convention des Nations Unies sur le Changement Climatique repose sur le principe comptable CNUCC selon lequel les émissions sont comptabilisées à la coupe (UTCF) au lieu de l'être à la combustion. C'est sur cette définition que reposent les engagements de la France et de l'UE à faire baisser les émissions des gaz à effet de serre, dont le CO₂ !

C'est principalement la combustion du bois que l'on considère quand on parle de bois énergie, pour la production de chaleur et d'électricité. Il ne faut pas oublier, dans les installations existantes de forte puissance, la co-combustion avec le charbon. Le bois permet de diminuer le soufre (SO₂) et les oxydes d'azote formés à haute température dans la combustion du charbon. Une technologie émergente, la gazéification du bois (cf fiche 7.07) permet d'envisager la production de gaz naturel de synthèse ou biométhane, éventuellement injectable dans le réseau gazier existant. Des unités pilotes sont en cours de développement en Autriche, au Pays-Bas et bientôt en France (projet GAYA cf fiche 7.05).

Ce qu'il faut retenir

- Le bois énergie c'est près de 50% de toutes les énergies renouvelables et pour 50% des utilisateurs l'énergie principale
- La majorité du bois est utilisée dans le chauffage domestique avec plus d'utilisateurs mais moins de bois consommé.
- Le bois énergie est une source de pollution en émission de particules, COV et HAP à cause d'appareils de chauffage anciens.
- Le renouvellement de ces équipements obsolètes par des appareils plus performants labellisés Flamme Verte et l'attention portée au séchage du bois, feront diminuer la pollution.
- À terme, le chauffage au bois sera probablement interdit en ville !
- La neutralité carbone ne va pas de soi et dépend beaucoup des hypothèses utilisées.

Quels usages du bois dans les métiers d'art ?

Les arts majeurs sont regroupés classiquement en sept catégories : 1 Architecture, 2 Sculpture, 3 Arts visuels, 4 Musique, 5 Littérature, 6 Arts de la scène, 7 Cinéma. Il est frappant de constater que le bois ou les bois sont très présents dans les six premiers. Ils peuvent être objet d'art comme le centre culturel Tjibaou, une sculpture ou une marqueterie, acteur et partenaire des artistes comme un violon ou une marionnette, support de l'activité artistique comme la planche de peuplier sur laquelle est peinte la Joconde, un décor de théâtre ou une reliure de livre sacré. L'activité artistique est contemporaine de la naissance de l'humanité et les bois étaient les compagnons d'*Homo sapiens* dès son apparition dans l'arbre de la vie. Le mariage de la singularité de chaque pièce de bois et de l'unicité de l'artiste a donné naissance à des œuvres originales dans toutes les cultures du monde. On trouve donc le bois à profusion dans les patrimoines culturels vivants ou muséifiés. Quels sont aujourd'hui les métiers d'art liés au bois ? Quelles relations entre les artisans des métiers d'art et le bois, quelles sont leurs perspectives ? Quels sont les atouts des bois français ?

Les métiers d'art liés au bois : quels sont-ils et quelle est leur importance économique?

Entre l'artiste et l'artisan, la frontière est souvent ténue et les deux se nourrissent mutuellement dans la démarche de création de savoirs et d'objets. Les artisans à la pointe de l'innovation dans leur métier sont souvent considérés comme de véritables artistes. En France, les métiers dédiés ou reliés aux arts sont qualifiés de métiers d'art et ils ont été codifiés dans une liste de 217 métiers répartis en 19 familles [1]. L'une de ces familles intitulée « bois » regroupe 16 métiers, mais on trouve une présence significative du bois dans 40 autres métiers présents dans 11 autres familles (en facture instrumentale 13 métiers sur 15 sont concernés par le bois) :

Les arts du spectacle : *décorateur de théâtre* ; **les arts et traditions populaires** : *charron* ; **les arts graphiques** : *reliure, restaurateur de reliure et de tableaux* ; **les arts mécaniques / jeux-jouets** : *fabricant et restaurateur d'automates, de jeux et jouets, de maquettes, d'objets miniatures, marionnettiste* ; **la bijouterie – joaillerie – orfèvrerie, horlogerie** : *bijoutier fantaisie, fabricant et restaurateur d'horloges* ; **la décoration** : *décorateur étalagiste, peintre en décor* ; **la facture instrumentale** : *archetier, fabricant et restaurateur d'accordéons, de clavecins et épinettes, de harpes, de percussions, de pianos, d'instruments à cordes anciens, d'instruments à vent en bois,*



Figure 1. Centre culturel Jean-Marie Tjibaou - Nouméa - Architecte : Renzo Piano

d'instruments de musique mécanique, d'instruments traditionnels, d'orgues, luthier, luthier en guitare ; le luminaire : fabricant et restaurateur d'abat-jour ; les métiers liés à l'architecture : escalier, fabricant et restaurateur de charpentes, charpentier de marine, menuisier, parquetier ; la mode : chapelier – formier – modiste, éventailiste ; la tabletterie : bimmelotier, brosier, fabricant de cannes, tabletier.

Dans les 38000 entreprises répertoriées pour les métiers d'art [2], les entreprises du domaine d'activité « bois » sont les plus nombreuses avec 7600 unités représentant 12000 emplois et un chiffre d'affaire de 1,3 milliards d'euros en 2009.

Les bois français : quels atouts ?

Avec une forêt française d'une grande diversité (tempérée, méditerranéenne et tropicale) et d'une extrême richesse en espèces (une centaine en forêts hexagonales et plus de 1500 en forêt guyanaise), toutes susceptibles de fournir de la matière brute pour les métiers d'art, la France a une position unique en Europe. Elle a aussi une richesse exceptionnelle d'objets d'art valorisant ses bois, bien mise en valeur dans les nombreux musées nationaux et régionaux. Même si le 20^{ème} siècle a été une période sombre pour le bois en France, les savoirs faire n'ont pas disparu et ont été largement décrits dans une littérature abondante aux 18^{ème} et 19^{ème} siècle (Encyclopédie, ouvrages techniques et documents de cours spécialisés ...). Dans la même période, les ouvrages forestiers (flore de Mathieu en 1877) décrivent encore la centaine de bois hexagonaux et leurs usages. Pour la Guyane, le laboratoire de sciences du bois de Kourou dispose de descriptions et d'échantillons pour environ 600 espèces et les savoirs des populations autochtones et locales n'ont pas encore disparu. Beaucoup de bois récoltables dans nos forêts ont été qualifiés de « bois précieux » pour la facture instrumentale (épicéa de résonance, érable ondé, buis, cormier), le tournage (poirier, buis, amourette, olivier) ou les placages décoratifs (chêne, noyer, merisier, térébinthe), la Guyane était un exportateur important de bois précieux au début du 20^{ème} siècle.



Figure 2. Préparation à la gouge de la table d'harmonie d'un violoncelle de concert. Épicéa de résonance débité sur quartier.

Réalisation et photo Nicolas Gilles



Figure 3. Archipel – Sculpture tournée, sculptée, texturée et sablée dans une loupe de robinier par Alain Maillard, tourneur et sculpteur sur bois.

Photo Alain Maillard

Quelles relations entre les artisans des métiers d'art et le bois ?

La quantité de bois d'œuvre brut consommée par les petites entreprises concernées n'est pas connue mais doit être de quelques dizaines de milliers de tonnes, soit à peine un pour mille du bois d'œuvre consommé en France. La relation des artisans à l'arbre et au bois est aux antipodes de celle des grandes industries du bois. La diversité, voire l'unicité de la pièce de bois d'œuvre brut est la norme chez ces artisans qui sélectionnent et débitent souvent eux-mêmes cette pièce ou lient une relation privilégiée avec des fournisseurs de la première transformation (fendeurs, scieurs ou trancheurs) capables de sélectionner les arbres en forêt et de fournir la qualité de débit attendue. Le débit est adapté à l'arbre d'origine, avec toute sa singularité (sinuosités, branchaison, variations de fil, présence de fourche ou de loupe ...) et aux besoins du métier visé (sculpture, lutherie, marqueterie ...).



Figure 4. *Le grand cerf des monts d'Arrée, sculpture en bois brut réalisée par Michael Rimbault à partir d'un arbre mort* - Photo Meriem Fournier

Malheureusement beaucoup de petites entreprises de première transformation, susceptibles d'approvisionner en bois divers les métiers d'art en France, ont disparu et les savoirs des forestiers sur la diversité de leur ressource se sont singulièrement appauvris, ce qui est un handicap important et les artisans ont souvent recours à l'importation d'ébauches.

Quelles perspectives pour les métiers d'art liés aux bois ?



Figure 5. *Réalisation d'une fleur de camelia par Yano Kenichiro (maître sculpteur/restaurateur japonais).* Atelier réunissant chercheurs et artisans lors du séminaire WoodSciCraft, Montpellier 2014. L'objectif de ce séminaire reconduit au Japon en 2016 est de faire dialoguer au travers d'exposés, d'ateliers et de rencontres des artisans et des chercheurs dans le domaine du bois, en croisant les approches japonaises et françaises. Photo Pierre Cabrolier.

Les artisans ne se contentent pas simplement de reproduire les objets emblématiques du patrimoine. De nombreux artisans contemporains introduisent les nouvelles techniques et savoirs dans la création de nouvelles approches et de nouveaux objets. Les nouvelles pratiques de communication et de rencontre ont favorisé l'ouverture entre artisans du même métier, de métiers différents et entre artisans et scientifiques de nombreux domaines (voir fig.5). La perception partagée que la tradition n'est qu'un long processus d'innovation et que les savoirs se créent autant dans les ateliers que dans les laboratoires est un puissant levier d'ouverture réciproque entre des mondes qui s'ignoraient souvent.

