

Le choix du bois

Autor(en): **Natterer, Julius / Sandoz, Jean Luc**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **121 (1995)**

Heft 21

PDF erstellt am: **26.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-78625>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Le choix du bois

Par Julius Natterer, professeur, et Jean Luc Sandoz, prof. assist., IBOIS – EPFL, 1015 Lausanne

La chaire de construction en bois, IBOIS, du Département de génie civil de l'EPFL a été créée en 1978 pour donner une impulsion à cette discipline en Suisse romande et encourager le développement de structures novatrices. Grâce aux travaux du professeur Julius Natterer, directeur d'IBOIS depuis sa création, cette unité d'enseignement et de recherche a été reconnue comme centre de compétence pour la construction bois en Suisse par le Conseil des Ecoles polytechniques fédérales (CEPF), ce qui a permis la nomination de Jean Luc Sandoz comme professeur assistant, pour élargir encore la sphère des activités d'IBOIS au sein de la filière bois-construction (Réd.).

Le présent article fait état d'un certain nombre de recherches effectuées par la chaire de construction en bois (IBOIS) de l'EPFL, aujourd'hui complètement abouties et dont les résultats sont désormais à la disposition de nos ingénieurs et architectes. Il développe en outre les raisons de substituer le bois à d'autres matériaux. Parmi ces critères de choix, citons l'intérêt que présente le bois pour l'innovation architecturale, la compétitivité que les nouvelles techniques d'optimisation confèrent à ce matériau ou, encore, les apports de ce mode de construction à une économie durable – au sens des conclusions de la conférence de Rio de 1992 – puisqu'il permet, entre autre, de financer l'entretien et le développement des forêts.

Histoires de bois

Le bois est, avec la terre, un des plus vieux matériaux de construction que plusieurs civilisations successives ont largement utilisé, transmettant tout à la fois un savoir-faire perfectible et un patrimoine architectural riche et varié, teinté des contraintes et des croyances locales.

En Europe, pour commencer par notre aire culturelle, la construction en rondins empilés horizontalement, dans les contrées du Nord richement boisées et peu peuplées, devait rapidement évoluer, par souci d'économie de la ressource, vers une structure en bois et un matériau de remplissage à base de terre. Les premières fermes assemblées aux alentours du X^e siècle, puis

le développement de structures dites à colombages, marquent les débuts d'un patrimoine bâti qui, du XI^e au XIX^e siècle, caractérisera toute l'Europe boisée, de Saint-Gall à l'Alsace, ou de Quedlinburg¹ aux villages reculés de l'Europe de l'Est.

En Asie, de la Chine au Japon, la construction en bois véhiculée par le bouddhisme et ses sages messagers allait atteindre un degré de perfection encore supérieur, en raison de son lien étroit avec la religion, tant par la dimension des ouvrages que par la complexité des assemblages et du montage qui en découlent. Ainsi, une des plus anciennes constructions en bois, symbole de savoir-faire et de technicité, d'architecture et de durabilité, n'est autre que l'ancien sanctuaire bouddhique Hôryû-ji près de Nara au Japon, qui date du VII^e siècle. Quant aux zones humides de l'Asie, comme dans les pays et les archipels du Sud-Est, la construction en bois s'y est également développée avec des édifices sur pilotis réalisés selon les techniques et formes empruntées à la construction navale.

L'histoire de la construction en bois, on le voit, est riche et offre de multiples facettes. Au-delà de l'architecture civile et religieuse, le bois est également présent dans le génie civil et les ouvrages d'art avec, par exemple, les ponts suspendus à des câbles de bambou en Chine, le pont Kintai près d'Hiroshi-

¹Ville d'Allemagne, au pied du Harz, riche en maisons à colombages, classées monuments historiques

ma, qui date de 1673 ou, plus proche de nous, les ponts des frères Hans Ulrich et Johannes Grubenmann en Suisse. Le bois est encore le matériau d'origine dans le génie naval ou la mécanique, avec les roues et moulins, les premiers engrenages et les premiers véhicules, sans parler de toute l'évolution du meuble. En fait, le bois se retrouve partout, durant notre deuxième millénaire, comme matériau de construction et matériau d'ingénieur, à l'exception du XX^e siècle qui ne retiendra pour l'Europe, que quelques objets sporadiques construits au gré des influences locales.

Déclin ou atavisme?

Si, pour tenter d'entrevoir l'avenir, on analyse la rupture qui se produit au XX^e siècle quant à l'utilisation du bois dans la construction, l'hypothèse de son déclin ne se confirme pas ou plus. La fracture s'est en fait produite aux environs du dernier changement de siècle pour deux raisons essentielles.

