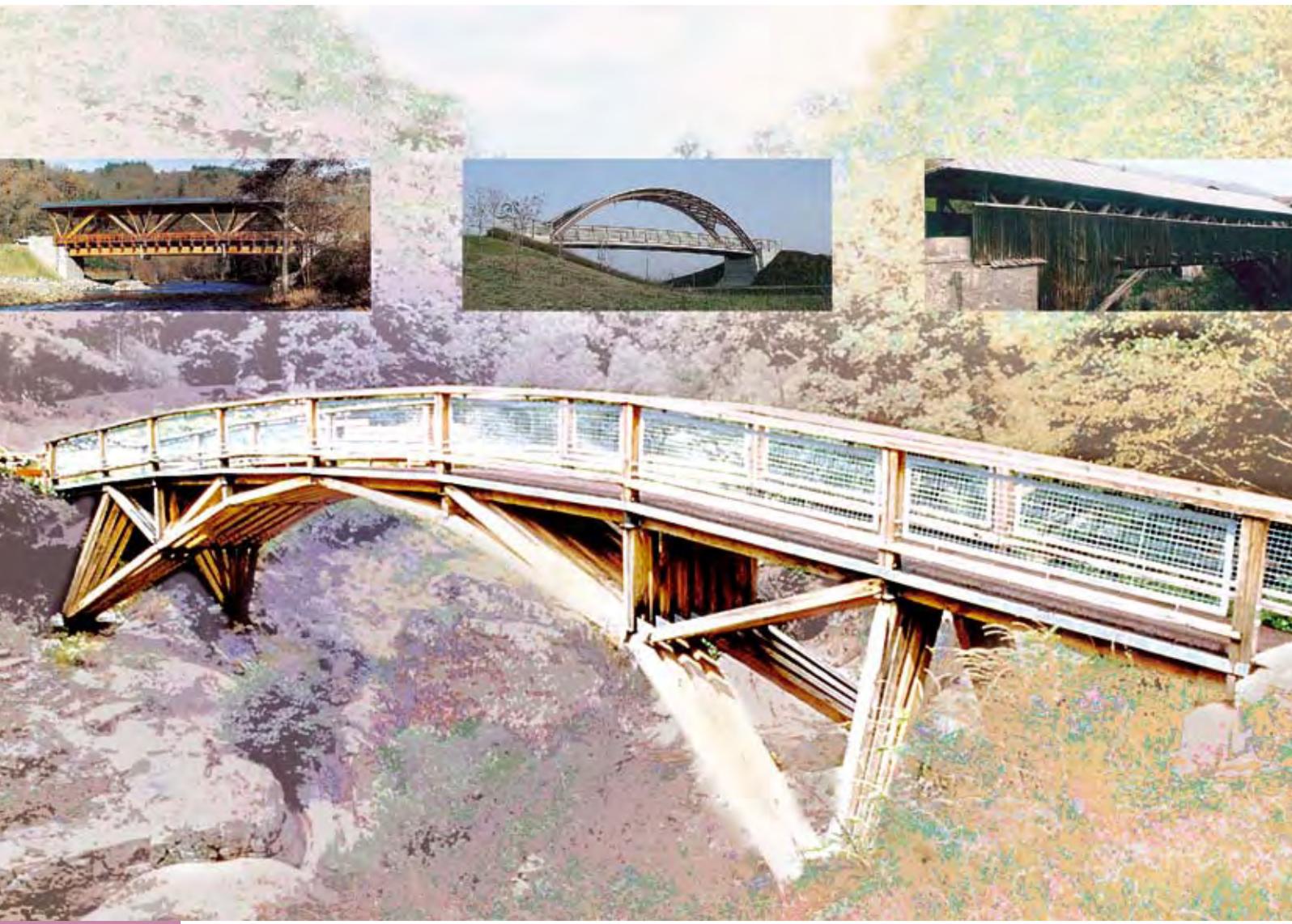


Guide technique

Les ponts en bois

Comment assurer leur durabilité



Guide technique

Les ponts en bois

Comment assurer leur durabilité



collection les outils

Document édité par le Sétra dans la collection "les outils".
Cette collection regroupe les guides, logiciels, supports
pédagogiques, catalogues, données documentaires et annuaires.

Avec les préoccupations environnementales du public, les maîtres d'ouvrages redécouvrent le bois et son aspect initial chaleureux. De plus, les ponts en bois sont légers et faciles à monter, ce qui est très appréciable pour réduire la gêne causée par des travaux.

Mais certains ponts, pourtant construits en bois traité au cours des dernières décennies, présentent déjà de graves dégradations. Quand ils doivent être démolis, les maîtres d'ouvrages sont responsables des déchets toxiques produits par les bois traités.

Il était nécessaire de réaffirmer que la pérennité des structures en bois repose sur la qualité de l'entretien et avant tout sur le choix initial de bonnes dispositions constructives, qui protègent un matériau sensible, d'origine organique.

Il ne faut pas pour autant opposer la construction en bois bien conçue, à la construction en bois traité.

Il convient en effet généralement de conjuguer ces deux approches. Une charpente en bois, bien à l'abri et bien conçue constitue un développement durable. Elle peut plus légitimement alors être traitée par les antifongiques et les insecticides, qui auraient été moins efficaces sur une mauvaise conception.

Par ailleurs, on trouve pour les platelages et les garde-corps en contact avec le public, des bois exotiques issus de forêts gérées sans compromettre l'avenir, qui demeurent durables sans nécessiter de traitement et ne posent pas de problème sanitaire : il n'y a donc aucune raison d'exclure a priori ces bois.

Pour signaler ces écueils, et promouvoir un matériau trop longtemps oublié, le Sétra a jugé utile de publier un guide consacré aux ponts, pour les maîtres d'ouvrages qui s'engagent sur le matériau bois.

Jacques Berthelley

Directeur technique à la
Division des Grands Ouvrages (Sétra/CTOA)

Ce document a été rédigé par :

- Vincent Barbier (CETE de l'Est)
- Jacques Berthelley (Sétra)
- Dominique Calvi, représentant l'association IBC (Ingénieurs bois construction)
- Jean-Louis Chazelas (LCPC)
- Pierre Corfdir (CETE de l'Est)
- Stella Jelden (CETE de l'Est)
- Jérôme Laplane (architecte représentant le CNDB)
- Robert Leroy (LCPC)

réunis dans un groupe de travail animé par Jacques Berthelley, à partir d'un premier projet établi par Vincent Barbier, avec le concours de l'ENSTIB (École Nationale Supérieure des Techniques et Industries du Bois) à Épinal.