Les bois dans toute leur diversité sont très présents dans les métiers d'art et la France dispose d'atouts indéniables dans un secteur porté par l'image des produits de luxe, avec une ressource très nettement sous utilisée. Malgré le très faible volume de bois concerné, la valeur ajoutée, généralement cent fois plus élevée que pour le bois d'œuvre classique, se traduit par une contribution non négligeable dans le bilan

des emplois et du chiffre d'affaire du secteur bois en France. Par ailleurs la très grande diversité de la forêt française est clairement un avantage compétitif sous-utilisé. Le double enjeu économique et d'entraînement que ce secteur représente justifie une attention particulière de la recherche forêt-bois sur les questions très pointues qu'il pose généralement.



Figure 6. "Twister" (2004) 43 x 43 cm
Estompe, techniques mixtes en marqueterie contemporaine (essences : makoré pommelé, noeud de platane, frêne ondé déroulé, vinaigrier avec ronce de noyer).

Réalisation et photographie : Carole Szwarc

Ce qu'il faut retenir

- Les bois sont très présents dans les métiers d'art, dans toute leur diversité
- La France dispose d'atouts : richesse des patrimoines, image des produits de luxe, grande diversité de la ressource
- Malgré le très faible volume de bois concerné, la valeur ajoutée, se traduit par une contribution non négligeable dans le bilan des emplois et du chiffre d'affaire du secteur bois en France
- L'innovation favorisée par les échanges et les nouvelles technologies est très présente chez les artisans du bois
- Les savoirs se créent autant dans les ateliers que dans les laboratoires et la recherche forêt-bois est très concernée par les questions que pose l'utilisation du bois dans les métiers d'art.

Le bois au service de la musique : la lutherie à Mirecourt, un savoir-faire vieux de quatre siècles.

Cette petite ville du département des Vosges a acquis une aura internationale dans le domaine de la lutherie et de l'archèterie (fabrication d'archets). Ce prestigieux artisanat d'art y est né il y a 4 siècles avec les premiers «façonneurs de violons ». En 1629 est signé le plus ancien contrat d'apprentissage retrouvé à ce jour, où le jeune « apprentif » devait apprendre la construction et le jeu des instruments de musique. Mirecourt comptait 600 luthiers en 1926, mais seulement 100 en 1954. La création de l'École Nationale de Lutherie en 1970 va inverser la tendance. On trouve aujourd'hui une dizaine d'ateliers fabricant des violons, des archets, mais aussi des guitares, des mandolines et des instruments traditionnels. La ville héberge également le Musée de la Lutherie et de l'Archèterie Françaises.



Source : www.luthiers-mirecourt.com/

Bois massif ou bois reconstitué ?

Si par le passé le bois massif représentait le matériau noble par excellence pour nombre d'usages, le bois «reconstitué», sous ses multiples formes, a désormais pris une place prépondérante dans le secteur constructif, en menuiserie et en agencement. Qu'entend-on par bois massifs et bois reconstitués ? Quels sont leurs atouts et propriétés respectifs et pour quels types d'utilisation ? Pourquoi le bois reconstitué est-il l'objet d'un intérêt accru ?

Le bois massif : quels atouts et quels usages privilégiés ?

Le bois massif, issu du sciage de troncs d'arbres débités, conserve indéniablement un fort attrait pour le public. La place du bois massif dans l'évolution des sociétés, la pérennité de certaines essences, attestées par des constructions et ouvrages d'art ancestraux, l'infinie diversité d'aspect mise à profit dans le mobilier sont autant d'éléments qui confèrent un caractère chaleureux et émotionnel au bois massif. Lui est attachée une connotation esthétique que ne présentent pas d'autres matériaux minéraux ou synthétiques.

Il s'avère irremplaçable dans le domaine de la lutherie en « faisant chanter » les instruments. Son caractère renouvelable est en phase avec les préoccupations environnementales du moment et sa faculté d'être un puits de carbone ne peut qu'inciter à une utilisation accrue, raisonnée et maîtrisée. Le bois massif, avant toute chose, nécessite un séchage de qualité pour éviter les déformations ultérieures, fentes et autres imperfections qui nuisent à la solidité du matériau et à son esthétique. Ses caractéristiques mécaniques sont très différentes selon que les efforts s'exercent dans le sens du fil du bois (sens des fibres) ou perpendiculairement. Cette anisotropie, qui tient à la structure de sa paroi cellulaire, est un élément fort de différenciation par rapport à la grande majorité des bois reconstitués. Il est nécessaire d'en tenir compte pour les applications structurelles mais également lors d'opérations d'usinage. Un triage, lors des opérations de sciage, permet de détecter les éventuels défauts et de classer les bois débités selon des critères rigoureux normalisés.



Figure 1. Maison à ossature bois - Source : CBH Constructions Bois

Les caractéristiques propres au bois massif, et par là même ses usages, sont très liées aux essences, et à leurs diversités génétiques (provenance voire clones). Les bonnes propriétés mécaniques, notamment en flexion, de certaines essences, leur relative durabilité, sont mises à profit en construction, en particulier en charpente (poutres, solives, assemblages de type fermettes...), le bois d'œuvre présentant des caractéristiques de légèreté, une très bonne aptitude à l'usinage et un coût compétitif. Les portées restent toutefois limitées en fonction des charges admissibles.

Le fort essor de la maison à ossature bois (fig.1), appréciée pour son caractère écologique à faible empreinte carbone, est de nature à favoriser l'emploi du bois massif dans la construction à l'instar de ce qui se pratique dans les pays anglo-saxons. A titre d'exemples, nombre de bois exotiques réputés durables, sont destinés à des usages en extérieur. Les éléments menuisés (huisseries, fenêtres, encadrements de portes...) ont toujours représenté des débouchés importants pour le bois massif. En revanche pour l'ameublement, seul le mobilier haut de gamme fait encore appel au bois massif. Ses propriétés incomparables le destinent aux meubles pérennes ou aux applications nécessitant de bonnes propriétés mécaniques (ex : les lampants de lits). D'autres essences, qui requièrent de moindres exigences quant à la durabilité ou aux propriétés physiques, sont très largement utilisées dans l'emballage (caisserie – palettes) et autres débouchés.

Les bois reconstitués

Sous cette appellation, on regroupe généralement un large éventail de matériaux ligno-cellulosiques qui font appel, selon les cas, à des éléments de bois de petite section, des fragments de bois (copeaux – plaquettes..) ou encore des fibres (panneaux de fibres) collés entre eux. Les déchets ligneux en provenance de scieries ou d'ateliers d'usinage (connexes de sciage, délignures, dosses, copeaux, plaquettes, voire sciures) ainsi que les bois impropres à une utilisation en bois massif (petits diamètres, rémanents forestiers, bois d'éclaircies, bois tordus...) en constituent la matière première. La cohésion de ces matériaux est obtenue par l'adjonction de colle synthétique, en petite quantité, qui est réticulée à chaud et sous pression. Tous les bois reconstitués, qu'il s'agisse de panneaux ou de poutres composites, font appel à un tel encollage préalable des éléments constitutifs suivi d'un pressage à chaud sous forte pression. Ils requièrent de ce fait des investissements très élevés qui ne peuvent être amortis que par de gros volumes de production. On regroupe généralement ces matériaux en trois grandes catégories :

a) les panneaux

Ce sont des éléments plans de grandes dimensions, majoritairement utilisés dans la construction. On y trouve les **contreplaqués**. Le panneau contreplaqué le plus courant présente une composition symétrique dans l'épaisseur, avec des plis contigus dont le sens des fils est perpendiculaire et des plis constitués de placages jointés sur les faces. Plusieurs plis peuvent être empilés fil sur fil pour former une couche. Si les couches fil sur fil dominent, on obtient un panneau **LAMIBOIS** (LVL pour *laminated veneer lumber* dans la terminologie anglo-saxonne). On trouve également les panneaux de larges lamelles orientées (**OSB** pour *oriented strand board*) et très couramment des **panneaux de particules** (panneaux dit « agglo » pour particules agglomérées) constitués de petites lamelles. Dans l'ameublement et l'agencement, on utilise principalement des panneaux de particules et des panneaux de fibres (**MDF** pour *medium density fiber board*).



Figure 2. Panneau de contreplaqué (en haut) et panneau OSB (en bas)

Sources : lecontreplaque.com et FCBA



Figure 3. Panneau de particules (à gauche) et panneau MDF (au centre) ; agencement en MDF (à droite) - Sources : UIPP et FCBA

b) **les éléments reconstitués non structuraux** : le lamibois, à base de carrelés collés, permet d'utiliser de petits bois pour des éléments de menuiserie (huisseries, bâtis). Il en est de même de plans de travail en lamellé collé.

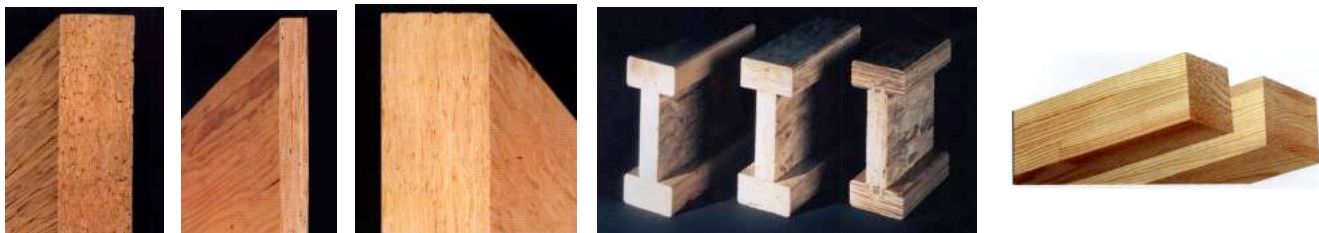


Figure 4. Différents types de poutre reconstituée (de gauche à droite) : parallam, lamibois, intrallam, poutre en I composite, carrelés de bois abouté lamellé - Sources : FCBA

c) **les poutres reconstituées** : ce sont des éléments porteurs industrialisés, réalisés par collage structural soit d'éléments de petite section de bois massif, soit de placages obtenus par déroulage. Les lamellés collés, ainsi que les poutres en I (semelles en bois reconstitué et âme en OSB) permettent de réaliser des structures de grande portée appréciées pour leur aspect esthétique. De nombreux autres procédés récents (LVL, PSL, Parallam...) visent la même finalité (fig.4 et 5).