La première est que le bois, matériau d'ingénierie, est aussi et d'abord une ressource énergétique: or, la croissance démographique européenne – régulière depuis le XVIII^e siècle – ainsi que les guerres successives qui détruisirent partiellement le parc forestier, ont diminué les réserves au point de faire du bois une ressource précaire. Cela amena quasiment tous les pays boisés d'Europe à élaborer des plans de reboisement et à chercher des voies de substitution afin de répondre à la demande. Simultanément, et c'est la deuxième raison de la désaffection qui a marqué le bois, la révolution industrielle imposait une autre façon de transformer la matière première et de produire des biens manufacturés dans le but de satisfaire chacun. L'époque est à la lutte contre la pénurie dans l'objectif du bonheur matériel, immédiat. Cette



Fig. 1. – Polydôme de l'EPFL, réalisé à l'occasion du 700^e anniversaire de la Confédération et destiné, à l'époque, à recevoir l'exposition «Miroir des techniques». Il est basé sur le système statique d'une grille de planches cintrées. L'épaisseur de chaque nervure contient seulement quatre planches de 27 mm vissées. (Architectes: D. Badic et associés, Morges; ingénieurs: J. Natterer et Bois Consult Natterer, Etoy) (Photo H. Germond)

évolution est facilitée par le «big-bang» des nouveaux matériaux et des matières synthétiques développées sur les crédits de l'énergie fossile, qui est offerte comme une dot au XX^e siècle. Comme dans toute période initiale, l'enthousiasme est général, les perspectives nombreuses, la créativité renaissante, la dynamique puissante, tandis que les effets à long terme de ces nouveautés sont esquissés, puis esquivés, parce qu'ils ne trouvent aucun écho dans la sensibilité sociale à ce moment-là. Pour le bois, complexe, ancien, exigeant le savoir-faire d'artisans spécialisés et de surcroît dévalorisé par un potentiel de ressources au creux de la vague, la condamnation semble sans appel. Ainsi, dans un premier temps, la connaissance empirique et historique du matériau s'efface progressivement, la recherche et les investissements sont réduits à zéro. Cet état de dormance persiste jusqu'à la première crise pétrolière, en 1973; il est suivi, jusqu'en 1992 (sommet de Rio de Janeiro), d'une période de «sommeil paradoxal», qui prépare le réveil

actuel où le bois se positionne comme le matériau disponible pour un mode de construction dit alternatif, respectant les conditions d'un développement durable.

C'est que les données, en Europe, se sont inversées au seuil du troisième millénaire. Sous-exploitées depuis longtemps, les forêts sont engorgées et l'agriculture moderne, après avoir emprunté la terre, la restitue à la forêt, ce qui augmente encore le potentiel de ressources ligneuses. Quant aux nouveaux matériaux d'hier, ils ont aujourd'hui montré leurs limites de durabilité et présentent un bilan écologique fortement déficitaire. Cette donnée étant désormais prise en compte par une économie désireuse, pour rester crédible, de corriger sa dérive des années passées, leur cote est à son tour en chute libre. L'effet de «big-bang» initial ne joue plus: la créativité associée aux nouveaux matériaux, devenus communs, s'est essouffée et l'esquisse de nouveaux projets a fait place à une stratégie de maintenance des ouvrages construits. Alors, sans

aller jusqu'à prétendre lire dans l'écuelle des pythonisses, on peut admettre que l'histoire du bois dans la construction passe, en cette fin de millénaire, par un point d'inflexion, ouvrant des perspectives d'avenir plus heureuses pour ce mode de bâtir. Bien sûr, il ne s'agira pas de substituer totalement l'un ou l'autre des matériaux qui se sont imposés au XX^e siècle, mais de rééquilibrer les positions de chacun. Si le bois occupe aujourd'hui moins de 5% en volume des matériaux mis en œuvre dans la construction, le doublement de sa position serait un premier objectif important pour la filière bois, marginal pour les autres matériaux. Cette renaissance ne saurait toutefois s'appuyer sur la seule redécouverte des acquis historiques. L'intérêt écologique incontestable de cette renaissance doit encore être soutenu par une démarche moderne et audacieuse, technique et compétitive. C'est pour garder ce cap que quelques éléments de recherches abouties et éprouvées à IBOIS sont présentés ci-après.

Conception et CAO

La conception de la structure en bois est indéniablement la prestation la plus importante de l'ingénieur bois, qui, pour être optimisée et réussie, nécessite la collaboration avec l'architecte dès le stade initial du projet. La conception a des effets directs sur la durabilité de l'ouvrage, par l'intégration des principes de protection constructive visant à réduire les prises d'eau directes et, quand elles existent, à garantir leur ventilation pour faciliter le séchage. La phase de conception a également une influence primordiale sur les coûts, au niveau des quantités tout d'abord et en ce qui concerne le temps de fabrication et de montage ensuite. Les assemblages, nécessitant souvent la confection de pièces métalliques sur mesure, sont en effet en relation directe avec le coût final, et un des critères d'optimisation économique sera donc lié au concept d'assemblage retenu, tant en nombre qu'en simplicité et en homogénéité.