Nous remercions également, pour leurs remarques et observations :

- Hélène Abel-Michel, Nathalie Odent et Michel Fragnet (Sétra)
- Daniel Poineau, retraité
- Sandrine Rocard, Émilie Derivière et Frédéric Leray (Ministère de l'Écologie et du Développement durable)
- Bernard Rey (architecte - SNCF)
- Serge Lenevé (CTBA)
- Thierry Kretz (LCPC)
- Tarek Far (CETE Méditerranée)
- Pierre Trouillet (MCSCA)

Sommaire

1. Présentation générale

1.1 - Le bois : un matériau aujourd'hui mal connu	8
1.2 - Historique des ponts en bois	9
1.2.1 - Les premiers ponts	9
1.2.2 - Évolution de la construction et de l'entretien des ponts	10
1.2.3 - La durabilité, un critère de conception oublié	11
1.2.4 - Une exception : les ponts de Suisse	14
1.2.5 - Les ponts d'Amérique du Nord	14
1.2.6 - Le retour du bois	15

2. Le matériau bois

2.1 - Généralités	18
2.1.1 - Gisement et disponibilité	18
2.1.2 - Débits et produits reconstitués	19
2.2 - Anatomie du bois	22
2.2.1 - Le bois non traité : un matériau naturel et vivant	22
2.2.2 - Du macroscopique au microscopique	23
2.2.3 - Observation du billot	24
2.2.4 - Le plan ligneux	25
2.2.5 - La structure cellulaire et composition chimique	28
2.3 - Propriétés physiques	28
2.3.1 - Le bois et l'eau	28
2.3.2 - Comportement vis-à-vis du feu	32
2.4 - Propriétés mécaniques du bois	33
2.4.1 - Les propriétés mécaniques	33
2.4.2 - Amortissement dynamique	35
2.4.3 - Classement des bois massifs	36
2.4.4 - Fluage	38
2.5 - Durabilité	38
2.5.1 - Les agresseurs	38
2.5.2 - Préservation	41
2.5.3 - Les traitements de préservation	44
2.5.4 - Les finitions	46

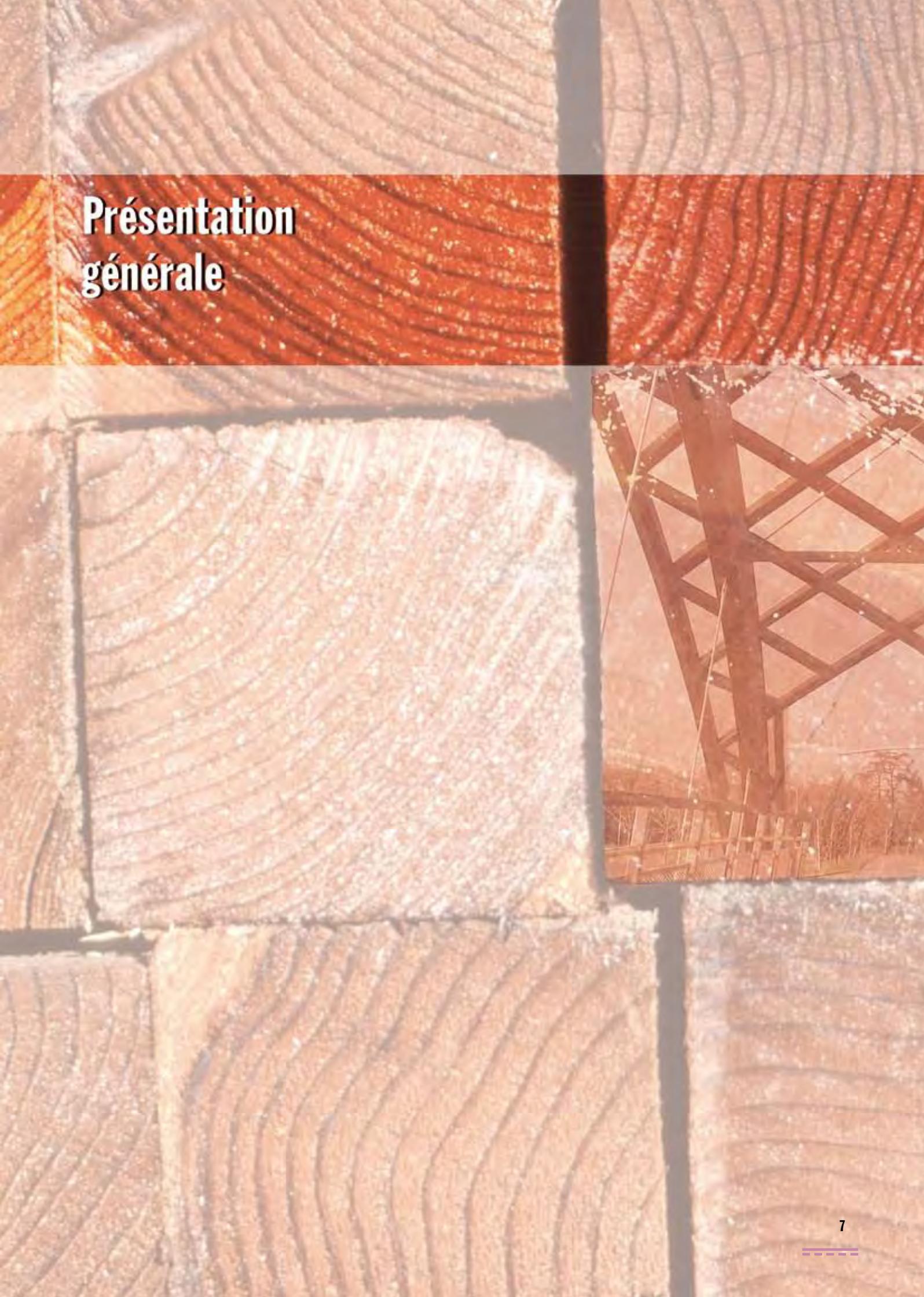
3. Utilisation des produits de préservation chimiques : réglementation et gestion en fin de vie

3.1 - Respect des contraintes liées à la santé et à l'environnement	50
3.2 - Les traitements de préservation pour la classe d'emploi 2	50
3.3 - Les traitements de préservation pour les classes d'emploi 3, 4 et 5	50
3.4 - Réglementation applicable aux bois traités, concernant la mise en œuvre de produits toxiques	51
3.4.1 - Contexte réglementaire général	51
3.4.2 - Situation réglementaire des traitements chimiques classiques	51
3.4.3 - Des traitements alternatifs	52

3.5 - Réglementation concernant les déchets de bois traité	53
3.5.1 - Démolition des ouvrages anciens	53
3.5.2 - Les déchets de bois traité : classification et nomenclature	53
3.5.3 - Filières de traitement des déchets	54
3.5.4 - Obligation du maître d'ouvrage, producteur de déchets	55
3.6 - Conclusion	56
4. Conception des ouvrages d'art en bois	
4.1 - Les types de structures adaptées au bois	58
4.1.1 - Principes d'utilisation du bois dans les ponts	58
4.1.2 - Les différentes structures	60
4.1.3 - Exemples de ponts piétons	67
4.2 - Pathologies et causes des dégradations	70
4.2.1 - Déficience du drainage et de la ventilation	70
4.2.2 - Agression solaire et gradient d'humidité	71
4.2.3 - Autres causes	71
4.2.4 - L'entretien	72
4.3 - Dispositions constructives	72
4.3.1 - Règles générales	72
4.3.2 - Les ponts couverts	72
4.3.3 - Bardage	73
4.3.4 - Les assemblages	77
4.3.5 - Les platelages	80
4.4 - Choix des essences	82
4.4.1 - Bois en classe d'emploi 2	82
4.4.2 - Bois en classe d'emploi 3	82
4.4.3 - Cas particulier du bardage	82
4.4.4 - Bois en classe d'emploi 4 et 5	83
4.4.5 - Tableau récapitulatif pour choisir l'essence	84
5. Aide pour la rédaction de la commande	
5.1 - Définition de la commande	86
5.1.1 - Le programme de l'ouvrage	86
5.1.2 - Qualification de l'entreprise	86
5.1.3 - Maîtrise d'œuvre	86
5.1.4 - Contrôle extérieur	86
5.2 - Préparation et organisation du chantier	87
5.2.1 - Documents à fournir par l'entrepreneur	87
5.2.2 - Plan d'assurance qualité (PAQ)	87
5.2.3 - Procédures d'exécution	88
5.2.4 - Dispositions constructives	88
5.2.5 - Textes réglementaires et règlements de calculs	89
5.2.6 - Actions, sollicitations, justifications	89
5.3 - Provenance, qualité et préparation des matériaux	89
5.3.1 - Matériau bois	89
5.3.2 - Traitements	90