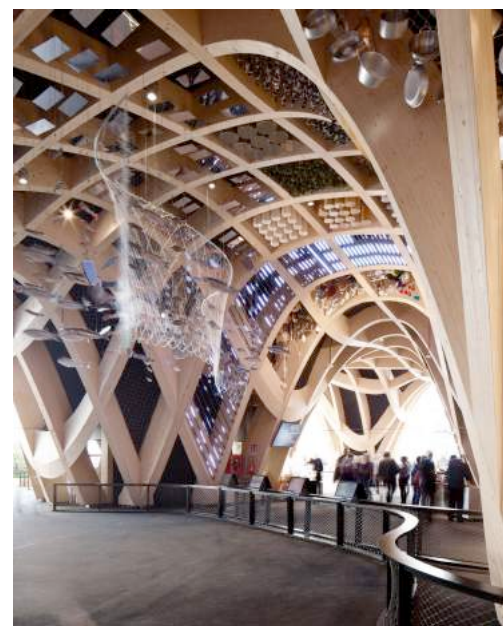


Figure 5. Une belle réalisation : le pavillon France à l'exposition universelle de Milan en 2015 (structure en lamellé-collé)

Source : XTU - architectes

d) **les panneaux à usage structurel** (murs, planchers ou toiture) **CLT** (pour *cross laminated timber*) : fabriqués sur mesure, ils sont composés de lames de bois massif croisées perpendiculairement (fig.6), et se présentent sous forme de panneaux de grandes dimensions (3,5 m en hauteur et de 15 à 20 m en longueur). Le nombre de plis varie en fonction des reprises de charges appliquées aux panneaux. Les éléments réalisés (toit, murs, planchers) permettent la construction de bâtiments allant de la maison individuelle à des immeubles de cinq et même 7 étages (fig.7).



Figure 6. Panneaux CLT en 3 et 5 plis
Source : CLT France



Figure 7. Immeuble de bureaux en bois de 5 étages à Marseille - Le système constructif est mixte : CLT (murs de façade et planchers) / poteau poutre de bois lamellé / noyaux béton - Source : CLT France

Quels sont les avantages des bois reconstitués ?

Les très nombreux paramètres de fabrication (taille, géométrie et orientation des particules ou des éléments constitutifs, taux d'encollage, nature de la colle...) permettent d'adapter les propriétés en fonction des usages ciblés. De ce fait, le bois matériau reconstitué, utilisé en structure, s'affranchit de l'hétérogénéité intrinsèque de la matière première et permet de disposer d'éléments structuraux dont les caractéristiques physiques présentent de faibles dispersions. On peut ainsi fabriquer des poutres de grande portée, telles les poutres lamellées collées ou les poutres en I, irréalisables en bois massif. La construction de bâtiments de grande hauteur est désormais possible. La construction individuelle ou collective de faible hauteur fait largement appel aux panneaux à larges lamelles orientées (OSB) et aux contreplaqués pour les planchers et le contreventement, et plus récemment au CLT. Les procédés d'usinage étant de plus en plus automatisés, ces matériaux, aux caractéristiques bien maîtrisées, trouvent aussi leur place au sein d'unités de productions modernes, tout particulièrement dans l'ameublement. L'excellent état de surface de panneaux de particules ou de panneaux de fibres (MDF) permet d'enrichir les surfaces soit par laquage ou stratification.

L'optimisation de la consommation de matière ligneuse, la valorisation de déchets végétaux et de bois de petite section voire le recyclage de composants bois y ont fortement contribué. La mise en œuvre de procédés industriels performants et bien maîtrisés a permis l'essor à très grande échelle de ces matériaux reconstitués qui s'intègrent parfaitement dans le contexte d'économie circulaire par des réemplois, en cascade, à moindre valeur ajoutée.



Figure 8. *Le siège de l'Institut technologique FCBA regroupant bureaux et laboratoires à Champs-sur-Marne. Achevé en 2014, il combine le bois lamellé, l'ossature bois et le CLT.*

Crédit photo : Kamel Khalfi

Ce qu'il faut retenir

- Bois massif et bois reconstitués sont parfaitement complémentaires dans un souci d'optimisation maximale de la matière ligneuse issue de la forêt tout en générant la valeur ajoutée la plus élevée.
- Les systèmes constructifs prennent désormais en compte l'association entre ces deux entités au bénéfice des performances des assemblages et des coûts.
- L'industrie de l'ameublement et de l'agencement a, depuis longtemps, su profiter des caractéristiques propres aux panneaux à base de bois tout en conservant des éléments en bois massif là où cela présente un avantage indéniable.
- Cette démarche s'inscrit parfaitement dans le concept d'économie circulaire en tirant le meilleur parti d'une matière première renouvelable. Cette dernière sera l'objet d'utilisations successives de moindres performances avant le stade ultime de la combustion en fin de vie.

Ressource forestière et demande industrielle sont-elles en adéquation ?

La France dispose d'une ressource ligneuse conséquente, aux 2/3 feuillue et 1/3 résineuse, qui s'accroît chaque année, du fait d'une récolte très inférieure en moyenne à l'accroissement biologique. Cette ressource répond-elle en termes quantitatifs et qualitatifs à la demande actuelle de l'industrie ? Cette dernière est-elle en mesure de mieux la valoriser ? Les conditions sont-elles réunies pour permettre le développement d'une bioéconomie fondée sur un usage accru du bois ? Quelles sont les pistes pour relever ces défis ? Autant de questions que cette fiche se propose d'éclaircir.

L'adéquation entre ressource et industrie : équilibre stable idéal ou processus dynamique ?

La ressource forestière actuelle est héritée du passé. Elle résulte de forêts semi-naturelles à prédominance feuillue (sauf en montagne) aménagées et gérées, de peuplements issus d'accrus, et pour une faible part de plantations (dont les peupleraies). Au cours de l'histoire, cette ressource ligneuse a été gérée et constituée pour satisfaire les besoins des hommes en énergie, matériaux et matière premières, besoins qui ont eux-mêmes varié dans le temps. En aval de la forêt, les industries de la transformation du bois ont elles-mêmes évolué en fonction des avancées technologiques et de facteurs économiques dans un contexte concurrentiel de prix et de marchés aujourd'hui globalisés.

Quelques exemples pour s'en convaincre. La France compte encore 1/3 de sa superficie forestière en taillis (pour la production de bois de feu) et en taillis-sous-futaie (production combinée de bois de feu et de bois d'oeuvre) qui contribue faiblement à la mise des bois en marché. Le chêne de qualité pour le bois de marine favorisé par Colbert est aujourd'hui valorisé pour le placage et la tonnellerie. La puissante industrie forestière aquitaine centrée sur le pin maritime doit faire face à une baisse de son approvisionnement, conséquence des deux tempêtes majeures Martin et Klaus. Le cas du hêtre mérite d'être souligné. Un appareil industriel fort (scieries et 2^e transformation, notamment ameublement) a existé jusque dans les années 1985-1990. Il a disparu pour deux causes principales : les faillites pour causes financières des exploitants-scieurs de l'Est ; la fermeture brutale du très important marché chinois en 2002 - 2003 après réception de bois de mauvaise qualité issus des chablis de 1999. Cette chute s'est produite pour des raisons propres, sans rapport avec la ressource, et les producteurs de hêtre sont aujourd'hui en grande difficulté. Des politiques agressives de soutien aux grosses unités de cogénération peuvent entraîner un effet de «cannibalisation» d'autres filières comme celles des panneaux qui s'approvisionnent sur le même type de ressource bois. On le voit, l'adéquation entre ressources et industrie n'est pas un état d'équilibre idéal ou stable, même si des politiques incitatives peuvent la favoriser. C'est un état dynamique par nature et qui ne se décrète pas.

La récolte actuelle de bois, expression de la demande de l'industrie

On constate au cours des deux dernières décennies une chute de la demande (en termes de volume commercialisé) pour les bois d'essences feuillues, et un état stable pour les bois résineux (fig.1). Par ailleurs, la France importe aussi de manière récurrente un volume significatif, quoique en baisse, de sciages résineux (fig.2). Pourquoi cette situation ?

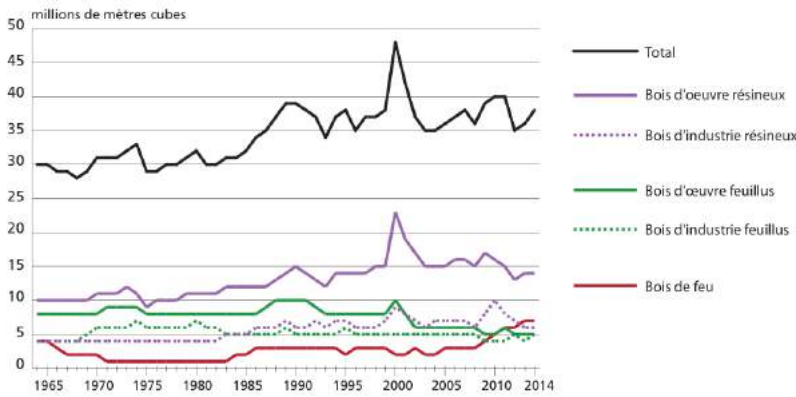


Figure 1. Évolution de la récolte de bois par type d'usage (en Mm³) - Source : MAAF, Service de la statistique et de la prospective, Agreste, Enquête annuelle de branche exploitation forestière, pour les bois commercialisés (in IGD/IGN, 2015)

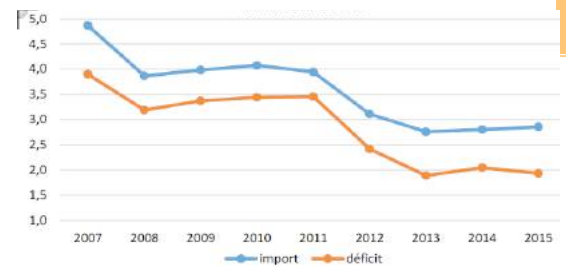


Figure 2. Évolution des importations et du déficit de sciages résineux en Mm³

Source : Douanes françaises - Le déficit de 2Mm³ en 2015 représente presque 1/3 de la production, 6,4Mm³