Pour améliorer la conception, optimiser les détails d'assemblage et faciliter la planification avec l'entreprise de fabrication, l'informatique est un outil précieux. Pour le bois, un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) a été développé à IBOIS dans sa première phase, puis étendu et commercialisé par une société privée: il s'agit de CADWORK [1]². La conception assistée par ordinateur a également l'avantage de présenter le projet sous différents angles de vue et perspectives, toujours très utiles pour le dialogue avec le maître de l'ouvrage, qui n'est pas forcément un spécialiste habitué à visualiser le projet dès les premières coupes de principe (fig. 2).

Protection constructive

En leur qualité de régulateurs du CO₂, les arbres sont des éléments essentiels de l'écosystème permettant la vie sur la planète. Produit de la photosynthèse (le processus par lequel l'arbre transforme le dioxyde de carbone en matière ligneuse), le bois n'est autre qu'un stock tampon de CO₂ entre le règne végétal et le sous-sol minéral, régulant le flux circulatoire du carbone par des phénomènes de synthèse et de dégradation plus ou moins accélérés. Les mécanismes d'élimination du bois sont de deux ordres: la dégradation biologique par des micro-organismes et la dégradation physique par le feu.

C'est à ces deux phénomènes fondamentaux que l'ingénierie moderne de mise en oeuvre du bois doit répondre, en intégrant des règles de protection constructive à la conception de la structure et des détails d'assemblage. Pour la protection biologique, l'intégrité du matériau doit être maintenue en évitant tout apport direct en eau et, quand il existe, en facilitant l'as-

sainissement par une possibilité de ventilation efficace des zones humides. Cette exigence amène à concevoir des volumes de ventilation avec flux activé, par exemple sur isolation, ou à prévoir des clouages et des tire-fond mis en place par le côté intérieur des constructions externes. Des produits de traitement et la sélection d'essences à durabilité naturelle supérieure (mélèze et cèdre, par exemple) peuvent prolonger la longévité de l'ouvrage, mais dans tous les cas, ils ne sont pas efficaces seuls et doivent s'ajouter aux effets d'une conception judicieuse.

En ce qui concerne la protection contre l'incendie, le bois ayant une conductivité thermique très faible qui engendre une combustion par étapes passant par un stade de carbonisation, un dimensionnement au feu est facilement réalisé en se basant sur une vitesse de combustion de 0,7 mm/min [2]. On réduit la combustibilité en diminuant le nombre d'arêtes exposées et en limitant les organes conducteurs qui traversent les éléments

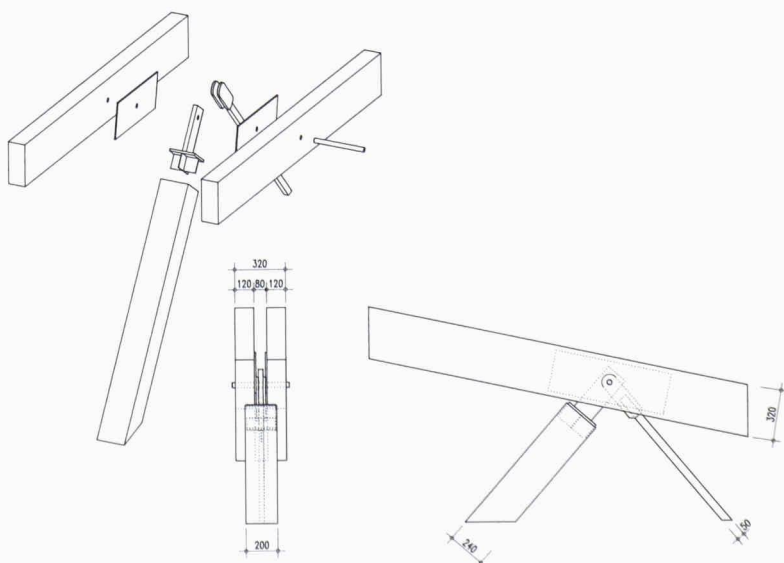


Fig. 2. – Exemple d'un détail d'assemblage traité avec CADWORK. Il est présenté en vue éclatée, permettant l'analyse, le dimensionnement et la visualisation géométrique de chacun des composants.

(pièces métalliques non protégées). On remarque donc qu'un habillage avec un panneau de 22 mm d'épaisseur permet déjà d'atteindre la classe de résistance au feu F30. La conception de structures en bois dimensionnées au feu débouche ainsi sur des solutions simples et élégantes, adaptées au marché des bâtiments publics, de l'habitat ou des constructions polyvalentes et, surtout, à la réalisation de halles industrielles. Là aussi, le développement des connaissances, les résultats d'expériences concluantes et l'évolution des nouvelles normes (européennes) permettent d'évoluer vers plus de compétitivité, tout en garantissant la fiabilité.