5.4 - Exécution des travaux	91
5.4.1 - Exécution et montage des charpentes en bois	91
5.4.2 - Épreuves de l'ouvrage	91
5.4.3 - Le contrôle interne	91
5.4.4 - Le contrôle extérieur	92
5.5 - Le bordereau des prix unitaires et forfaitaires	92
5.5.1 - Prix charpente	92
5.5.2 - Prix bardage	92
5.5.3 - Prix de platelage piéton	92
5.5.4 - Prix montage sur chantier	92
5.5.5 - Prix d'aciers pour assemblages	93
5.5.6 - Prix lasurage	93
5.5.7 - Prix d'épreuves	93
5.6 - Suivi de l'ouvrage	93
5.7 - Récapitulatif : qui fait quoi ?	94
6. Annexes	
6.1 - Lexique	97
6.2 - Procédure de classement des substances autorisées	100
6.3 - Réglementation européenne et française : santé, environnement et directive biocides	101
6.4 - Principaux produits utilisés pour la préservation du bois en France et réglementation	104
6.5 - Procédure de classement des déchets	106
Structure de la classification des déchets	106
6.6 - Déchets dangereux	108
Constituants qui rendent les déchets dangereux	108
Propriétés qui rendent les déchets dangereux	109
6.7 - Comment remplir un bordereau de suivi de déchets industriels (BsdI)	111
6.8 - Réglementation relative aux déchets	112
6.9 - Sections en standard	113
6.10 - Références bibliographiques	114
Principales normes	114
6.11 - Guides et autres documents techniques	121
6.12 - Adresses utiles hors du Sétra	123



The background of the page is a collage of wood-related images. It features several close-up photographs of wood grain, showing various patterns and colors from light tan to deep reddish-brown. In the upper right quadrant, there is a photograph of a wooden truss or roof structure, showing the complex arrangement of beams and supports. The overall aesthetic is warm and natural, emphasizing the texture and grain of wood.

Présentation générale

1.1 - Le bois : un matériau aujourd'hui mal connu

Le bois est un matériau que l'on redécouvre de nos jours, en raison des progrès techniques des métiers du bois, de son aspect initial chaleureux, et des préoccupations environnementales du public. Le bois participe au renouvellement de la qualité architecturale des ouvrages, tant en milieu urbain que rural.

Par ailleurs les ouvrages en bois sont légers et faciles à monter, ce qui est très appréciable quand la gêne occasionnée aux voies franchies doit être réduite le plus possible. La passerelle de Vaires-sur-Marne, montée de nuit et d'une seule pièce, en quelques heures, en est le plus brillant exemple. Les ouvrages d'art en bois, en particulier les ponts piétons, possèdent ainsi un fort potentiel de développement.

Cependant la couleur initiale d'une construction neuve en bois vire en fait au gris après quelques années d'exposition aux intempéries et seule l'application régulière de lasures permet d'y échapper.

Par ailleurs, certains bois issus des forêts des climats tempérés qu'on a utilisés pour la construction d'ouvrages en plein air, ont été traités au moyen d'insecticides et de fongicides qui peuvent être toxiques pour la santé. Les bois traités nécessitent des précautions d'emploi vis-à-vis de la santé des ouvriers ayant à usiner, percer ou découper un matériau contaminé. De plus, vis-à-vis de l'environnement, les traitements limitent les possibilités de recyclage du bois quand vient la fin de la vie des structures.

La directive européenne 2003/2/CE du 6 janvier 2003 interdit l'emploi de certains de ces produits toxiques, notamment ceux à base de sels d'arsenic.

Les bois exotiques ne présentent généralement pas ces inconvénients mais risquent en revanche de provenir de pays où l'exploitation des forêts ne remplit pas

les exigences actuelles de gestion durable, mises en œuvre dans la forêt française depuis les accords de Rio en juin 1992.

Il est vrai que la construction en bois permet de « piéger » du dioxyde de carbone le temps de la durée de vie des ouvrages. Le dioxyde de carbone est le principal agent de l'effet de serre après la vapeur d'eau, et une construction durable en bois fixe donc du carbone. À ce sujet, la mise en application en France des accords de Kyoto de 1997 se traduit par une charte visant à augmenter la part du bois dans la construction.

Le Plan Climat 2004 prévoit par exemple des actions sur ce thème avec le recensement et l'affichage de la part de bois utilisée dans la construction, l'évaluation par l'Équipement des engagements des signataires de l'accord cadre « Bois – construction - environnement » du 28 mars 2001, et l'exemplarité de l'État qui s'engage à utiliser du bois dans les constructions de maîtrise d'ouvrage publique.

Cependant, aucun dispositif n'est prévu afin de rétribuer un maître d'ouvrage qui construit en bois pour cette séquestration de carbone, soit sur un marché des permis d'émission, soit par un autre système. À l'échelle européenne, à partir de 2005, un système de quotas est mis en place en deux phases : il ne concerne que les producteurs d'énergie et les industriels émettant des quantités importantes de dioxyde de carbone.

C'est seulement à l'échelle internationale que chaque État comptabilisera ses puits de carbone et pourra en tirer bénéfice puisque cela donnera lieu à des crédits échangeables cette fois entre États, sur un marché international. Mais les constructions en bois ne concernent pas des quantités suffisantes de carbone et le protocole de Kyôto s'applique uniquement aux terres agricoles, pâturages et forêts sous le vocable de « puits » de carbone.

Certains ouvrages réalisés au cours des vingt dernières années présentent des problèmes de dégradation prématurée. La durée de vie des ouvrages récents est



Photo 1 : montage de la passerelle de Vaires-sur-Marne – Source : Bernard Rey (SNCF Ingénierie).

trop souvent inférieure à vingt ans, alors que certains ouvrages anciens se comportent bien : le pont de Lucerne, en Suisse, avec plus de six siècles de service avant son incendie accidentel en 1993, en est un exemple notoire.

Cette dispersion importante de la durée de vie des ouvrages en bois s'explique par une perte de compétence sur l'utilisation de ce matériau. Depuis le 14^e siècle, l'utilisation du bois a décliné en France au profit de la pierre, matériau plus cher à l'investissement mais moins exigeant en termes d'entretien que le bois, jugé trop contraignant par les maîtres d'ouvrage. Au 20^e siècle, avec le développement du béton et du métal, ce phénomène s'est encore accentué. En France, les notions importantes sur le comportement du bois et les règles de construction ont même été peu à peu oubliées. Or, la pérennité des ouvrages repose essentiellement sur le choix de bonnes dispositions constructives et sur la qualité de l'entretien.

Ce guide est destiné aux maîtres d'ouvrage et aux maîtres d'œuvre qui souhaitent faire construire un ouvrage en bois. Son objectif est d'indiquer les moyens d'obtenir une bonne durabilité.

