

DÉVELOPPEMENT DURABLE ET UTILISATION DU BOIS DANS LES PONTS

Vincent BARBIER

Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Nancy

1. INTRODUCTION

Le bois est souvent présenté comme un matériau respectueux de l'environnement. Pourtant il n'est pas utilisé intensivement dans le milieu du génie civil. Cet article propose de traiter du thème du développement durable associé à l'utilisation du bois dans les ponts.

La problématique du développement durable est complexe, notamment pour ses applications dans la construction. L'interface avec l'environnement au sens large revêt différents aspects et en particulier les six thématiques suivantes :

- la renouvelabilité du matériau,
- la recyclabilité,
- l'impact écologique en terme d'émission de dioxyde de carbone,
- la performance mécanique du matériau,
- l'impact sur la santé humaine et sur l'environnement de l'utilisation de substances chimiques,
- la durabilité de la construction

L'objet est ainsi d'analyser le matériau bois et son utilisation dans le domaine des ponts à la lumière de ces thématiques après avoir brossé un historique rapide des ponts en bois en France et à l'étranger.

2. L'UTILISATION DU BOIS DANS LES PONTS : ASPECTS HISTORIQUES

En Europe, le bois a été utilisé depuis l'antiquité pour le franchissement de rivière. Les grumes posées à plat et recouvertes d'un platelage formaient les premiers ponts en bois, mais les portées étaient limitées à une dizaine de mètre. Pour augmenter les longueurs de franchissement, les militaires ont rapidement utilisé des barges flottantes en guise d'appuis intermédiaires.

Les romains ont développé de nouvelles structures plus complexes avec des assemblages, notamment les ponts à béquilles, à poutres et en arc. Parmi ce dernier type, on peut citer le pont de Trajan sur le Danube datant de 103 et franchissant 1100m par portées successives de 35m.

A partir du Moyen Age, les constructeurs prennent conscience que la pourriture est l'ennemi majeur du bois, et que celle-ci peut être évitée en conservant le matériau sec. Ainsi des ponts couverts apparaissent et des blocs de pierre s'intercalent entre le sol humide et le bois. Un exemple frappant de longévité datant de cette période est le pont de la Chapelle de Lucerne datant de 1333. Au cours des siècles, certaines parties ont été reconstruites, et en 1993 une grande partie de l'ouvrage a été détruite par le feu. Il a été reconstruit à l'identique en 1994.

Le développement des ouvrages en acier et en béton, l'augmentation des charges routières liées à l'apparition de l'automobile ont condamné en grande partie les ouvrages en bois dès la fin du XIX^{ème} siècle.

Dans les années 1970, certaines passerelles ont été construites en bois, notamment en bois lamellé collé. La perte de connaissance sur le matériau due à sa désuétude depuis plus d'un siècle a conduit à l'oubli des règles essentielles de conception assurant la durabilité de ces ouvrages. De nombreuses pathologies, dont quelques une seront détaillées dans la suite de cet article, ont donc été détectées sur ce type d'ouvrages.

3. QUELQUES PROPRIÉTÉS INTRINSÈQUES DU MATÉRIAU BOIS

Le matériau bois présente certaines caractéristiques, qui bien utilisées, peuvent devenir autant d'atouts pour le concepteur d'un ouvrage.

3.1. Un matériau renouvelable

Le bois constitue l'ossature des arbres, êtres vivants, qui peuvent se reproduire. Ainsi le bois est un matériau renouvelable, c'est à dire que la nature est capable de produire ce matériau perpétuellement, contrairement aux métaux ou roches.

Toutefois, afin de transformer cette propriété en atout, il convient de veiller à la bonne exploitation des forêts, pour éviter notamment la déforestation. A la suite du sommet de Rio en 1992 et de la conférence d'Helsinki en 1993, des procédures d'éco-certification des bois ont vu le jour : il s'agit de garantir que le bois provient d'une forêt gérée durablement, c'est-à-dire dans le respect de son environnement et en assurant la reproduction des espèces. En Europe, le PEFC (Pan Européen Forest Council) et dans les pays tropicaux le FSC (forest Stewardship Council) sont les organismes de certification.