Fiabilité et optimisation

La mise en œuvre du bois comme matériau structural, place toujours l'architecte et l'ingénieur face au problème de sa fiabilité mécanique. Il est vrai que la dispersion des qualités mécaniques du bois est presque aussi importante que celle du béton. Afin de garantir la sécurité structurale du bois dans la construction, les auteurs des normes ont ainsi été conduits à fixer les valeurs admises sur la base des performances des pièces les plus faibles. Or, il s'agit là d'un nivellement par le bas, qui a le double inconvénient de n'être pas économique et de limiter l'envergure des systèmes statiques proposés, donc les variantes bois.

La construction moderne en bois entend précisément profiter de la variabilité naturelle des caractéristiques du bois, plutôt que d'en être la victime, en adoptant une approche qualitative par le biais du triage et de la mise en œuvre des bois à hautes performances mécaniques, qu'elle est à même de sélectionner par des techniques de métrologie fiables. Un des exemples en est la ligne d'équipement à ultrasons développée

à IBOIS [3], avec l'appareil portable *Sylvatest*, pour les mesures ponctuelles, ou les machines automatiques *Sylvamatic*, intégrées dans les usines de production. Le principe de cette méthode est de surcroît assez simple: il s'agit de mesurer la vitesse de propagation d'une onde ultrasonore à basse fréquence dans le bois (fig. 3). Aux vitesses élevées correspondent les qualités supérieures et aux vitesses faibles, les qualités inférieures. Cette technique s'applique aussi bien aux bois ronds, sciés ou collés, qu'aux arbres ou aux éléments boisés des constructions historiques.

Concrètement, l'ingénieur peut travailler avec les caractéristiques mécaniques figurant dans le tableau 1, données pour les bois massifs. Pour les bois à haute performance, un essai non destructif par ultrason ou par épreuve de flexion, par exemple, doit attester de leur qualité.

La valorisation qualitative du bois massif se reporte bien sûr sur celle des bois collés. Avec ces matériaux également, de

nouvelles classes de produits à hautes performances sont à disposition. Il faut cependant noter que dans le cas du bois collé, il s'agit de gérer la variable qualitative supplémentaire qu'est l'aboutement (collage bout à bout des planches). Des recherches à caractère plus fondamental, utilisant les méthodes optiques d'holographie pour l'analyse du comportement mécanique ont permis à l'IBOIS, en collaboration avec l'IMAC³, de démontrer la fragilité multi-variée de l'aboutement. Ces résultats ont conduit IBOIS à encourager le développement et la prise de brevet sur un nouveau produit: le bois lamellé-multicollé (BLMC). Ici, les performances du bois lamellé-collé (BLC) initial sont améliorées par l'adjonction d'une semelle en lames verticales dans la zone tendue de la poutre. Fonctionnant comme un système parallèle, cette semelle améliore considérablement la résistance moyenne des poutres BLMC, par comparaison à celles de BLC de même qualité de bois (fig. 4)

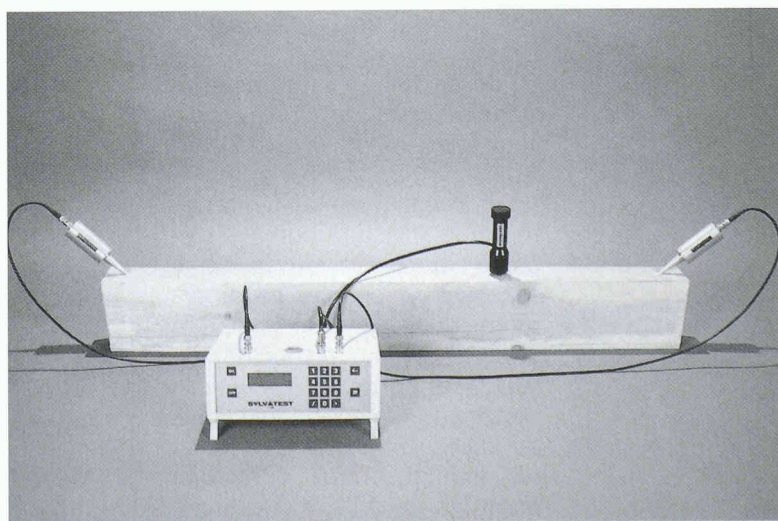


Fig. 3. – Sylvatest, appareil portable de mesure des propriétés mécaniques des bois par ultrasons. On observe les deux transducteurs émetteur et récepteur de l'onde ultrasonore, ainsi qu'un troisième capteur, permettant de mesurer l'humidité et la température du bois pour affiner l'évaluation de la qualité mécanique. Le résultat de la mesure est affiché sous forme de classe de qualité ou directement sous forme de valeur admissible pour le module d'élasticité et la résistance en flexion. L'automatisation du triage par ultrason a donné naissance à la machine Sylvamatic, comme extension de l'appareil portable.