Compte tenu du manque de références disponibles en France sur le sujet, le guide dresse dans un premier temps un historique des ponts en bois : ce chapitre révèle à quel point le soin apporté à la conception constitue la meilleure méthode de préservation du bois et détermine sa durabilité. Puis, le guide rappelle les notions essentielles sur l'anatomie et les propriétés mécaniques et physiques de ce matériau. Il présente également les agresseurs et les méthodes de préservation du bois, en soulignant les inconvénients de certaines méthodes chimiques de préservation.

Le guide expose ensuite les principales dispositions constructives à adopter pour assurer la conservation du bois dans un état sec et ventilé.

Enfin, la dernière partie aide le maître d'œuvre à formaliser une bonne prescription d'essences, de traitements de préservation et d'exigences sur les dispositions constructives.

Bien évidemment, une bonne durabilité d'un ouvrage en bois implique aussi pour le maître d'ouvrage des actions régulières de surveillance et d'entretien pour assurer la salubrité du bois.

1.2 - Historique des ponts en bois

1.2.1 - Les premiers ponts

Le bois est utilisé dès le néolithique pour le franchissement des rivières. On estime que des grumes posées à plat et recouvertes d'un platelage il y a 17 000 ans déjà constituent les premiers ponts en bois, avec toutefois des portées limitées à une dizaine de mètres. Hérodote décrit des ouvrages multipliant les travées de faible portée pour franchir l'Euphrate ou certains bras du Nil il y a 2 000 à 3 000 ans. C'est sur un pont achevé à Babylone en 783 avant notre ère qu'on trouve le plus de précisions. De façon générale, durant l'Antiquité, le progrès technique de la charpente en bois est à mettre au crédit de la construction navale, notamment chez les Égyptiens, les Phéniciens, les Grecs et les Celtes.

Les militaires des empires continentaux utilisent des barges flottantes en guise d'appuis intermédiaires. On peut citer le pont de Darius sur le Bosphore au 6^{ème} siècle avant notre ère et le pont de son fils Xerxès sur les Dardanelles comportant 674 bateaux pour franchir un obstacle de 1 500 mètres. Les Romains commencent par emprunter des techniques de construction aux Celtes : c'est le cas avec le pont sur le Rhin de César, ouvrage composé d'éléments préfabriqués simples et faciles à mettre en place, puis à déposer après le passage de l'armée. Large de 5 à 6 mètres, il fut construit en 10 jours seulement près de Neuwied, où la largeur du fleuve est de 140 mètres.



Figure 1 : bateaux égyptiens – Source : Gérard Homann (Sétra, à partir du logiciel Opéra)



Figure 2 : pont de bateaux

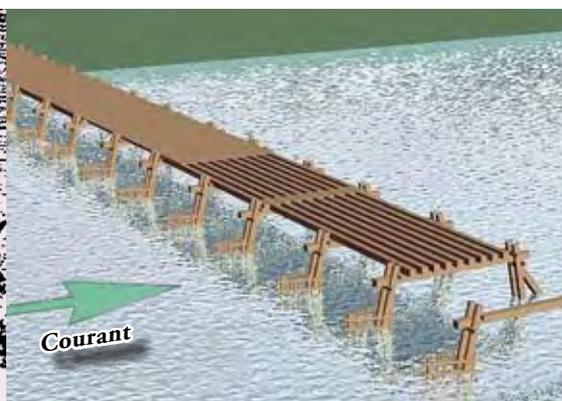


Figure 3 : le pont sur le Rhin de César d'après la reconstitution d'André Palladio – Source : Gérard Homann (Sétra, à partir du logiciel Opéra)

Puis les Romains développent 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 1 100 mètres par portées de 35 mètres.

En Asie, on retrouve des ponts de bateaux et divers types de ponts à poutres, béquilles ou arcs, ainsi que des franchissements réalisés par des ponts suspendus à des lianes. Dans l'île de Java, la technique du pont suspendu remonte à la Haute Antiquité. La technique de la culée en cap-marteau est également développée en Asie pour augmenter les portées.

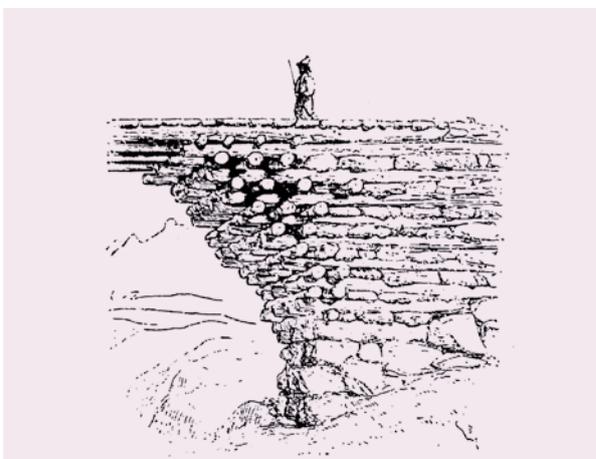


Figure 4 : culée en cap-marteau, d'après un dessin de Viollet-le-Duc

1.2.2 - Évolution de la construction et de l'entretien des ponts

À l'époque médiévale, les constructeurs prennent conscience que la pourriture est l'ennemi majeur du bois et peut être évitée en conservant le matériau au sec.

En Europe, les ponts en bois sont alors très répandus. Charlemagne, par exemple, fait construire vers 800 un très gros ouvrage sur le Rhin à Mayence, malheureusement incendié en 813. Au cours des siècles qui suivent, les ponts de franchissement de la Seine à Paris sont parmi les plus réputés et contribuent à l'importance du rôle historique de cette ville. On retrouve aussi par exemple le même type d'ouvrages à Cologne.

Les ponts à tablier en bois sont construits généralement avec des piles en pierre fondées sur pieux battus en bois. Ils sont généralement surmontés de bâtiments, dans le but de protéger la structure des intempéries. C'est notamment le cas à Paris.

Les ressources des péages prélevés par la Ville lui permettent de rémunérer le travail et d'assurer la subsistance d'une corporation chargée de l'entretien

des ponts. Les techniques utilisées sont assez évoluées, la main d'œuvre et la matière première abondantes : à chaque période d'étiage, on étaye ; des pièces sont changées, d'autres renforcées ; des traitements de préservation à base d'huile bouillante sont aussi probablement mis en œuvre.

Cette gravure ancienne témoigne d'une certaine façon de cette maîtrise, mais elle représente l'effondrement d'un pont bâti parisien, celui du Petit-Châtelet, en janvier 1407 lors d'une crue de la Seine : la Grande Peste de 1349 et la guerre, en causant un terrible dommage à la démographie et à l'économie, avaient probablement conduit à l'abandon progressif des bonnes pratiques en matière d'entretien du patrimoine d'ouvrages d'art.



Figure 5 : effondrement du pont du Petit-Châtelet à Paris en 1407

Un autre pont, le Pont Notre-Dame, construit en bois de 1413 à 1420, s'effondre en 1499 avec ses 60 maisons, par manque d'entretien de la charpente. Le prévôt des marchands et les échevins payèrent cette négligence de leur liberté.