Les besoins en **feuillus** sont inférieurs à l'offre sauf pour les qualités belles ou moyennes en chêne, pour lesquelles la demande est soutenue, notamment du fait du marché asiatique conjoncturellement, au contraire des qualités secondaires de cette essence. Le hêtre a vu disparaître un certain nombre de ses utilisations (chaises moulées) et de ses marchés (Chine, Balkans) dans les 15 dernières années et la récolte est plutôt excédentaire. Le frêne, du fait de la maladie qu'il subit (chalarose) voit sa récolte s'accroître, mais ses qualités propres et son marché soutenu permettent d'absorber ce surcroît. La valorisation des feuillus (avec des essences aux propriétés très différentes) se fait principalement dans le secteur de la construction (fiches 3.03 et 7.13) et celui de l'ameublement (fiche 3.04). La demande en **résineux** reste, elle, très soutenue pour le bois d'œuvre et ce, pour pratiquement toutes les essences du fait de la demande en construction, 1^{er} secteur utilisateur (fiches 3.03 et 7.13), puis en emballage (cf fiche 3.05). Pour les résineux, la production nationale de 6,4 millions de m³ de sciages doit être complétée par 2 millions de m³ de sciages importés (fig.2). On peut noter avec satisfaction un recul du déficit de la balance commerciale pour ce type de bois, qui en moins de 10 ans a été divisé par deux. Sous l'effet de politiques fortement incitatives, **le bois énergie commercialisé a fortement progressé**.

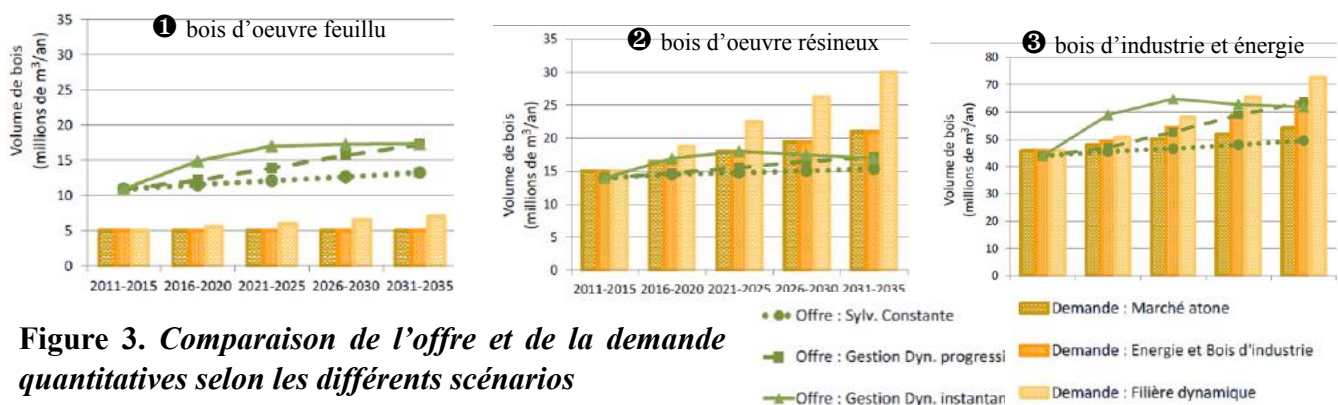
Cette situation s'explique en partie par les **caractéristiques de la ressource**. D'une manière générale, la ressource feuillue est plus diverse et plus hétérogène, que la ressource résineuse. Cette dernière, est plus appréciée pour les usages dans la construction (marché qui tire la consommation de bois) du fait d'un bon compromis entre propriétés mécaniques, prix et poids. Les résineux sont aussi plus adaptés aux techniques de sciage par canter (fiche 3.12) largement adoptées par les scieries. Par ailleurs, la ressource, feuillue comme résineuse, présente un handicap significatif, avec environ 1/4 des volumes sous forme de gros ou très gros bois. *Pour les gros et très gros bois, les volumes sont également en progression forte et constante pour les peuplements mixtes, feuillus et résineux par ordre d'importance et pour les très gros bois (+110%, + 3 millions m³/an) encore plus que pour les gros bois (+ 69 %, + 6 millions m³/an) au cours des 30 dernières années.* (IGD, 2015, p.84). Outre que l'exploitation des gros bois est plus coûteuse, leur sciage est plus problématique en termes économiques et techniques compte tenu des évolutions du sciage mentionnées plus haut.

La récolte future : quelles projections à l'échéance 2035 ?

Concernant la **disponibilité en bois**, deux scénarios ont été élaborés (fiche 3.01) l'un à sylviculture constante [A] l'autre selon une hypothèse de gestion (très) dynamique [B]. La disponibilité supplémentaire s'établirait pour la période 2031-2035 à + 7,6 Mm³ pour [A] et 19,8 Mm³ pour [B] essentiellement provenant des petites propriétés privées, sans plan simple de gestion (PSG) : respectivement + 5,2 et + 11,8 Mm³. A noter que le scénario de gestion dynamique se heurte à de nombreux freins à la mobilisation (cf fiche 7.04) : connaissance de cette ressource potentielle, mise en marché, accès et relief, rentabilité économique de la récolte. La disponibilité (offre) pour les différentes

catégories de bois est indiquée en figure 3. Un troisième scénario intitulé « gestion dynamique instantanée » a été rajouté sur la figure 3 pour étudier l'incidence sur la disponibilité d'une mise en œuvre immédiate de la gestion dynamique

Concernant la **demande quantitative en bois**, l'étude prospective FCBA-IGN/ADEME a défini cette demande (en équivalent bois rond) pour l'industrie (première et deuxième transformations), l'énergie et l'export (fiche 1.07). L'élaboration des scénarios s'est appuyée sur la bibliographie, les projections des tendances passées de ces 20 dernières années, et le recueil de l'avis des professionnels de la filière en 2015. Trois scénarios ont été retenus : 1) un scénario « atone » d'évolution tendancielle ; 2) un scénario plus volontariste « dynamique » ; 3) un scénario dit « énergie et industrie » marqué par un contexte économique peu favorable dans lequel toutefois le bois énergie et le bois industrie tirent leur épingle du jeu. Ces scénarios analysés par les différents secteurs séparément (sciages feuillus, sciages résineux, palettes, pâte à papier, panneaux, ameublement, énergie), ont conduit aux résultats de la figure 3.



Pour le bois-énergie et le bois d'industrie, l'offre peut satisfaire la demande dans le cas des deux scénarios les moins exigeants. L'offre en bois d'œuvre feuillu apparaît largement excédentaire, quel que soit le scénario. En outre, cette ressource, issue pour partie d'anciennes sylvicultures (taillis et taillis sous futaie vieillis) et provenant de petites parcelles, n'est pas qualitativement très bonne. Une étude FCBA-IGN est en cours en 2017 pour analyser cette question en Bourgogne Franche Comté. L'offre en bois d'œuvre résineux apparaît largement insuffisante même dans un scénario de demande atone. Au total, on voit que quoi qu'il arrive, la demande sera insatisfaite à sylviculture constante, et que même en supposant que le scénario de la sylviculture dynamique puisse se réaliser, il y a potentiellement un déficit important notamment en bois d'œuvre résineux. **Régénérer naturellement et/ou planter des résineux devient donc une urgence** (voir encadré 1).

Encadré 1. Un plan de reboisement ambitieux pour renforcer la place de la forêt et du bois dans la bio-économie ? Ce plan concernerait d'importantes surfaces déjà forestières mais peu productives ou sans avenir économique. L'objectif serait de reboiser 50 000 ha/an pendant les 10 prochaines années, soit 500 000 ha au total. Ces plantations forestières auraient à terme un fort impact sur la production totale tant en quantité qu'en qualité, grâce à la diffusion de variétés très productives (résineux, peuplier), issues de programmes de sélection redéfinis dans un contexte d'interactions entre impacts du changement climatique et bio-économie. L'impact de ce plan sur la disponibilité de la ressource serait faible à l'horizon 2050 car limité à l'arrivée à maturité des nouvelles plantations de peupliers, mais très important en 2070 avec une disponibilité nouvelle de 20 Mm³ BFT/an, période d'arrivée à maturité simultanée des pins maritimes et des mélèzes hybrides, ces derniers étant ensuite relayés par les épicéas de Sitka. Ce pic se prolongerait ensuite, mais avec une intensité moindre, grâce au douglas, avant un nouveau cycle de disponibilités quelque peu ralenties. (d'après « Quel rôle pour les forêts et la filière bois françaises dans l'atténuation du changement climatique ; une étude des freins et leviers forestiers à l'horizon 2050 - INRA et IGN, 2017)

Entre ressource ligneuses et besoins industriels, quels ajustements possibles ?

Au plan quantitatif, les scénarios étudiés montrent qu'en 2035 il est peu probable que les conditions d'une récolte suffisante, notamment en bois résineux, soient remplies, sauf décisions réglementaires autoritaires qu'on imagine mal. Ce d'autant plus qu'il faudra lever les freins psychologiques à la récolte qui existent (fiche 10.06). La ressource restera déficitaire en particulier au niveau des résineux.

Au plan qualitatif, prévoir à plus de vingt ans est hasardeux, mais il est probable que sur le long terme les marchés de la construction et de l'emballage seront dominants. Il faut donc une ressource avec de **fortes caractéristiques mécaniques** et privilégier les essences adaptées aux stations et au changement climatique, avec le meilleur rapport qualités mécaniques/poids. La variable du coût s'adaptera par la loi du marché jusqu'à un seuil trop bas pour que l'essence soit commercialisée (sauf subventions pour des raisons sociétales, paysagères ou environnementales). Une série de critères vient juste derrière : i) **la durabilité** et le couple **rendement matière en bois d'œuvre-usinabilité** ; ii) **l'esthétique** (et la capacité à prendre les couleurs ou les finitions) qui renforce l'attrait d'une essence, mais, sujette aux modes, il n'a pas la même fiabilité à long terme ; iii) **la qualité des fibres** et des extractibles chimiques issus du bois devrait gagner en importance dans le contexte de la bio-économie. Compte-tenu de ces critères, on peut penser que nos forêts métropolitaines, **pour peu qu'elles soient renouvelées**, composées de chênes, châtaigniers, peupliers, frênes, érables, sapins, épicéas et douglas entre autres seront adaptées aux besoins qualitatifs des utilisations industrielles futures. Il est important que leur sylviculture stationnelle soit adaptée au changement climatique (CC). Elles s'accompagneront naturellement des essences secondaires usuelles. À titre expérimental, on pourra s'intéresser à certaines essences de reboisement introduites : eucalyptus, pin *taeda*,... Le choix de la part relative de toutes ces essences devrait intégrer le déficit de la balance commerciale nationale (cf fiche 1.08) et le besoin de combler une offre insuffisante.