Avec une bonne pratique sylvicole, le bois est réellement un matériau renouvelable et la capacité de production de ce matériau reste intacte.

3.2. Un matériau recyclable

Le bois est un matériau facilement recyclable. En effet différentes voies existent pour un bois de structure (cas qui nous intéresse spécialement) en fin de vie : il peut être déchiqueté pour être utilisé dans l'élaboration de panneaux à base de bois, il peut être utilisé comme combustible (en bûche ou déchiqueté), il peut également être utilisé dans l'industrie de la pâte à papier.

Un bémol doit être cependant ajouté : le bois traité à l'aide de produits chimiques de préservation devient très difficilement recyclable, notamment pour les bois traités en profondeur. Ces derniers peuvent même être classés comme déchets dangereux en fonction de la nature des produits de traitement. La conséquence directe d'un classement en déchet dangereux est l'obligation de l'incinération dans un centre spécifique (utilisation alors en bois énergie) ou le transport dans un centre d'enfouissement technique de classe 1. Dans ce dernier cas, le caractère recyclable du bois disparaît.

3.3. Un bilan intéressant d'émission de dioxyde de carbone

La problématique de la réduction des émissions de dioxyde de carbone est au coeur du protocole de Kyoto de 1997. L'union européenne s'est engagée à réduire à l'horizon 2008-2010 de 8% ses émissions de dioxyde de carbone par rapport au niveau d'émission de 1990.

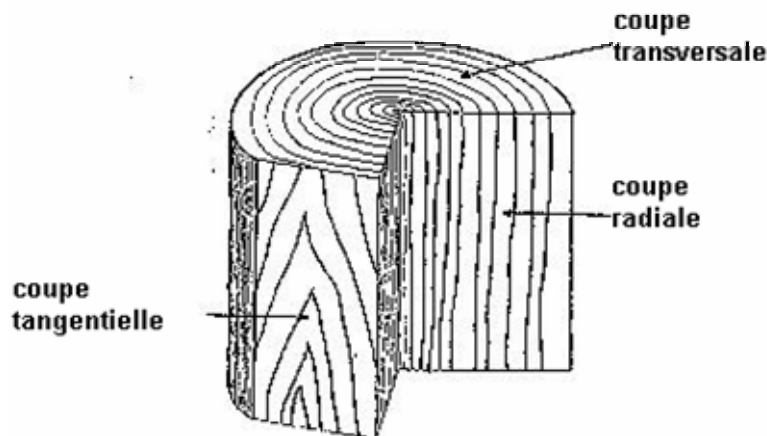
Parmi les différentes mesures d'accompagnement prévues en France, un accord cadre « bois construction environnement » a été signé en 2001 par plusieurs ministères avec les représentants de la filière bois notamment en vue d'augmenter la part du bois dans la construction de 25%.

Lors de la croissance de l'arbre, une partie du dioxyde de carbone présent dans l'air est transformé via la photosynthèse en glucose, qui permet la création de chaînes carbonées et notamment la cellulose. Le bois, composé à 50% environ de carbone, contient donc un stock de dioxyde de carbone et demande une faible consommation d'énergie pour sa mise en oeuvre. A ce sujet, une étude sur les émissions de dioxyde de carbone a été menée sur le pont de Crest et a montré l'effet bénéfique de la charpente en bois sur le bilan global.

Ne pas utiliser le bois conduirait à laisser tôt ou tard ce stock s'échapper et induirait l'utilisation d'autres matériaux producteur de dioxyde de carbone. En fin de vie, en particulier dans le cas où le bois est brûlé pour assurer un chauffage par exemple, le dioxyde de carbone s'échappe dans l'air certes, mais son utilisation aura permis d'éviter l'émission de dioxyde de carbone supplémentaire lié à l'utilisation d'un autre matériau et d'un autre combustible. En outre son utilisation permettra aussi d'éviter une trop faible exploitation sylvicole. Aujourd'hui, la forêt française augmente en volume (environ 85 millions de mètre cube par an) plus qu'elle n'est exploitée (environ 50 millions de mètre cube par an) .

Le bois possède donc un fort avantage en terme d'émission de dioxyde de carbone sous réserve de forêts gérées elles-mêmes de façon durable.