Par précaution et décision régaliennne, les ponts en bois ultérieurs du Royaume ne sont plus bâtis. En Italie, André Palladio publie en 1571 un traité d'architecture où il recommande que les ponts de bois, à défaut d'être bâtis, soient au moins couverts. Malgré les avantages des dispositions inventées par Palladio, il semble qu'on n'en fasse pas grand usage en France, les ponts en bois y étant en fait assez mal vus des bourgeois du fait des obligations d'entretien rigoureuses qu'ils exigent.

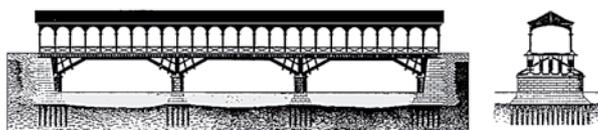


Figure 6 : projet de Pont des Arts à Paris dessiné d'après les idées d'André Palladio - À noter les fûts de pile en maçonnerie, fondés sur pieux de bois

Le pont de la Tournelle, qui relie l'île Saint-Louis à la rive gauche de Paris, peut être pris comme un exemple caractéristique de l'histoire des ponts en bois en France à partir du 14^{ème} siècle : construit en 1369, il s'effondre une première fois, emporté par une crue de la Seine. Reconstitué en 1620, il est emporté par une exceptionnelle débâcle des glaces en 1637. Un pont provisoire construit en 1640 est emporté par la Seine en 1651. Il est alors remplacé par un pont de pierre, achevé en 1655 et longtemps qualifié de définitif. Mais, l'importante largeur de ses 5 piles en rivière accentue la gravité de la crue de la Seine de 1910 et cause son effondrement partiel. Il sera démoli après les hostilités en 1919.



Figure 7 : pont Rouge à Paris

La gravure ci-dessus représente le centre de Paris vu de la rive gauche, vers 1680. Le pont entre l'île de la Cité et l'île Saint-Louis est un pont de bois, ni couvert ni bâti, appelé Pont-Rouge. Le pont de la Tournelle est situé tout à droite du tableau. Il s'agit du pont de pierre construit en 1655.

1.2.3 - La durabilité, un critère de conception oublié

Durant le 18^{ème} siècle, les ponts non « provisionnels » sont construits en maçonnerie. En ce qui concerne les structures en bois, Perronet constate d'expérience, notamment au pont de Saint-Cloud, que la durée de vie d'une poutre de bois abandonnée à découvert en région parisienne est limitée à 25 ans. C'est pourquoi il recommande la couverture complète des charpentes en bois par des feuilles de plomb pour éviter leur pourrissement.

Perronet s'empresse d'ajouter dans son mémoire, après un calcul économique de justification : « Malgré cette

plus longue durée qu'on pourroit donner aux ponts de charpente en bois, il sera toujours préférable de faire les ponts entièrement en maçonnerie, quand les matériaux ne seront pas trop éloignés et trop chers ».

Des ponts éphémères en bois sont toutefois construits en France, faute de moyens financiers. Ainsi, en 1719 à Lyon, les conditions économiques contraignent l'ingénieur Garrin à abandonner le plan initial d'un arc métallique, approuvé avant 1685 par Colbert, et alors en cours de travaux, pour ne pas prendre seul les risques financiers liés à l'innovation : l'ouvrage sur le Rhône est finalement construit en bois.

De même, plusieurs ingénieurs charpentiers, Goiffon, Calippe et de Montpetit, proposent à plusieurs reprises, en vain, faute de financement, des arcs métalliques à Lyon entre 1755 et 1779 pour concurrencer la pierre. Une première arche en fer de 25 mètres de portée aurait même été montée en 1755 pour un ouvrage de trois arches. Les arches suivantes ayant été montées en bois par raison d'économie, la faible durabilité de l'ensemble n'a pas permis que cet ouvrage devienne aussi célèbre que celui de Coalbrookdale, pont métallique achevé en Angleterre en 1779 et toujours en service.

Dans le cas des ponts de Lyon, le choix du bois, comme substitut au fer, est recommandé par Perronet, qui maîtrise la technique des cintres. Ces ouvrages, excellents sur le plan structural, sont construits comme des cintres, malheureusement sans se soucier leur durabilité, c'est-à-dire sans couverture, en se contentant pour toute protection de quelques feuilles de plomb. De plus, les ponts en bois de la Salpêtrière et de la Mulatière n'ont même que des piles en bois et non des piles en pierre.

Le pont de Tournus (figure 8), construit en bois sur la Saône en 1801, bénéficie d'appuis en maçonnerie et représente, avec des travées d'environ 30 mètres, le pont en cintre le plus abouti de France. Sa conception mécanique et esthétique est extrêmement soignée, avec des potelets rayonnants. Mais, ses concepteurs continuent, bien à tort et peut-être sans le savoir, de respecter l'interprétation étroite des Parlements concernant le vieux texte français interdisant de bâtir sur un pont de bois et n'ont donc pas prévu de couverture.

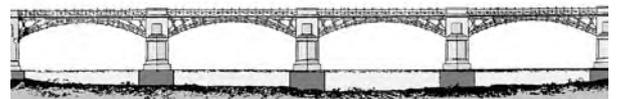


Figure 8 : élévation partielle du pont de Tournus - Ce pont est peu différent du pont romain de Cologne construit en 310