BauBuche



Figure 4. Produits lamibois (LVL) en hêtre

Source : <https://www.pollmeier.com/en/products/baubuche/baubuche-about.html>

Ce qu'il faut retenir

- La récolte métropolitaine est/sera en volume excédentaire en feuillus de qualité secondaire avec une forte demande sur le chêne de qualité, mais déficitaire en résineux, pesant donc sur la balance commerciale
- Booster les régénérations naturelles et/ou les plantations est capital pour combler une offre insuffisante, ainsi qu'inciter à la récolte et faciliter son acceptabilité dans le respect des équilibres stationnels et en atténuant les risques du CC
- Focaliser les innovations, à partir de l'analyse prospective de l'évolution de l'usage des produits, sur la valorisation des propriétés d'excellence de chaque essence cibles (et pas « du bois » en général) sans copier les autres matériaux, ainsi que soutenir la recherche devront être assurés pour valoriser les essences existantes souffrant de handicap (hêtre,...)

L'innovation industrielle devra viser la valorisation des caractéristiques favorables spécifiques de chaque essence dans des produits et composants, et tirer parti de ces atouts et non d'imiter d'autres matériaux concurrents. Les recherches technologiques devraient privilégier les pistes suivantes : i) scieries mixtes canter/ruban pour les régions de gros bois résineux ; ii) nouveaux procédés de sciage pour les feuillus tenant compte de leur courbure et de leur masse volumique ; iii) nouveaux composants collés (fig.4) pour la construction adaptés aux propriétés spécifiques des essences notamment feuillues (CLT, LVL...) ; iv) nouvelles colles bio et de haute performance pour les produits reconstitués...

Les forestiers et les industriels sont soumis à des forces différentes, ils peuvent, en **interprofession**, se mettre d'accord sur des objectifs communs, au moins à l'échelle de la décennie. Pour évoluer vers une meilleure adéquation ressource / demande industrielle, les deux grands axes pourraient être : reboiser en résineux et peupliers pour l'amont, investir en R&D et en équipements pour la valorisation des feuillus à l'aval, à l'image de certaines réalisations dans les pays voisins.

Le matériau bois est-il là où on l'attend dans notre vie quotidienne ?

Il est courant d'entendre dire, dans les pays industrialisés, que le bois¹, est de moins en moins utilisé dans la vie de tous les jours, avec, à l'appui de cette affirmation, sa disparition dans la fabrication de nombreux produits comme les objets ménagers (brosserie, caisses, manche d'outils, etc.), les skis,...ou sa perte de part de marchés dans la construction bien qu'un regain d'intérêt se fasse jour dans ce domaine ces dernières années. Cela étant, cette vision du passé nous cache de nombreux usages plus difficiles à appréhender car nouveaux ou plus difficiles d'accès, le bois y étant peu visible. En effet de plus en plus celui-ci est reconstitué ou restructuré et souvent caché, en même temps que de nouvelles applications se font jour.

Une évolution de fond : le bois reconstitué ou restructuré

De plus en plus, et de façon massive, pour les utilisations technologiques, c'est-à-dire à performances prévisibles, le bois est « reconstitué » ou « restructuré » pour en faire un matériau fiable aux performances bien maîtrisées. Quel que soit l'attachement ou l'intérêt que l'on peut avoir vis-à-vis du bois massif, celui-ci présente deux spécificités qui peuvent pénaliser son emploi, soit dans des applications industrielles, soit au niveau de l'utilisation finale. Il s'agit de sa propension à « travailler » comme chacun le sait puisque le bois réagit à l'humidité ambiante pour se mettre en équilibre hygroscopique, ce qui conduit à des variations dimensionnelles et à des déformations pénalisantes pour certains emplois ; il s'agit aussi du coût élevé des pièces de bois massif de qualité, incompatible avec une production de masse à coût réduit.

La solution réside dans l'utilisation de qualités de bois moindres (prix plus faible) et dans le collage de pièces de bois entre elles. Le collage limite les réactions de déformation puisque la probabilité pour que plusieurs pièces de bois soient collées ensemble de telle sorte qu'elles se déforment dans le même sens est quasi nulle. C'est ainsi que sont rapidement apparus sur le marché de nombreux produits dits en « bois massif reconstitué » (fig. 1 et 2), appellation erronée, mais hélas largement répandue. Ces types de produits se rencontrent aujourd'hui dans le domaine de la construction et dans celui de la fabrication de nombreux meubles ce qui leur donne d'ailleurs un aspect caractéristique de patchwork



Figure 1. Carrelets de bois abouté lamellé pour la construction : poutre ou menuiserie



Figure 2. Panneau de bois abouté collé pour la menuiserie ou le meuble

De la même façon, les petits bois issus de forêt sont valorisés en les transformant en particules ou en fibres, encollées puis pressées agglomérées pour donner des panneaux aux caractéristiques mécaniques déterminées et aux dimensions et formes stables. Ces panneaux sont utilisés, selon leurs caractéristiques, dans la construction ou la fabrication de meubles (fig. 3).

¹ S'entend ici le bois matériau et non les produits issus des composants du bois, cellulose et lignine notamment.



Figure 3. Meuble à base de panneaux de fibres

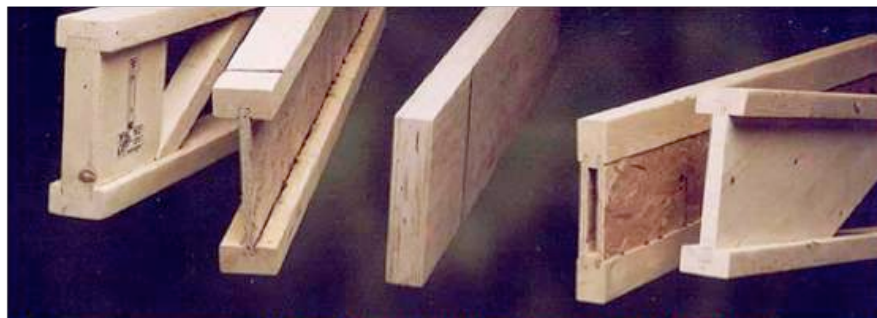


Figure 4. Poutres techniques en I

Et dans certains cas, bois massifs et bois reconstitués, ou panneaux de particules et bois massifs reconstitués ou non se combinent pour donner des produits techniques particulièrement performants, comme ces poutres de la figure 4.

Le bois se cache

Hormis pour le lamellé collé spécialement mis en valeur dans les grands ou remarquables ouvrages, les produits techniques de la construction évoqués ci-dessus, ne sont pas, ou peu, visibles dans la vie de tous les jours, une fois la construction terminée, et bien peu imaginent la présence de ce matériau sous la couverture grise ou éclatante de réalisations comme le cinéma Imax de la Défense ou le Centre commercial de Bercy à Paris (fig. 5 et 6).



Figure 5. Le cinéma Imax de la Défense avant et après construction



Figure 6. Le Centre commercial Bercy2

Il en est ainsi dans d'autres domaines, en ameublement notamment. Pour certains meubles ou pour les cuisines plus particulièrement, le bois sous forme de panneaux de particules, étant vêtu de produits synthétiques aux couleurs plus ou moins chatoyantes, ne laisse pas toujours penser qu'il est bien présent (fig.7).



Figure. 7 Meubles de cuisine

Le bois se cache aussi, dans bien des cas de notre vie quotidienne: dans nombre de véhicules automobiles l'intérieur des portières de voiture, les haut-parleurs comportent des parties en fibres de bois moulées améliorant l'acoustique (fig.8).



Figure 8. Parties de véhicule en fibre de bois

Les planchers de certains TGV sont en panneau de contreplaqué multiplis, pour mieux absorber les vibrations (fig. 9) ; les patins de freins de certaines lignes du métro parisien sont en hêtre (fig. 10); récemment et peut être encore aujourd'hui, l'âme de certains skis est en bois pour limiter les vibrations.



Figure 9. Plancher du TGV en contreplaqué multiplis



Figure 10. Patins de frein en hêtre de certaines lignes de métro

De nouveaux produits ou de nouvelles utilisations

Si certains usages ont été détrônés d'autres apparaissent au fil des innovations, liés à la maîtrise de nouvelles techniques. Quelques exemples : les lunettes aux montures en bois, peu présentes sur le marché français mais bien développées aux USA (fig.11) ; les boîtiers de montres en bois (fig.12), les bois composites alliance de bois et de plastique, travaillés selon des procédés empruntés à la plasturgie où le bois peut être présent jusqu'à 70% du produit et qui permettent des usages variés (fig. 13 et 14), notamment en bois d'extérieur où ce produit présente une stabilité digne d'intérêt.



Figure 11. Lunettes en noyer



Figure 12. Boîtiers de montre en bois



Platelages extérieurs



Clôtures



Portes



Profilés



Murs



Ecrans orientables

Figure 13. Divers usages du bois composite

Les usages du matériau bois évoluent constamment sous la pression des prix, des matériaux concurrents, de l'évolution des technologies et de l'innovation. Si certains usages disparaissent, d'autres naissent, et le bois reste une valeur sûre, présentant même un regain d'intérêt dans la construction compte tenu de ses qualités notamment en matière d'isolation thermique et de bilan carbone.