Tableau 1. – Caractéristiques mécaniques utilisables pour les bois de construction, bois sciés ou bois ronds, intégrant les classes de qualité à haute performance*

	Classes de résistance	Module d'élasticité en flexion [N/mm ²]	Contrainte admissible [N/mm ²]			Classement européen équivalent	Conditions d'application
			Flexion	Traction	Compression		
Nouvelles classes	0+	15 000	19	14	16	C40	test non destructif
	0	14 000	17	12	14,5	C35	test non destructif
Classes SIA 164 (1992)	I	12 500	13	9,5	11	C30	test non destructif
	II	10 000	10	8,5	8,5	C22-C27	contrôle visuel
	III	8 000	7	–	6	C14-C18	contrôle visuel

* Ces caractéristiques sont les valeurs admissibles nominales qui seront affectées des coefficients c_D , c_W , en fonction des caractéristiques de la structure, suivant les prescriptions de la norme SIA 164 (1992).

[4]. Le tableau 2 donne les performances des bois collés, en intégrant les deux apports du triage à l'aide de tests non destructifs pour l'amélioration des modules d'élasticité et du procédé de multicollage aboutissant à une résistance supérieure, à fiabilité garantie.

Structures légères

Sur la base de la valorisation des bois par triage et de la garantie de fiabilité, les systèmes statiques des structures peuvent évoluer vers des structures légères [5], de façon à proposer un nouveau type d'architecture, où la structure primaire disparaît au profit de la seule structure secondaire auto-portante. Un tel résultat peut être atteint par la recherche de structures porteuses à fonctionnement bi-dimensionnel, grâce au maillage des éléments et en recherchant une continuité dans les champs d'efforts de façon à éviter des pics d'efforts tranchants ou de moments, forcément consommateurs d'inertie. Cela s'applique à tout le domaine des coques, dont une des plus belles réalisations est le *Polydôme*, le pavillon en

planches croisées-vissées, érigé sur le site de l'EPFL en 1991 (fig. 1).

Outre l'élargissement architectural proposé, ces types de structures permettent de dégager des volumes très importants sans appuis intermédiaires, tout en restant légères, c'est-à-dire à faible consommation de volume matière, donc économiques. Les points techniques les plus sensibles sont le rivage des nœuds périphériques pour établir la liaison avec les appuis, ainsi que les techniques de montage et de formage qui nécessitent une organisation de chantier adaptée. Mais dans l'ensemble, ce type

de structure, après planification, reste à la portée des petites entreprises. Il peut donc constituer partout, même dans les pays de faible niveau technique, une solution locale à des problèmes locaux.

La même démarche peut être appliquée à des structures de type serre. Dans ce cas, l'objectif architectural est, par définition, de réduire au maximum la dimension et l'importance de la structure pour laisser place au vitrage. Les bois à hautes performances y trouvent donc naturellement leur place, sous forme de bois massif ou de bois collé [6].

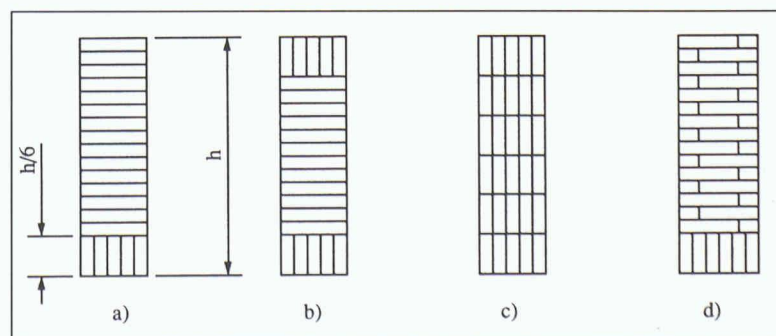


Fig. 4. – Schéma de principe du bois lamellé-multicollé (BLMC) avec une ou plusieurs semelles composées de lames verticales, en particulier dans les zones tendues.

Tableau 2. – Caractéristiques mécaniques des bois lamellés-collés (BLC), intégrant les aspects triage du bois par tests non destructifs et renforcement par semelle lamellée-multicollée (BLMC)*

	Classes de résistance	Module d'élasticité [N/mm ²]	Contrainte admissible [N/mm ²]			Classement européen équivalent	Conditions d'application
			Flexion	Traction	Compression		
Nouvelles classes	BLMC 0+	15 000	19,5	16,5	16,5	GL36	test non destructif + multicollage
	BLMC 0	14 000	17	14,5	14,5	GL32	test non destructif + multicollage
	BLC 0+	15 000	14	12	14	GL28	test non destructif
	BLC 0	14 000	14	12	14	GL28	test non destructif
Classes SIA 164 (1992)	BLC A	11 000	14	11	11	GL24	contrôle visuel
	BLC B	11 000	12	10	10	GL20	contrôle visuel

* Ces caractéristiques sont les valeurs admissibles nominales qui seront affectées des coefficients c_D , c_W , en fonction des caractéristiques de la structure, suivant les prescriptions de la norme SIA 164 (1992).