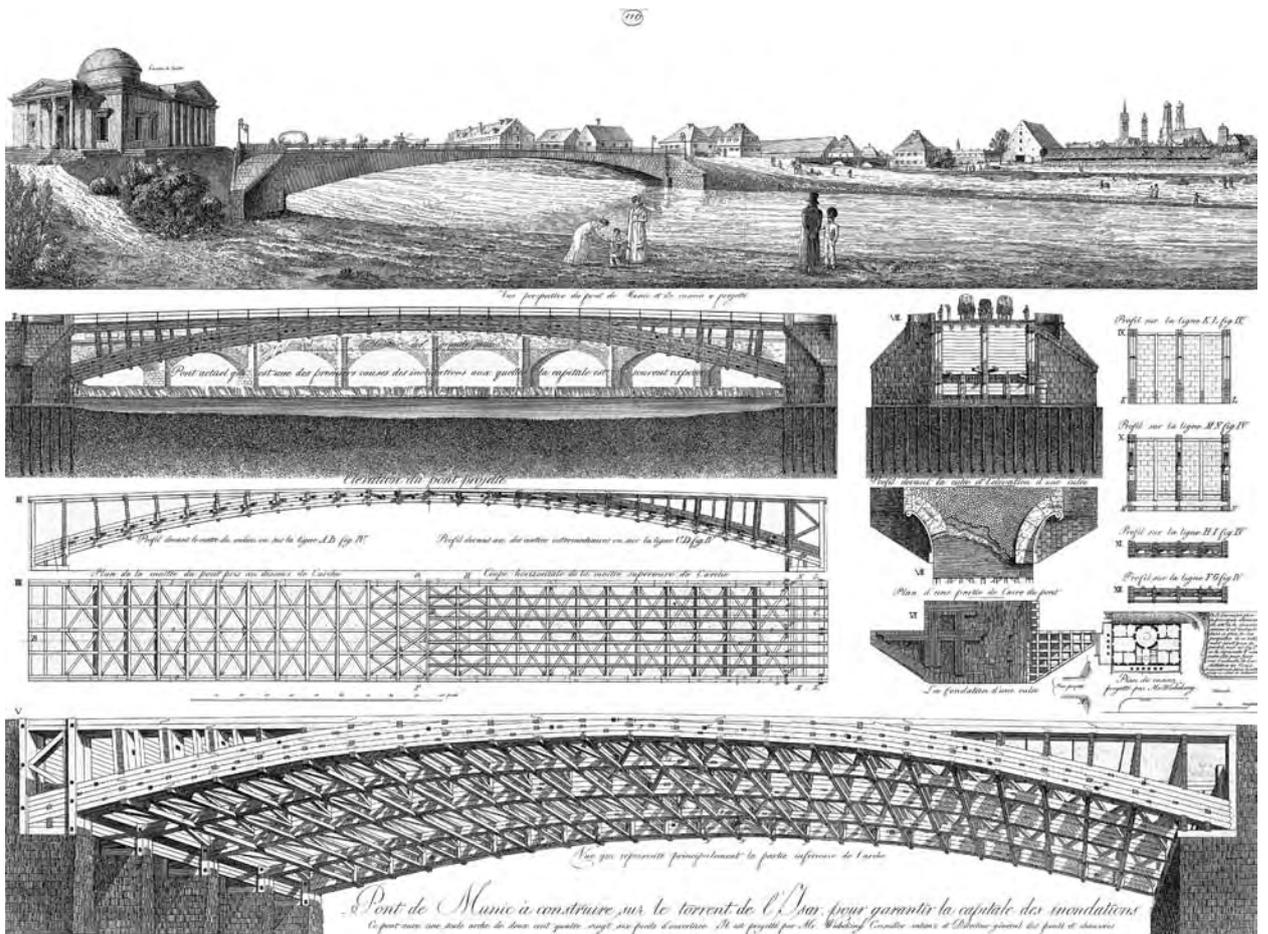


Planche 1 : projet de franchissement de l'Isar en une seule arche (Wiebeking, Munich 1810) – Source : Victor Schmitt

Tous ces ouvrages ont donc malheureusement disparu assez vite, car les maîtres d'ouvrage ont négligé de fournir les ressources nécessaires à leur entretien, le bois de construction étant rare et cher à la fin du 18^{ème} siècle.

En Bavière, les ponts construits par Wiebeking au 19^e siècle sont des cintres faits sur le même modèle que le pont de Tournus, mais avec des portées nettement plus importantes allant jusqu'à 45 mètres

à Freyssingen en 1807 et 72 mètres à Bamberg en 1809. La planche 1 date de 1810, où Wiebeking devenu Directeur Général des Ponts et Chaussées de Bavière projette un pont à Munich. Mais vingt ans plus tard, ces ponts pourrissent, doivent être finalement remplacés et Wiebeking doit subir les railleries du Roi : « Vous êtes un génie de la statique, mais vos ponts n'ont pas la durabilité qui convient ».



Photos 2 : pont de Tournon de 1847 – Source : Dominique Calvi

Entre 1823 et 1850, les calculs de Navier et l'ingéniosité technique des frères Seguin relancent l'utilisation du bois pour les tabliers de la première génération de ponts suspendus. Ces ponts du réseau routier national sont alors souvent concédés à des compagnies. Le bois est choisi pour sa légèreté. Parmi de genre de pont, on peut citer les deux ponts des frères Seguin sur le Rhône entre Tain et Tournon. Le premier pont suspendu construit en 1825 était composé de deux travées de 85 m. La structure était formée par deux fois six câbles de cent douze brins de fil de fer de 3 mm de diamètre, sur lesquels étaient suspendues les poutrelles en chêne de section 30 cm par 16 cm. Suite au développement de la navigation à vapeur, ce pont fut rehaussé et transformé en passerelle piétonne avant d'être détruit contre l'avis du conseil municipal en 1965. Mais un autre pont suspendu de la même veine que le premier a été construit en 1847 et reste encore à ce jour le témoin de cette époque.

Cependant le bois confère en général une rigidité insuffisante à la structure et les principes de Palladio sont encore souvent ignorés. L'accident du pont de la Basse Chaîne construit en 1834 à Angers cause 226 morts en 1848. D'autres accidents surviennent notamment en 1852 à la Roche-Bernard sur l'ouvrage de 198 mètres de portée construit en 1836, puis sur le grand pont de Cubzac. Dès lors les ponts suspendus à tablier de bois ne sont plus utilisés que sur des voies secondaires.

De tels ouvrages continuent néanmoins d'être construits comme en témoigne ce franchissement de la Marne encore en service dans les années 1960 (photo 3).

La poutre et le premier platelage en bois du pont de Groslée construit en 1912, sont maintenus en service jusqu'en 1973 avec une limitation du tonnage à huit tonnes. Ils sont remplacés en 1977 par une poutraison d'aluminium allié à une dalle de béton léger



Photo 3 : pont sur la Marne – Source : Joël Raoul (Sétra)

Le pont de Montmerle avait déjà bénéficié d'un renforcement du même type, après qu'un accident grave soit survenu en raison du non respect, par un poids lourd, de la signalisation mise en place (photo 4).

Retrouvons au 20^{ème} siècle le pont de la Tournelle qui nous sert de fil conducteur. Le pont provisoire en bois (figure 9), construit en 1920 ne permet pas comme prévu la circulation des véhicules : il est sujet à des phénomènes dynamiques fâcheux. Par ailleurs, le pont actuel n'est achevé qu'en 1928 par manque de crédits. Durant ces huit années, la presse parisienne se déchaîne et porte alors un dernier coup au prestige déjà entamé des ouvrages en bois dans notre pays, sans épargner du reste les services des Ponts et Chaussées et de la Navigation.

LES CURIOSITES DU... PROGRÈS A PARIS
Un pont de bois mérovingien rattache l'île Saint-Louis à la rive gauche
 C'est par manque d'entente entre les pouvoirs responsables que la Pont de la Tournelle n'a pu être encore rebâti.

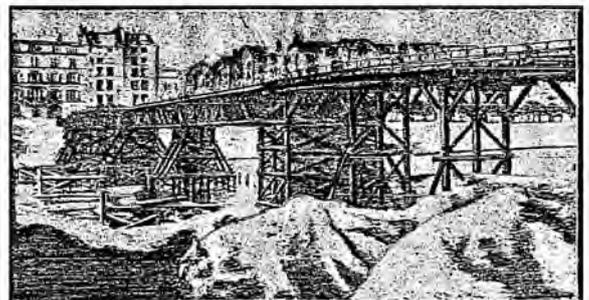


Figure 9 : article de presse



Photo 4 : pont de Montmerle (Ain) – Source : CETE de Lyon



Photos 5 : pont de la chapelle de Lucerne et pont de la région de Davos, probablement du 18^e siècle – Source : Jacques Berthelémy (Sétra)

1.2.4 - Une exception : les ponts de Suisse

Le pont de la chapelle de Lucerne (photo 5) date de 1333 c'est un exemple frappant de longévité. Au cours des siècles, certaines parties ont été reconstruites, et en 1993 une grande partie de l'ouvrage est détruite par le feu. Il est reconstruit à l'identique en 1994.

De nombreux autres ouvrages couverts très anciens sont toujours en service en Suisse même s'ils ne supportent plus aujourd'hui qu'un trafic réduit.

Les charpentiers suisses Hans Ulrich et Jean Grubenmann sont les maîtres d'œuvre des ponts de Schaffhouse (figure 10) avec deux travées de 60 mètres en 1758, et de Wettingen en 1778 dont la portée aurait été de 110 mètres. Ces deux ouvrages sont couverts. Tous deux ont été malheureusement incendiés en 1799 par vandalisme, de telle sorte qu'on ignore quelle aurait été la durabilité du pont de Schaffhouse, qui avait déjà plus de 40 ans de service au moment de sa destruction.