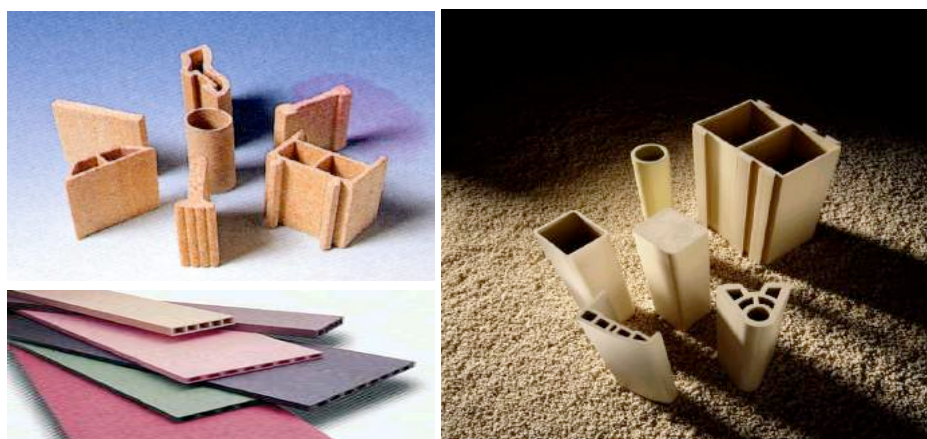


Figure 14. Profilés ou plaques en bois composite pour la menuiserie

Ce qu'il faut retenir

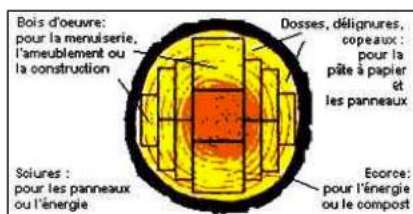
- Le bois reste très présent dans notre vie quotidienne.
- Il n'apparaîtra plus aussi souvent que par le passé sous forme de bois massif....
- mais de plus en plus sous forme de bois restructuré, recomposé, ou de bois composite dans des usages souvent cachés pour un œil non exercé.

La transformations du bois matériau : quelles sont les principales technologies ?

Issu de la forêt, le bois est utilisé, par ordre d'importance des volumes consommés, en bois énergie, bois d'œuvre et bois d'industrie (fig.1). Nous nous limiterons aux transformations du bois d'œuvre. On peut classer ces transformations en deux catégories, la première (sciage, tranchage et déroulage) et la deuxième transformation (emballage, bâtiment et construction, meubles). Ces transformations font appel la plupart du temps à des opérations lourdes, utilisant des machines de coupe et d'usinage majoritairement importées, Les process mis en œuvre relèvent de l'industrie du bois, même si une partie des opérations de deuxième transformation du bois massif ou reconstitué peut correspondre à l'artisanat.

Première Transformation

Les scieries sont les entreprises à la base de l'industrie du bois et conditionnent la plupart des transformations ultérieures. On trouve dans la figure 2 les différents postes d'une scierie. Le contrôle des grumes et l'optimisation du débit peut s'effectuer par des méthodes très modernes comme la tomodensitométrie (Scanner X).



Le poste de sciage (figures 3) comprend un bâti fixe sur lequel est situé l'outil de coupe, dans le cas présent une scie à ruban, un chariot à mouvement alternatif sur lequel est fixée la grume à scier.

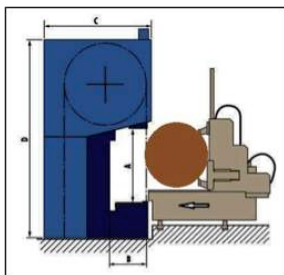


Figure3a. Schéma
de sciage à ruban

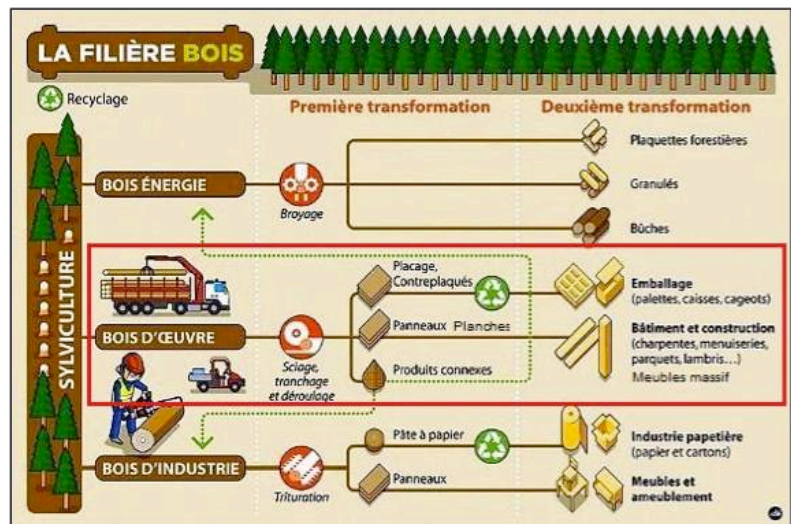
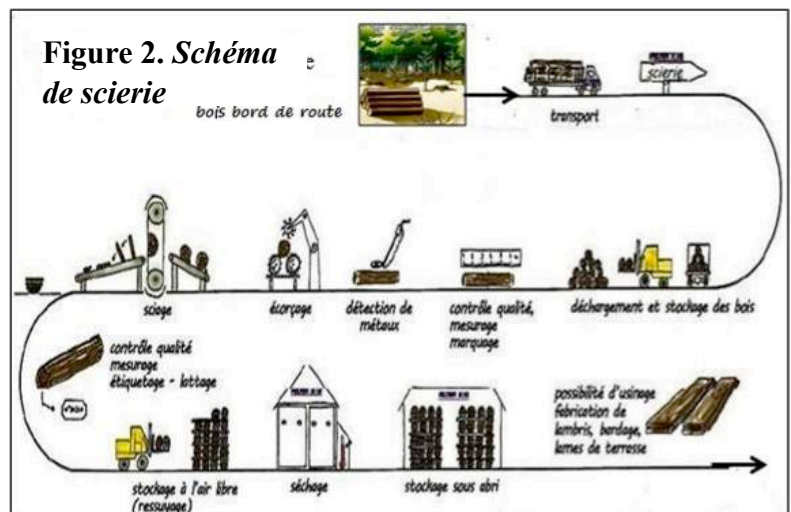


Figure 1. Filière Bois. Source : Blog Christophe Chabbi



D'autres types de scies sont également utilisées : scies circulaires, scies alternatives et canters. Voir:

<https://www4.ac-nancy-metz.fr/pasi/IMG/pdf/88SaulxuresLPEXP2-2010ann1.pdf>



Figure 3b. *Poste de scierie*. Source : Primultiini



Figure 3c. *Bâti et chariot*. Source : Primultiini

Le séchage est une étape très importante dans une scierie. Le plus répandu est le séchage convectif à basse ou moyenne température, à l'air ou en cellules fermées (fig.4)

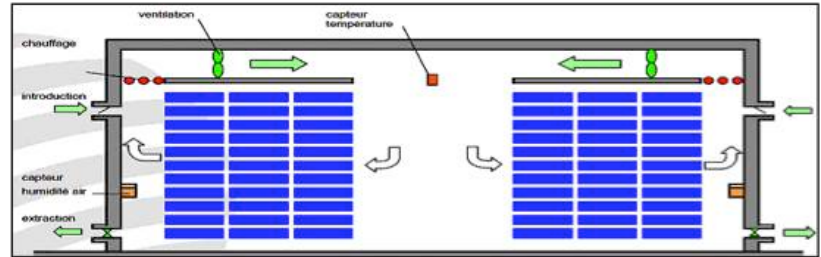


Figure 4. *Séchoirs convectifs*

Le taux d'humidité du bois doit être le plus proche possible du point d'équilibre lors de sa mise en œuvre pour diminuer les variations dimensionnelles et augmenter sa résistance à la dégradation. Par exemple: $15\% < H < 18\%$ Menuiseries extérieures, charpentes ; $12\% < H < 14\%$ Charpentes lamellées collées; $10\% < H < 12\%$ Menuiseries intérieures, meubles. $8\% < H < 12\%$ Parquets. **La préservation** du bois dépend de la nature de l'essence (durable ou non) et des conditions d'usage (charpentes, bardages, menuiseries...). Deux techniques principales sont utilisées, le trempage et le vide-pression pour introduire des produits de préservations à l'intérieur du bois. Un autre procédé plus récent consiste à chauffer le bois vers 200°C pour le stabiliser vis-à-vis de l'humidité et le rendre plus résistant et durable.

Le tranchage est un procédé beaucoup moins courant qui correspond à la transformation la plus valorisante (Figure 8). Il consiste à trancher une pièce de bois de forme rectangulaire, préalablement étuvée, parallèlement à son axe pour obtenir un placage tranché mettant en valeur l'esthétique des bois veinés les plus beaux (chêne, frêne, fruitiers, tropicaux...). Le matériel utilisé est un massicot à placage.

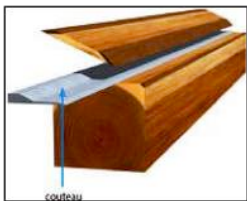


Figure 5. *Trempage*



Figure 6. *Autoclave vide-pression*



Figure 7. *Four de traitement thermique*



Figure 8. *Tranchage*

Le déroulage du bois est une transformation à plus faible valeur ajoutée, pour les utilisations en emballage et contreplaqués. Un couteau déroule le bois à mesure que l'axe tourne, (fig. 9). Généralement on déroule des bois de structure homogène, assez tendre ou mi-durs étuvés, comme le hêtre, l'okoumé, ou tendre comme le bouleau ou le peuplier. Il est possible de régler la machine pour des épaisseurs supérieures, jusqu'à 5mm, à celles des placages tranchés, notamment pour les usages de l'emballage.