Systèmes parallèles: les dalles en bois

Prélevant les meilleures pièces pour des structures porteuses sélectionnées selon les méthodes décrites ci-dessus, l'optimisation des systèmes à membrure unitaire laisse une offre en matériau bois déséquilibrée par rapport à l'ensemble de la ressource forestière. Celle-ci se retrouve donc avec un solde de qualité moyenne à faible, représentant un volume important et difficile à commercialiser en raison de la concurrence internationale et face à la production des grandes scieries étrangères (Autriche, pays scandinaves, Finlande). Il s'agit là d'un produit de masse à faible valeur ajoutée

(planches de 27 à 35 mm, de toutes largeurs et longueurs) qui cherche sa niche économique dans un marché spécifique, mais gourmand: ce pourrait être celui des dalles en bois.

Les dalles en planches clouées [7] constituent en fait un système parallèle, dont la performance correspond à la performance moyenne de ses composants et varie très peu. Un tel système, par la répartition ou le lissage des qualités, ne justifie donc plus l'utilisation des principes de fiabilité précédents, adaptés aux membrures unitaires. Dès lors, les valeurs admissibles à utiliser dans ce cas peuvent être majorées, puisque le risque de l'élément faible n'existe plus. Cela

ouvre donc la voie à l'exploitation des bois de qualité moyenne à faible, à des niveaux de valorisation équivalents à ceux du bois de qualité supérieure. A titre d'exemple, le tableau 3 donne quelques valeurs caractéristiques pour des classes de qualité II et III de l'actuelle norme SIA 164.

Les dalles en planches constituent une alternative séduisante et compétitive par rapport à la dalle en béton, pour des portées de trois à six mètres, travaillant sous charges réparties. La dalle en bois est, en effet, fortement anisotrope avec des propriétés faibles en direction transversale, dues aux caractéristiques du bois d'une part, et au clouage sur quatre à cinq planches d'autre part.

Sur des portées plus conséquentes, la dalle bois évolue en inertie composée pour donner la dalle mixte bois-béton [7], avec une section de béton pour reprendre les efforts de compression, une section de bois pour travailler en traction et un

Tableau 3. – Nouvelles valeurs admissibles pour la mise en œuvre de planches clouées en système dalles, pour des classes de qualité moyennes et inférieures selon norme SIA 164 (1992)

Classes de résistance	Module d'élasticité en flexion [N/mm ²]	Résistance en flexion [N/mm ²]	Conditions d'application
II	11 000	13	Clous travaillant sur quatre planches au minimum
III	10 000	10	

connecteur pour lier les deux matériaux et assurer l'efficacité en cisaillement des entailles de liaison (fig. 5). Un tel système permet des portées libres allant jusqu'à 15 m pour des charges d'exploitation classiques. Outre sa légèreté, il intègre directement un plafond, qui peut être exécuté sous différentes variantes (fig. 6). De surcroît, le concept dalle bois ou dalle mixte s'avère performant du point de vue de la physique du bâtiment. Quant à la protection incendie, l'exposition surfacique est favorable et la hauteur des planches permet d'atteindre, dans certains cas, la classe F60. Enfin, au niveau du comportement dynamique, le concept mixte bois-béton étant très rigide, sa réponse vibratoire se situe dans un domaine de fréquences élevé. A titre d'exemple, la réponse mesurée d'une dalle composée de 24 cm de bois et de 14 cm de béton, sur une portée de 11 m, était de 6,75 Hz avec un ratio d'atténuation de 2% (l'exigence minimale de l'Eurocode est de 5 Hz). Cette technique a déjà été utilisée dans plusieurs constructions. Un des exemples locaux les plus récents est l'ensemble de Gilamont près de Vevey, qui comporte soixante logements sur cinq étages, séparés par des dalles mixtes bois-béton. Même les parois verticales utilisent le principe des planches clouées, comme coffrage perdu (fig. 7).

Le bois écologique

Il y a seulement une génération, et pour ne citer qu'un exemple, les écologistes parvenaient à faire substituer la menuiserie bois par du PVC (polychlorure de vinyle). C'était l'époque du «Save the forest» prêchée par les ayatollahs du mouvement vert, qui affûtait alors ses premières armes. Aujourd'hui, leurs mollahs sont à l'origine du changement de cap radical qui a amené plus de quatre-vingt villes al-

lemandes, dont Berlin, à vouloir interdire récemment tout produit PVC dans le bâtiment et à proposer leur substitution par le bois, matériau renouvelable à bilan écologique favorable.

Seuls les médias ou des groupes de pression associatifs peuvent se permettre de telles fantaisies. Une entreprise n'y survivrait point. On remarque donc, qu'au-delà du diktat primitif des écologistes opportunistes, relayés par les médias de façon plus ou moins intense en fonction de la position de la vague verte dans son cycle éphémère, l'écologie est une science de demain, basée sur le bon sens et le respect de la nature, qui s'inscrit dans une perspective à long terme.