3.4. Des performances mécaniques adaptées



Coupe schématique d'un billot de bois.

Les performances mécaniques sont très fortement liées au sens de sollicitation.

Contrairement à l'acier ou au béton, le bois n'a pas les mêmes propriétés mécaniques dans tous ses plans. Le comportement est dit orthotrope.

Pour le bois, le repère le plus adapté est le repère cylindrique, qui se rapproche quasiment parfaitement de la grume. On définit le sens axial, sens de la hauteur de l'arbre, le sens radial et le sens tangentiel.

Les performances mécaniques sont très bonnes dans le sens longitudinal, mais relativement faible dans le sens transversal. A titre d'exemple, la limite de rupture moyenne du chêne dans le sens longitudinal en flexion est de l'ordre de 100 à 150MPa tandis qu'elle est limitée à 3 à 4MPa dans le sens transversal ! L'utilisation du bois dans les ponts peut être envisagée grâce aux bonnes performances mécaniques. La conception devra néanmoins prendre garde d'éviter au maximum les efforts transversaux, notamment en traction.

3.5. Une légèreté appréciable

Le bois est un matériau léger. La densité moyenne d'un bois résineux classiquement utilisé en construction est de l'ordre de 0,5. Cette légèreté associée à des performances mécaniques élevées permet de concevoir des ouvrages de faible poids, ce qui laisse entrevoir des utilisations particulièrement adaptées dans des sites contraints ou quand la gêne occasionnée aux voies franchies doit être réduite le plus possible.

La passerelle de Vaires-sur-Marne, montée récemment la nuit d'une seule pièce au dessus de voies SNCF, en est le plus brillant exemple.

3.6. Les produits chimiques utilisés dans la préservation du bois

Le bois utilisé en extérieur est souvent traité à l'aide de produits chimique dits de préservation pour améliorer leur durabilité. Ces produits sont nécessairement toxiques pour éradiquer les agresseurs biologiques potentiels du bois. Ils sont également souvent toxiques pour l'homme et pour l'environnement.

Leur utilisation doit donc être modérée ou des bilans toxicologiques et écotoxicologiques doivent être menés pour s'assurer de leur innocuité. La directive européenne 98/8/CE dite biocide impose que chaque produit biocide, notamment les produits de préservation du bois soient évalués d'ici fin 2009, afin de n'autoriser la mise sur le marché que des produits les plus inoffensifs. Une première conséquence de cette directive est que le CCA (Chrome Cuivre Arsenic), produit jusqu'alors très répandu, est désormais interdit.

L'utilisation des traitements chimiques conduit à des problèmes vis-à-vis de l'environnement et de la fin de vie des bois mais peut améliorer la durée de vie. De préférence, ces traitements doivent être réservés à des cas très ponctuels si le concepteur désire s'inscrire dans une logique de développement durable.

4. LA DURABILITÉ, CRITÈRE ESSENTIEL DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Dans le terme développement durable, la pérennité de la construction prend un relief particulier. En effet, l'utilisation du bois dans les ponts ne saurait être une alternative positive vis-à-vis du développement durable qu'en cas de durabilité suffisante des ouvrages ainsi créés. A ce titre, le SETRA a publié fin 2006 un guide intitulé « les ponts en bois – comment assurer leur durabilité ». Ce guide détaille les éléments fondamentaux pour éviter des dégradations prématurées.

4.1. Les pathologies trop classiques sur les ouvrages en bois

Les pathologies les plus courantes sont souvent dues à l'action de champignons qui entraînent une pourriture du bois. Ces pathologies d'origine biologique sont directement en rapport avec une bonne conception. L'origine première est une humidification du bois trop élevée, en raison de dispositions constructives peu adaptées au matériau bois.

Les bois structuraux exposés directement aux intempéries sont très sensibles au risque fongique. Les bois horizontaux ne permettent en général pas à l'eau de s'évacuer facilement.

En outre, les autres bois sous l'action du retrait ont tendance à fendiller (voire à fendre dans le cas des bois massifs en rondins) ce qui crée involontairement des pièges à eau.

Sur la photo 1 ci-dessous, le bois rond à fendu (aucune fente de décharge en sous face n'a été effectuée) ce qui a malheureusement permis un développement fongique, avec présence de champignons apparents, qui témoignent d'un état avancé de dégradation.