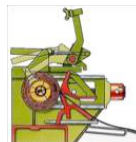
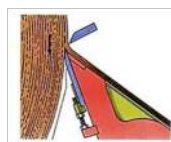
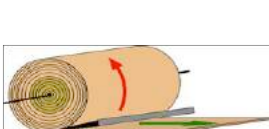


Figure 9. *Le déroulage*.
Paramètre important la position de la barre d'appui par rapport au couteau

Le **fendage** peut être considéré comme une opération de **première transformation** et n'est pas seulement utilisé pour la production de bûches, mais pour la production de merrains (fig.10) qui dans une **deuxième transformation** donnent les douelles formant la paroi des **tonneaux** (fig.11).



Figure 10. Des merrains aux douelles



Figure 11. Des douelles aux tonneaux

La **deuxième transformation** apporte la valeur ajoutée aux produits issus de la première transformation et les met à la disposition du consommateur final, directement ou indirectement par la distribution. Les bois débités sur listes, vont aller directement à la construction (charpentes, fermettes). Les coproduits du sciage vont être transformés d'abord en bois reconstitués, cf fiche 3.09 « Bois massif ou bois reconstitué » avant d'être utilisés en bois énergie. Le volume en est important compte tenu des rendements matières des scieries, de l'ordre de 65 % pour les bois résineux et de 45 % pour les bois feuillus. Les **bois massifs** peuvent être **aboutés et collés** pour obtenir des pièces de grande longueur comme les **lamellés collés**. Il en est de même pour des panneaux massifs à partir de pièces de petite section. Les industries de la menuiserie industrielle (portes et fenêtres) et de l'ameublement font appel à des technologies très évoluées permettant des fabrications flexibles de pièces différentes sur une même ligne comme dans l'industrie automobile. Toute une série de machines vont produire les pièces nécessaires aux menuiseries industrielles et meubles. Les corroyeuses (fig.13) ou « quatre faces » usinent et profilent les pièces circulant à grande vitesse selon le schéma de la figure 12.

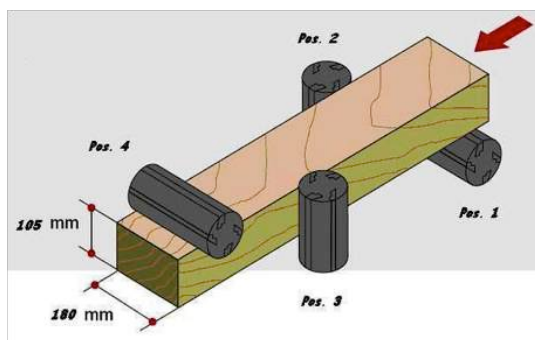


Figure 12. Schéma de corroyeuse



Figure 13. Corroyeuse moulurière - Source : Weining



Figure 14. Porte-outil à raboter



Figure 15. Raboteuse - Source : Weining



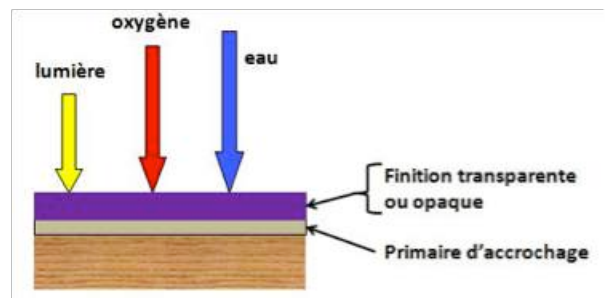
Figure 16. Robot de transfert

La **robotisation** se développe rapidement dans l'Industrie du Bois, au même titre que l'industrie automobile qui est maintenant complètement robotisée. On trouvera dans la restitution sur le colloque sur la robotisation dans les industries du bois, qui s'est tenu récemment à l'ENSTIB, un point complet sur la situation actuelle :

http://www.fcba.fr/sites/default/files/fcbainfo_2015_1_restitution_du_colloque_sur_la_robotique_dans_les_industries_du_bois_et_des_espaces_de_vie_valerie_gourves.pdf

La robotisation permet de passer de la production en série à la production flexible de produits sur-mesure à l'unité, devenue indispensable dans l'ameublement et les meubles de cuisine, et d'améliorer la qualité de la production en supprimant les erreurs humaines dans le tri. La robotisation permet aussi, de mieux gérer les flux intermédiaires dans les ateliers, et de gagner de la place. Pour les salariés, la robotisation permet de diminuer les tâches répétitives et de gagner en ergonomie.

La **protection des bois massifs ou collés**, mis en œuvre dans les menuiseries industrielles ou l'ameublement nécessite un traitement final de surface. Celui-ci est réalisé par l'application de finitions, barrières à l'eau, l'oxygène à la lumière :



Trois types de finitions sont utilisées, les vernis (transparents), pour l'intérieur, les lasures filmogènes ou non et les peintures opaques. Ces produits sont soit sous forme liquide, en solvant organique ou eau, ou pâteuse (résine sans solvant) ou poudre. Les procédés d'applications industrielles, ainsi que de séchage, dépendant des pièces, du produit de finition et de l'usage ultérieur, sont de plusieurs types: rouleau, pulvérisation pneumatique ou électrostatique, aspersion ou flowcoating, cf fig. 17, trempage, rideau ou cylindre. Le séchage se fait soit par évaporation/coalescence, réaction chimique, UV/Vis (fig. 18) pour les finitions liquides, soit par fusion/cuisson pour les finitions poudres :

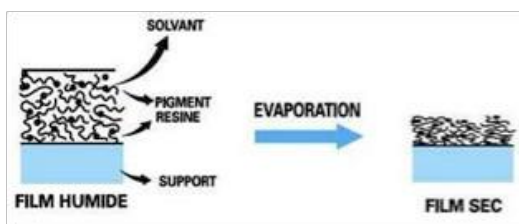


Figure 17. Chaîne de peinture



Figure 18. Séchage UV

Ce qu'il faut retenir

- Le bois issu des forêts est un matériau industriel qui subit deux grandes catégories de transformations pour aboutir au produit final.
- La première transformation est principalement le sciage qui comprend lui-même plusieurs étapes, dont une est primordiale: le séchage.
- Pour être rentables et efficaces, les scieries doivent être de taille importante, permettant d'utiliser des technologies nouvelles comme le scanner X en vue d'optimiser les débits.
- La seconde transformation aboutit au produit final commercialisé ou mis en œuvre. Elle fait appel à des matériels industriels évolués et majoritairement importés.
- La robotisation se développe très rapidement pour rendre les productions compétitives et non délocalisables!

Bois et tonnellerie : mariage de la vigne et de la forêt ?

Dans le monde de l'emballage, la neutralité du contenant sur le contenu est la règle générale. Dans le cas du bois utilisé en emballage alimentaire, ce n'est souvent pas le cas et l'emballage est actif : il ne se contente pas de permettre le stockage et le transport, il interagit avec l'aliment et le bonifie. Le cas des barriques utilisées pour l'emballage des vins et spiritueux depuis des siècles, est emblématique de cette interaction positive entre contenant et contenu, au point que la fonction première de stockage et de transport disparaît quasiment devant celle d'élevage du liquide. Quels sont les atouts du bois, en particulier du chêne ? Quels sont les procédés de fabrication des tonneaux ? Quelles avancées scientifiques et technologiques en tonnellerie ? Quelles évolutions récentes : barriques ou copeaux ? Autant de questions auxquelles cette fiche apporte des réponses.

La barrique : quels sont les atouts du bois ?

L'invention du tonneau tel qu'il existe encore aujourd'hui remonte à près de 3 millénaires dans le monde celte. Dans le commerce du vin entre le monde romain et l'Europe du nord, les atouts du bois étaient tels : légèreté, solidité, résistance aux chocs, que les barriques supplantèrent rapidement les amphores. Il a fallu attendre 2 millénaires pour que le bois soit à son tour supplanté par l'acier, le verre et les polymères pour le transport des liquides. Pendant cette longue période, les innovations de deux corporations, les tonneliers et les vignerons, se sont entremêlées pour faire de la barrique un véritable réacteur incontournable dans la réalisation des grands crus de vin et spiritueux vieillis en fûts (cognac, whisky...).

Une barrique est un cylindre galbé fabriqué à partir de merrain, planches de chêne de premier choix. Ces merrains façonnés en douelles constituent l'enveloppe du fût, une fois cintrée elle donnera la forme galbée. Cela permet à la fois le serrage (étanchéité) par les cercles de diamètres adaptés et le transport facile, sans gros moyens de levage, de pièces de plusieurs centaines de Kg, par simple roulement. Les propriétés mécaniques du bois et les innovations initiales en matière de débit des troncs, d'usinage de précision et de cintrage à chaud du bois sous-tendent le savoir-faire des tonneliers transmis par l'apprentissage qui perdure depuis des siècles sous forme, de nos jours, de formations d'apprentis tonnelier, de compagnons du devoir et de concours de tonneliers Meilleurs Ouvriers de France. C'est dans trois autres domaines que les atouts du bois sont déterminants pour l'élevage du vin ou des spiritueux :

- *La physique des transferts* où le bois se comporte comme une membrane semi-perméable qui permet des échanges contrôlés avec l'extérieur par des phénomènes de diffusion d'eau et d'alcool dans le réseau des parois cellulaires, et de micro-oxygéner le liquide par prélèvement d'oxygène présent dans les cavités cellulaires du bois et transférer l'oxygène grâce à la porosité du matériau. Par ailleurs le bois joue un rôle dans l'isolation et la régulation thermique du contenu.

- *La chimie* : les polymères constitutifs du bois ne sont pas sensibles à la corrosion acide et chaque espèce possède un cocktail de molécules bioactives (une centaine) distribuées dans la matière ligneuse et généralement solubles dans l'eau ou l'éthanol. Elles peuvent donc migrer vers le liquide, y évoluer et s'y marier avec le cocktail encore plus riche du vin et des liqueurs.

- *La microbiologie* : par sa structure le bois est un habitat favorable pour un microbiote fongique et bactérien en surface ou dans la masse. Ces micro-organismes trouvent dans le bois air, eau et nutriments pour leur développement qui est régulé par le cocktail d'extractibles. Ils peuvent modifier les molécules (tannins et arômes) présentes dans le bois ou le vin et en produire de nouvelles.