Le bois fait partie de cette vision parce qu'il est «écologique». Basé sur une ressource renouvelable à caractère durable [8], sa position comme matériau alternatif se précise dans trois directions: bois-énergie, bois-chimie et bois-construction. N'a-t-on pas vu récemment les premières villes européennes alimenter leurs transports publics par du bio-carburant? C'est la victoire du lobby agricole embourbé

dans les excédents de sa propre gestion malheureuse. Reste à savoir si, à long terme, il sera toujours nécessaire de passer par la production mécanisée, donc coûteuse, du colza pour exploiter sa valeur énergétique.

Dans le secteur bois-chimie de la transformation du carbone, le même cap est visé. Les entreprises produisant des dérivés terpéniques par traitement des bois résineux sont en pleine croissance. Les géants du pneumatique redécouvrent l'intérêt et les performances du latex et s'investissent eux-mêmes dans les programmes de reboisement et d'exploitation d'hévéas, pour garantir leur approvisionnement en caoutchouc naturel et atteindre l'équilibre avec le caoutchouc synthétique pour le troisième millénaire.

Mais le secteur alternatif le plus accessible, techniquement et économiquement, est indéniablement celui du bois-construction. Au-delà des phénomènes de mode, il s'inscrit dans une tendance à long terme parce qu'il respecte les équilibres fondamentaux imposés par l'excédent forestier, il permet la valorisation des produits nobles de la

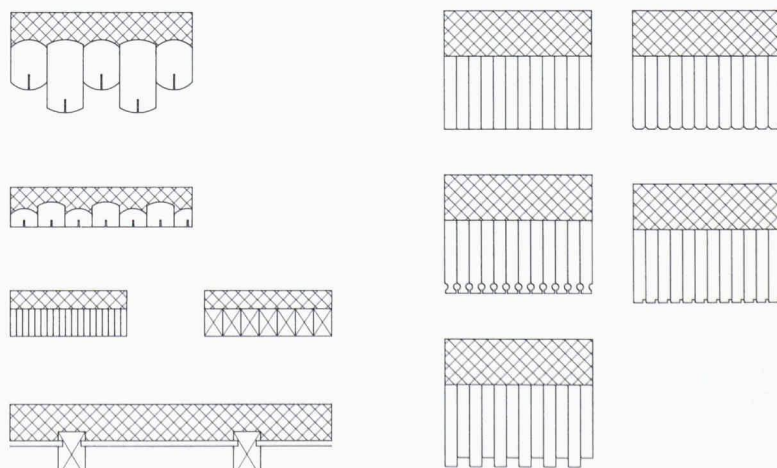


Fig. 6. – Variantes de plafond en bois résultant de la mise en œuvre de la dalle bois ou de la dalle mixte bois-béton. Le marquage du joint dans certains cas utilisant des planches permet de renforcer le joint d'ombre qui ne manquera pas de se former avec les variations hygrosco-piques et dimensionnelles du bois.

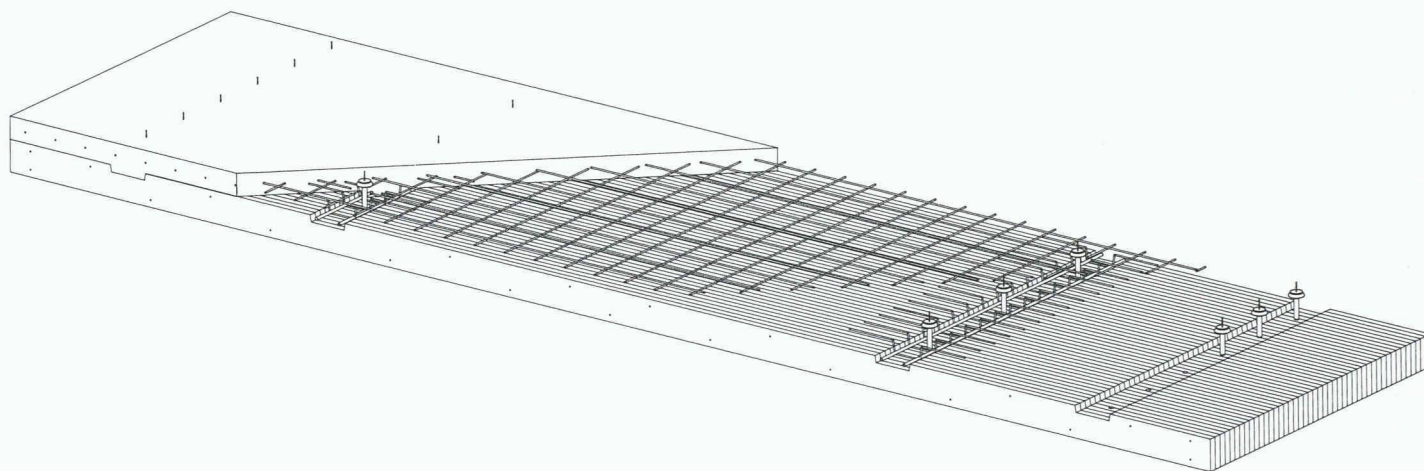


Fig. 5. – Concept de la dalle mixte bois-béton avec des membrures bois dans la zone tendue. Ce système fonctionne en parallèle, avec une épaisseur de béton dans la zone comprimée de la dalle et un connecteur permettant de lier les deux composants structurels. On observe également l'encoche dans le bois, permettant au béton de se comporter localement comme une clavette de cisaillement.