Photo 1 - Dégradation fongique sur bois traité



Photo 2 - Dégradation fongique sur bois lamellé collé

Sur la photo 2 ci-dessus est représenté une pathologie extrême d'un phénomène courant sur les passerelles avec des poutres en BLC non protégées. Les fentes du bois issues du retrait ont créé des pièges à eau favorisant le développement fongique et la pourriture.

4.2. Les règles d'or pour une bonne durabilité

Le paragraphe précédent sur les pathologies conduit naturellement à s'interroger sur les bonnes dispositions constructives. Pour obtenir une durabilité suffisante des ouvrages, le principe de base est de conserver le bois sec, c'est à dire en dessous de 20% d'humidité. En effet, dans ces conditions le risque de pourriture est annulé.

Les corollaires sont alors d'éviter au maximum les venues d'eau, d'évacuer l'eau et de ventiler correctement le bois.

4.3. Les ponts couverts

La solution la plus simple et la plus efficace pour protéger le bois est de couvrir le pont. Le bois de structure est ainsi à l'abri des intempéries. De nombreux ouvrages anciens témoignent de la qualité de cette disposition constructive, comme le pont de Susch en Suisse (photo 3).



Photo 3 : Pont de Susch en Suisse



Photo 4 : Pont à Strada en Suisse en arc bardé avec du mélèze, de 39 m de portée et 48 m de longueur

4.4. Le bardage de la structure

Une autre solution consiste à protéger le bois de structure par un bardage. L'ouvrage ci-dessus (photo 4) est basé sur deux arcs en lamellé collé d'épicéa. L'essence n'étant pas suffisamment durable naturellement et au lieu d'administrer un traitement chimique de préservation, les concepteurs ont choisi de couvrir l'arc par une couverture en cuivre et un bardage en mélèze.

Enfin, les solutions de protection du bois par une dalle en béton sont également possibles, comme pour le pont de Crest (photo 5), pont en bois le plus long de France avec 90 m.



Photo 5 : Pont de Crest : structure protégée par une dalle béton

5. AUTRES EXEMPLES DE PONTS RECENTS

Les trois exemples suivants témoignent des différentes formes de structures qu'il est possible de réaliser en utilisant du bois. La conception de ces ouvrages a privilégié la durabilité naturelle du bois en le protégeant au maximum des intempéries.

Pont sur la Dore à Saint Gervais sous Meymont (63)

Le pont sur la Dore (photo 6) à Saint-Gervais-sous-Meymont construit en 1994 est le premier pont en bois sans limitation de charge, de classe routière II en France. Il a bénéficié du label IVOR (innovations validées sur ouvrages de référence) en 1996.

La structure principale est composée d'un treillis formé par des poutres en lamellé collé en pin sylvestre. Le platelage en chêne est suspendu aux nœuds de la charpente principale.



Photo 6 : Pont sur la Dore : la structure est entièrement protégée par la toiture

La hauteur du gabarit est de 4.70m et la largeur 6.00m. La portée de l'ouvrage est de 33.25m avec un élanement général de l'ouvrage faible (environ 1/7ème) mais la structure est très lumineuse.

Chacune des poutres principales est formée de deux éléments en lamellé collé de 185x528mm. Les diagonales sont formées par deux poutres BLC 185x363mm. Les poteaux sont des poutres BLC 200x363mm. Les assemblages sont boulonnés, avec des tiges filetées insérées et collées dans les poutres en bois.

La couverture générale de l'ouvrage le protège des intempéries et confère ainsi à l'ouvrage un fort potentiel de durabilité.

Passerelle Pinot à Blagnac (31)

La passerelle Pinot à Blagnac d'une portée de 36m a été réalisée en 1998 sous maîtrise d'œuvre DDE.

Cet ouvrage multi-matériaux (photo 7) est composé d'une structure principale en arc auto-ancré en bois, d'une dalle en béton armé, de poutre-tirant, de pièces de pont, ainsi que de suspentes en acier, et d'une couverture en polyméthacrylate de méthyle, qui sert à protéger le bois des venues d'eau.