1.2.5 - Les ponts d'Amérique du Nord

Aux États-Unis, on estime que 10 000 ponts couverts environ sont construits entre 1805 et 1885. Les ouvrages en bois réussissent aujourd'hui encore à conserver une part honorable du marché, en particulier au niveau des voiries secondaires, puisque 7 % des ponts sont toujours en bois. Ce maintien s'explique par un savoir-faire conservé, et par la présence toujours

abondante de la forêt qui couvre par exemple encore 89 % de la surface de l'État du Maine.

Parmi ces ponts couverts, nombreux sont ceux dont le service a duré plus de cent ans bien que le bois n'ait fait à l'origine l'objet d'aucun traitement chimique de préservation.

La créosote fait l'objet d'un brevet aux États Unis dès 1831. Pour obtenir ce produit, on ajoute, dans une huile de charbon ou de pétrole, certains déchets toxiques des industries chimiques et sidérurgiques. L'imprégnation aux sels d'arsenic, chrome et cuivre (CCA), apparaît aux USA en 1933, et le pentachlorophénol y apparaît en 1935.

Grâce à des traitements de protection contre les intempéries, en particulier les enduits à base de produits pétroliers, la couverture des ponts couverts a été progressivement abandonnée. Aux États-Unis au Canada et en Australie, les ponts en bois à structure en treillis se développent au milieu du 19^{ème} siècle, ainsi que des structures mixtes acier bois.

Le pont dit de « Sioux - Narrows » est situé sur la route principale n° 71 juste au nord de Kenora dans l'Ontario. Construit en 1936, sa portée est de 64 mètres en travée isostatique. Il s'agit d'un pont Warren sans couverture qui constitue le plus grand pont en bois de ce type en Amérique du Nord et qui est encore récemment cité dans un rapport de l'OCDE comme l'exemple d'un pont en bois correctement conçu, réalisé et entretenu dont la durée de vie peut s'avérer comparable à celle d'un pont en acier. Toutefois

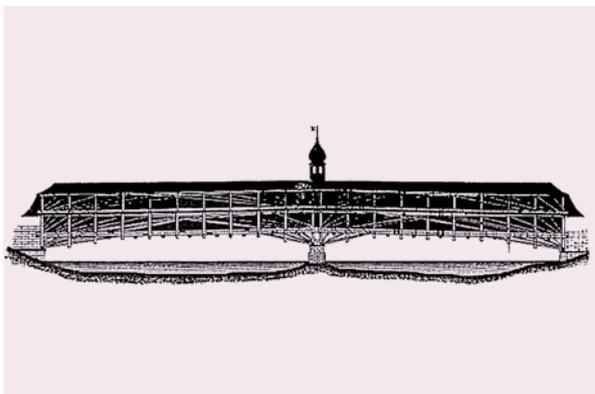


Figure 10 : pont de Schaffhouse (Suisse)



Photo 6 : pont de Keystone-Wye dans le Sud-Dakota. Arc lamellé-collé à l'abri sous une dalle (1968) – Source : Prof. Gutkowski (Colorado State University)



Photo 7 : passerelle Cocteau construite à Nîmes. Arc lamellé-collé sans protection vis-à-vis des chocs et de la pluie (1975)
Source : Truong Trong Canh (ingénieur conseil)



Photo 8 : pont du Thalkirchen à Munich (Allemagne)
Source : Vincent Barbier (CETE de l'Est - LRPC Nancy)

l'ouvrage vient d'être coupé complètement à la circulation en 2003 pour raison de sécurité et doublé par un pont Bailey. En dépit de son grand intérêt pour le tourisme local, il n'est pas encore décidé s'il sera reconstruit à l'identique.

Par ailleurs, le concept des tabliers en bois précontraint est développé au Canada dans les années 70 et imité aux États-Unis. Cela consiste à comprimer des solives à l'aide de barres métalliques.

1.2.6 - Le retour du bois

Au cours de ces vingt dernières années, le bois connaît en Europe un regain d'intérêt. Ainsi dans les pays germaniques, il est utilisé pour la réalisation de passerelles et de ponts à faibles charges.

Le lamellé-collé est inventé par le suisse Otto Hetzer qui fait breveter en Allemagne ses découvertes entre 1891 et 1910. Certaines s'inspirent des idées publiées en 1561 par Philibert de l'Orme, contemporain d'André Palladio. De nombreux développements techniques sont réalisés au 20^{ème} siècle principalement en Amérique du Nord. Le lamellé-collé a permis de réaliser des ponts en arcs où la protection contre la pluie est assurée par la chaussée ou des ponts à poutres de grandes longueurs et de grandes sections.

Néanmoins les mauvaises habitudes sont tenaces : en France de nombreux ponts, comme la passerelle

de Montigny-les-Cormeilles doivent être rapidement démolis et reconstruits. À Nîmes, la passerelle Cocteau, qui subit le choc d'un véhicule hors gabarit dans les années 80 doit être reconstruite. De plus, le régime climatique de la région et les stagnations d'eau causent d'abord des pourrissements localisés, puis l'arrivée de capricornes. Ces derniers creusent des galeries remplies de sciure qui retiennent l'humidité à l'intérieur du bois. De ce fait, divers champignons opportunistes y ont été récemment observés.

À la fin du 20^{ème} siècle, on note enfin une tendance en Allemagne et en France à concevoir des ponts abrités qui tient compte de l'expérience suisse et de l'expérience nord-américaine du 19^{ème} siècle.

Le pont de Thalkirchen construit à Munich en 1991 présente une grande originalité : il est constitué d'une charpente en bois particulièrement bien protégée, à l'abri d'une dalle orthotrope en acier.

En France, quelques ponts sans limitation de charge ont été réalisés en bois comme le pont couvert sur la Dore à Saint-Gervais-sous-Meymont construit pour le Conseil Général du Puy de Dôme.

À Blagnac, le pont piéton Pinot dont la DDE de Haute-Garonne a assuré la maîtrise d'œuvre, constitue avec une protection de glace plastique en polyméthacrylate de méthyle un autre ouvrage original qui associe le bois avec d'autres matériaux pour concilier la fonctionnalité, l'aspect architectural et la durabilité.



Photo 9 : pont sur la Dore (Puy de Dôme)
Source : Brumaire



Photo 10 : passerelle Pinot à Blagnac (Haute-Garonne)
Source : DDE de Haute-Garonne



The background of the page is a collage of various wood textures. It includes close-up views of wood grain patterns in different colors, such as light tan, reddish-brown, and dark brown. There are also images of wood planks and a tree trunk. The text 'Le matériau bois' is overlaid on the top left portion of the collage.

Le matériau bois

2.1 - Généralités

2.1.1 - Gisement et disponibilité

Les essences métropolitaines (ou essences indigènes d'Europe)

En France, la forêt couvre environ 30 % du territoire métropolitain. Elle est en progression constante depuis le début du 19^{ème} siècle : en 2002, elle produit 85 millions de m³ de bois par an, dont 50 millions de m³ seulement sont exploités. Ces 50 millions de m³ se décomposent en 15 millions de m³ en bois de feu, 18 millions de m³ en sciages, 10 millions de m³ en pâte à papier et 7 millions de m³ pour l'industrie des panneaux et des placages.