forêt et donc son financement. Il a une riche histoire et bénéficie d'une actualisation technique offrant des solutions modernes et diversifiées et, surtout, il est directement compétitif avec des effets favorables sur l'emploi local, ce qui en fait une solution providentielle. Sa propre dynamique d'évolution dépendra des investissements consentis dans les deux secteurs du développement économique et de la formation et de l'encadrement, mais il apparaît déjà le mieux placé pour enrichir le XXI^e siècle et effacer ainsi certaines errances de l'actuel.

Références bibliographiques

- [1] NATTERER J., WALTHER A., ESCHBACH, J.-PH. : «Adaptation du logiciel «cadwork» à la construction en bois», *Ingénieurs et architectes suisses* N° 22, 1988, pp. 345-353
- [2] HARTL, H.: «Behaviour of timber and wood-based materials in fire», in «Timber Engineering STEP 1: Basis of design, material properties, structural components and joints», Almere (Pays-Bas), Centrum Hout, 1995, pp. A13/1-A13/7
- [3] SANDOZ, J. L.: «Bois suisse dans les constructions: le triage ultrason», *J. de la construction de la Suisse romande*, 65 (1991) 5, pp. 25-32
- [4] SANDOZ, J. L.: «Nouveau matériau pour la construction, le bois lamellé-multicollé est né!», *J. de la construction de la Suisse romande*, 66 (1992) 23, pp. 17-24
- [5] NATTERER, J., HERZOG, T., VOLZ, M.: «Construire en bois 2», Presses polytechniques et univ. romandes, Lausanne, 1994
- [6] HERZOG, T. et al.: «Habiller de verre et de bois: agrandir des maisons familiales sans augmenter la consommation d'énergie», 2^e éd., Presses polytechniques et univ. romandes, Lausanne, 1985
- [7] NATTERER, J., EMERY, R., PFLUG D.: «Conception des structures mixtes bois-béton: méthode de calcul simplifiée». BOIS/EPFL, Lausanne, 1995 (note interne)
- [8] SANDOZ, J. L.: «Les forêts du monde dans l'ombre de Malthus: intérêt ou devoir de construire en bois?», *J. de la construction de la Suisse romande*, 68 (1994) 12, pp. 33-40

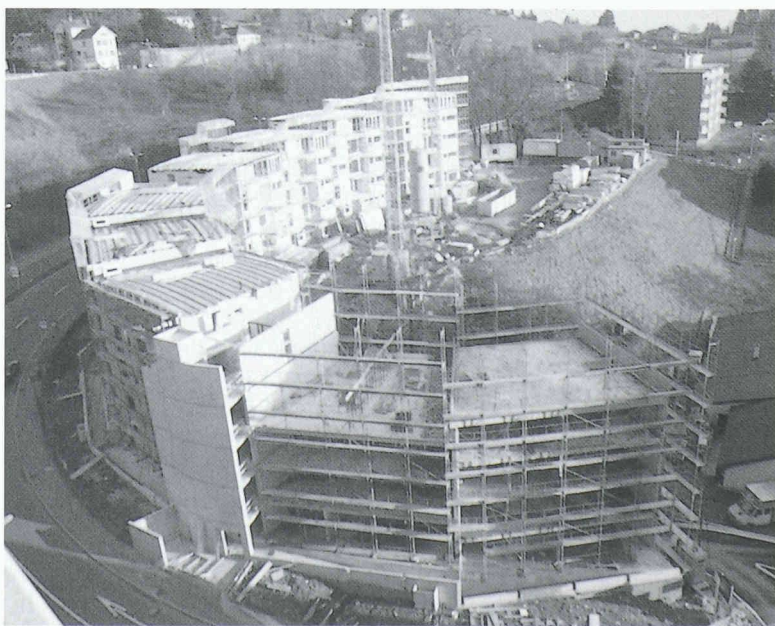


Fig. 7. – Ensemble locatif de Gilamont près de Vevey, construit sur cinq étages séparés par des dalles mixtes bois béton. Epaisseur totale de la dalle: 38 cm, portée maximale: 14 m. (Architectes: G. Bellmann, Clarens et M. Pedrolini, Montreux; ingénieurs: J. Natterer et Bois Consult Natterer, Etoy)