Photo 7 : Passerelle Pinot : les arcs sont en bois, les tirants et les suspentes en acier et la dalle en béton

Les arcs ont une section constante de 324mm x 627mm, soit un "élancement" de 1/57ème. La dalle non collaborante est réalisée en panneaux préfabriqués en béton armé de 14cm d'épaisseur.

Dans cet exemple, les poutres en arc sont protégées des intempéries par le toit en polyméthacrylate de méthyle (PMMA) qui assure la durabilité des bois porteurs.

L'essence retenue est le pin sylvestre. Le bois lamellé collé utilisé pour la fabrication des arcs à une contrainte caractéristique en flexion retenue au niveau des calculs de 24MPa.

Pont à Innenferrera (Suisse)

Le pont en arc à Innenferrera en Suisse (photo 8) construit en 1998 est un pont mixte bois béton. L'ouvrage de 60m de longueur est constitué de 4 arcs principaux en lamellé collé d'une portée de 45m. La dalle collaborante est formée par des prédalles de 6cm d'épaisseur et de béton coulé en place de 16cm d'épaisseur. Les essences utilisées sont du mélèze pour les arcs et de l'épicéa pour le reste.

Les arcs en bois sont ici protégés des intempéries par la dalle en béton armé, plus large et bien étanchéifiée.



Photo 8 : Pont d'Innenferrera en Suisse : la dalle en béton protège la structure en bois

6. CONCLUSION

Le bois est un matériau aux ouvrages d'Art. La durabilité peut être tout à fait correcte à condition de prendre les mesures nécessaires pour préserver le bois des attaques fongiques. De nombreux exemples de ponts routiers, notamment à l'étranger viennent en témoigner.

Le matériau bois est présent naturellement sur terre, possède des performances mécaniques relativement bonnes. Il est renouvelable, permet de stocker du dioxyde de carbone et nécessite une faible énergie pour sa mise en œuvre.

Aussi, en prenant garde de choisir des bois issus de forêts gérées durablement, de respecter une conception de protection et en limitant l'usage de produits chimiques, l'utilisation du bois dans les ponts est une alternative intéressante au regard du développement durable. Il ne reste qu'à développer durablement notre vision de ce matériau: le bois n'est pas qu'un matériau «esthétique» ou «chaleureux», c'est avant tout un matériau utile !

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. SETRA «Les ponts en bois – comment assurer leur durabilité», Novembre 2006, 124p.
2. Ulrich A.Meierhofer. «Timber bridges in Central Europe, yesterday, today, tomorrow». Paper presented at the National conference on wood transportation structures, Madison, USA, October 1996, 5p.
3. Graeme P Walter. «Timber Bridges in Australia». Paper presented at the National conference on wood transportation structures, Madison, USA, October 1996, 4p.
4. STEP 1«Structures en bois aux états limites : introduction à l'Eurocode 5», Eyrolles, 1996, § III-1.
5. Calvi D. «Les ponts en bois», JCBE 1998 p117-159, Epinal.
6. Dirol D & Deglise X. «Durabilité des bois», Hermès sciences Europe Ltd, Paris, 2001,415p.
7. Rayzal M. «Guide de la préservation du bois», CTBA, Paris, 1998, 165p.
8. Kropf FW. «Durability and detail design- the result of 15 years of systematic improvements». Paper presented at the National conference on wood transportation structures, Madison, USA, October 1996, 7p.
9. CTBA : «L'essentiel sur le bois», 1998, 184p. (forêt française et mondiale, props mécas, finitions, ...)
10. Informationsdienst Holtz Brücken- Planung, Konstruktion, Berechnung, holzbau handbuch Reihe 1 Teil 9 Folge 1, 2000, 44p.
11. Informationsdienst Holtz Details für Holzbrücken, holzbau handbuch Reihe 1 Teil 9 Folge 2, 2001,32p.
12. Informationsdienst Holtz, Holz Rohstof der Zukunft, nachhaltig verfügbar und umweltgerecht, 2001,32p.
13. Sondaz B, Approche environnementale du pont de Crest sous l'angle du dégagement de CO2, TFE ENTPE, 2001
14. D Juilliot, Rapport de l'assemblée nationale, La filière bois française: la compétitivité enjeu du développement durable, 2003, 104p