Le chêne et le vin

Sur un territoire comme la Gaule, les tonneliers ont côtoyé les vignerons et des siècles d'innovations partagées en tonnellerie et en vinification ont conditionné l'élevage du vin en fût de chêne qui est devenu un savoir-faire de plusieurs régions de France et qui a été largement exporté.

Les chênes à feuilles caduques (chêne sessile et pédonculé européens) sont omniprésents dans la forêt française dont la sylviculture donne de grands arbres permettant la fabrication de barriques. Le bois de chêne possède la résistance mécanique, l'aptitude au débit, à l'usinage et au cintrage nécessaires. Il est riche en extractibles solubles dans l'eau (tannins) et dans l'alcool (aromatiques). Il colore rapidement les solutions alcooliques et en modifie le goût avec des résultats très variables selon de nombreux paramètres liés au choix du bois et aux techniques de tonnellerie, notamment en apportant un arôme boisé prisé par de nombreux consommateurs. D'autres espèces comme le robinier ou le châtaignier ont été utilisées pour certains élevages mais leur usage est très marginal aujourd'hui.

La longue démarche d'innovations concertées entre le tonnelier et le maître de chai a donné un corpus de savoir-faire bien en place depuis quelques siècles :



Figure 1. Séchage long, en plein air, des merrains de chêne Photo Taransaud



Figure 2. Mise en robe d'un fût pour le cintrage Photo Taransaud

- Débit sur quartier (par fendage au début) pour obtenir des planches (merrains) sans défauts et de fil très droit sur des longueurs de l'ordre du mètre
- Séchage extérieur non abrité de longue durée (1 à 3 ans) en piles de merrains croisés pour obtenir des bois de siccité modérée (15–16%) mais aussi permettre un maturation du bois le rendant moins amer et plus aromatique (fig.1)
- Usinage de précision des douelles à partir de ces merrains séchés, avec une géométrie adaptée au montage de la barrique (fig.2)
- Assemblage cylindrique enclavé par les cercles métalliques et cintrage à chaud (moins de 100°C) des douelles humidifiées pour donner le galbe du fût
- Chauffé à haute température (au voisinage de 200°C) de l'intérieur de la barrique pour obtenir un début de dégradation thermique des polymères du bois (hémicellulose et lignine) induisant l'apparition de nouveaux composés aromatiques et la modification d'extractibles (fig.3)
- Assemblage puis mise en place des fonds, serrage final, test d'étanchéité de la barrique et finition (fig.4)
- Remplissage avec le vin ou l'alcool à vieillir et élevage contrôlé pendant pendant une durée variable en fonction du produit (vin ou spiritueux)
- Soutirage du fût, nettoyage, et utilisation quelques années à plusieurs décennies suivant les types d'alcools concernés, réutilisation pour le même produit ou pour d'autre, mise en bouteille pour un vieillissement éventuel de la boisson en bouteille.

Compréhension des interactions bois x vin et innovations dans les étapes cruciales

Trois étapes cruciales dans la fabrication de la barrique ont été particulièrement explorées par les équipes R&D très actives dans l'industrie de la tonnellerie, en relation avec le monde universitaire (une thèse par an dans les 20 dernières années) :

- *Récolte et traçabilité des bois*. Chaque espèce possède une signature anatomique (plan ligneux) et une signature chimique (cocktail d'extractibles) qui ont un impact sur le goût final du vin (et sur sa composition chimique mesurable). Par ailleurs, chaque arbre dans une espèce a une signature génétique (analyse de l'ADN) qui traduit sa provenance (généalogie) et une histoire de vie qui modulent, du point de vue quantitatif, les paramètres du plan ligneux (largeur de cerne, porosité ...) et du cocktail d'extractibles (pourcentage absolu ou relatif entre molécules). Ces variations ont aussi un impact, certes moindre, sur le goût du vin.

Toutes les recherches montrent l'importance cruciale de l'espèce, mais il reste très difficile de séparer les bois de chêne sessile et de chêne pédonculé. L'approche traditionnelle utilise beaucoup la largeur de cerne plus importante pour le pédonculé. Deux grandes voies de recherche sont développées : une approche chimique par caractérisation d'une partie des extractibles (tannins et aromatiques) et une approche génétique par analyse de l'ADN utilisable. Des outils statistiques sont ensuite mis en œuvre pour séparer les espèces sur la base de ces paramètres.

- *Séchage à l'air libre non abrité*. Il a bien entendu pour premier rôle d'amener le bois vert des merrains de l'humidité initiale dans l'arbre (60% environ) à son humidité d'équilibre avec l'air ambiant (15 à 16%). Mais ce n'est pas le plus important et le procédé de séchage inhabituel utilisé a un double intérêt : i) éviter l'apparition de fissures de séchage gênant pour l'étanchéité par un séchage « oscillant » relaxant les contraintes et ii) permettre l'installation d'un microbiote qui va commencer à modifier les extractibles du bois dans la masse (les tannins notamment). Il est possible de jouer sur le microclimat par l'organisation des stockages ou des arrosages éventuels. Les recherches s'appuient sur des outils de suivi de l'humidité, des contraintes et de l'évolution des tannins afin de d'aider au pilotage de ce procédé.

- *La chauffe finale (bousinage, fig.3)*. Elle a aussi un double intérêt : i) bloquer le cintrage du bois par un passage à haute température et ii) modifier la chimie du bois près de la surface interne de la barrique, par dégradation des polymères du bois et modification de ses extractibles. Cette chauffe peut aller jusqu'à un début de carbonisation de surface, notamment pour les alcools forts. C'est la partie considérée comme la plus délicate par les tonneliers et elle doit être adaptée au vin (ou au spiritueux) qui sera élevé dans le fût. Le savoir-faire du tonnelier peut être assisté par des mesures thermiques in situ durant la chauffe et par des analyses chimiques très fines des modifications chimiques.



Figure 3. Bousinage : chauffe aromatique de la barrique Photo Taransaud



Figure 4. Barriques en fin de montage Photo Taransaud

Les évolutions récentes : barrique ou copeaux ?

Le côté purement emballage du bois pour le stockage et le transport ne représente qu'un aspect de la vinification dont les différentes étapes : fermentation alcoolique, fermentation malolactique, élevage et vieillissement peuvent être menées dans d'autres contenants. Une bonne partie des étapes clés conduisant à un vin boisé nécessitent l'intervention du bois de chêne, au moins dans ses aspects microbiologique et chimique. Mais cela peut se faire à l'aide de plaquettes de bois (copeaux) baignant dans le liquide stocké en cuve inox ou béton. Ces plaquettes doivent elles aussi subir une préparation microbiologique et chimique que maîtrisent plus ou moins les tonneliers. Néanmoins, il reste des différences suffisantes pour que le contrôle du type d'élevage puisse se faire avec les outils de la chimie analytique.

Depuis 2005 l'Union Européenne autorise l'élevage du vin en présence de copeaux de chêne issus du savoir-faire des tonneliers et cette pratique déjà présente dans les nouveaux vignobles, s'est très fortement développée. Pourtant le nombre de barriques en chêne fabriquées en France a triplé en 25 ans (1991 – 2016) et leur valeur unitaire continue d'augmenter. Le contexte socio-économique a évolué vers une consommation de qualité. Les vins les plus chers (grands crus) supportent des pratiques onéreuses comme l'élevage au contact du chêne. L'élevage en cuves inox avec des copeaux est bien moins cher et le consommateur ne fait pas toujours la différence. En réalité il n'y a pas de compétition mais plutôt une complémentarité au niveau des tonnellerie qui fournissent les vigneron en fûts et en copeaux (sous produits de la fabrication de fûts).

Tonnellerie, chêne et forêt : une «success story» ?

Avec 1m³ de chêne (bois rond) on peut fabriquer 2 barriques et il faut 5m³ de bois rond pour débiter 1m³ de merrain. Le nombre de barriques fabriquées en France en 2016 est d'environ 600 000 à destination des vins et de nombreux alcools) pour un CA de 400 M euros. Plus de 60% de cette production est exportée. La tonnellerie française représente à elle toute seule plus de 30% de la valorisation des chênes en forêt. Les chênes français issus de forêts emblématiques sont de plus en plus chers et ils sont concurrencés par les chênes d'Europe de l'est et par le chêne blanc américain. Alors que le fût de chêne semblait condamné il y a une cinquantaine d'année, il a fait un retour spectaculaire permis par une industrialisation raisonnée intégrant les compétences acquises des tonneliers et appuyé par un effort de recherche et d'innovation rare dans nos industries du bois. Les évolutions en cours dans les domaines de l'alimentation et de l'environnement pourraient amener à reconsidérer l'intérêt du bois en matière d'emballage des liquides alimentaires, compte tenu de ses atouts et des avancées scientifiques apportées par l'élevage des vins en fûts de chêne.

Ce qu'il faut retenir

- Les bois ont des atouts dans l'emballage de liquides destinés à l'alimentation par leurs réponses en matière de mécanique, de physique des transferts, de chimie et de microbiologie.
- Le bois de chêne se marie très bien avec le vin ou les alcools et les forêts françaises offrent une ressource adaptée à la tonnellerie.
- Le fût et les copeaux de chêne sont complémentaires pour les vins haut et moyen de gamme. Le secteur de la tonnellerie continue à progresser en volume et en valeur.
- La recherche et l'innovation sont très actives entre les tonnellerie et l'université dans de nombreux domaines
- La tonnellerie peut être un exemple de mariage réussi entre traditions et innovations pour la valorisation de bois de qualité supérieure.

Pour en savoir plus

Nicolas Vivas (2002) Manuel de tonnellerie. Editions Féret

<https://www.youtube.com/watch?v=QOLNpRUIhdE> film VHS de 1990 montrant toute la chaîne du fût au fut en fabrication artisanale

<https://www.dailymotion.com/video/x44fnf0> film de 2016 pour l'inventaire des mémoires ouvrières en Poitou-Charente

<http://www.theses.fr/?q=%22Tonnellerie%22> accès aux thèses soutenues en France dans le domaine de la tonnellerie