En surface couverte, les feuillus sont majoritaires et représentent 60 % de la surface boisée.

En revanche, l'exploitation des résineux est la plus importante : le volume de sciage de résineux représente 70 % du volume total de sciage.

En raison de prix plus faibles que ceux des feuillus, les résineux sont les plus utilisés dans la construction. En outre, les feuillus sont généralement assez nerveux, ce qui rend leur mise en œuvre plus délicate du fait des retraits du bois.

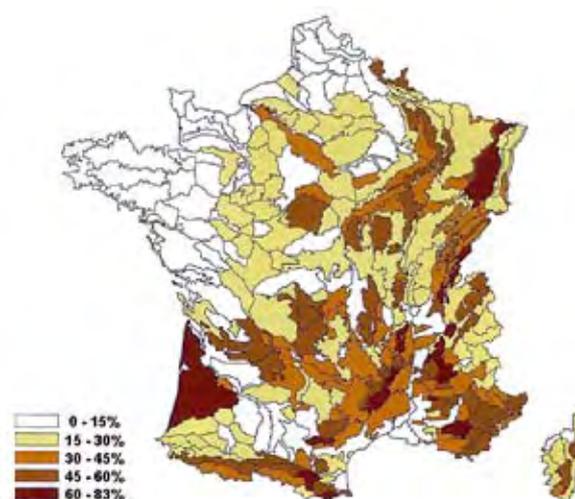
Parmi les principales essences de résineux, on trouve le sapin, l'épicéa, les pins maritime et sylvestre, le douglas et dans une moindre mesure le mélèze. On notera que les essences de montagne présentent généralement de meilleures propriétés que les essences de plaine grâce à une vitesse de croissance plus faible, qui favorise une plus grande densité du bois.

Les essences feuillues les plus courantes sont le chêne, le hêtre, le peuplier et le châtaignier. Ces essences sont facilement disponibles.

Enfin, certaines essences naturellement très durables, comme le robinier (faux acacia) sont très peu disponibles et existent uniquement dans de très faibles diamètres.

Les essences les plus utilisées pour des structures de génie civil, sont le douglas, le mélèze et le pin traité.

Le tableau récapitulatif pour choisir les essences donne plus de détails en Partie 4 - chapitre 4.4.5.



Carte 1 : taux de boisement de chaque région française

Une partie des bois indigènes français sont certifiés par le PEFC (pan european forest council), qui atteste de la provenance d'une forêt gérée durablement, sans surexploitation.



Carte 2 : la Guyane française

Le cas particulier de la Guyane française

Depuis les accords de Rio en juin 1992, la France s'est engagée auprès de la communauté internationale à assurer une gestion durable et exemplaire des zones forestières exploitées en Guyane.

Il a été mis un terme à la formule précédente des permis d'exploitation. L'aménagement des forêts de production de la Guyane mis en place par l'ONF à partir de 1993 représente une avancée essentielle vers la gestion durable. Comme pour la France métropolitaine, cette bonne gestion pourrait déboucher vers une certification par le PEFC.

La forêt guyanaise représente 96,7 % de la superficie du territoire soit environ huit millions d'hectares. La superficie des forêts aménagées pour l'exploitation représente 410 000 hectares, soit seulement 5 % de la surface forestière totale, et la production s'élève à environ 65 000 tonnes de grumes par an.

La production repose sur des essences tropicales feuillues, de densité moyenne à forte, destinées pour une faible partie (10 % environ) à l'exportation, principalement vers les Antilles.

Les bois du Nord

On appelle « bois du Nord » les bois qui ont poussé au-delà du 57^{ème} degré de latitude nord, en Finlande, dans les Pays scandinaves, en Russie et au Canada. La majorité des bois du Nord sont certifiés par le PEFC ou par l'organisme néerlandais KEURHOUT.

Ces forêts sont essentiellement composées de résineux (90 % environ). Deux essences sont abondantes : le sapin blanc (épicéa) et le sapin rouge (pin sylvestre). Ces essences poussent assez lentement et ont de bonnes propriétés mécaniques et de durabilité.

Les bois du Nord sont très utilisés en construction (faible coût et bonne disponibilité), notamment dans l'industrie du lamellé collé.

Les bois tropicaux

La forêt tropicale représente 50 % de la surface boisée mondiale, mais ne produit que 15 % du bois utilisé en France en construction.

De très nombreuses essences existent, notamment des feuillus. Les plus courantes en construction sont l'iroko, l'ipé, le teck de plantation, le doussié, le bilinga, l'azobé, le moabi, le movingui, le tauari. Pour choisir une autre essence, on se reportera à l'atlas des bois tropicaux : il faut notamment vérifier les propriétés mécaniques (densité, résistance...) et physiques (retrait). Des renseignements utiles (disponibilité, prescriptions particulières) peuvent

être donnés par le CIRAD (Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, contact : boistrop@cirad.fr).

Il existe actuellement plusieurs organismes de certification qui attestent de la bonne gestion de la forêt au sens de la lutte contre la déforestation. Aucune réglementation française ne contraint le maître d'ouvrage à exiger une telle certification. En revanche, un document douanier d'importation doit lui être fourni par l'entreprise.

Plusieurs systèmes de certification forestière existent en régions tropicales : KEURHOUT, FSC (Forest Stewardship Council) et un projet PAFC (Pan African Forest Council). Seulement trois millions d'hectares de forêts tropicales sont certifiés par le FSC et le PAFC : c'est une part insignifiante qui correspond à 0,2 % de la superficie totale. Pourtant, de nombreux opérateurs tropicaux ont engagé des démarches d'éco-certification impliquant la mise en place de plans pour conduire peu à peu à la production en quantité significative de bois provenant de forêts certifiées. En l'état actuel des choses, exiger ce type de certification serait excessif et exclurait même arbitrairement la Guyane par exemple.

Par ailleurs les situations des pays producteurs sont en constante évolution. La Malaisie était ainsi en 1970 le plus important exportateur mondial de bois exotique, avec des conditions d'exploitation très éloignées des critères actuels de gestion durable. En revanche, ce pays s'est nettement orienté à partir de 1972 vers des politiques encourageant l'exploitation durable des forêts et la production de bois de culture, notamment dans le cas du teck et a même mis en place son propre système de certification reconnue par le KEURHOUT.

Il convient essentiellement de s'assurer de la provenance des bois utilisés afin d'éviter l'emploi de bois d'origines incertaines. Les Services des Douanes peuvent le cas échéant indiquer au maître d'ouvrage quelles sont à un moment donné les essences qui présenteraient des risques à cet égard, et sont seuls en mesure d'établir le document douanier d'importation. Le CIRAD peut également fournir des informations sur les essences, leur disponibilité, l'impact de leur utilisation dans le cadre du processus de développement durable.

2.1.2 - Débits et produits reconstitués

On distingue le bois massif, débité généralement en section standardisée et les produits reconstitués.

Les produits reconstitués sont fabriqués avec du bois trituré ou déroulé, puis collé. Ces produits sont plus homogènes, car les nœuds, en particulier, peuvent être retirés avant collage.

Débits

Les grumes sont débitées en sections rectangulaires dans les scieries. Les sections obtenues sont les madriers, les bastaings, les chevrons, les lattes, etc. Ces termes sont explicités dans le lexique en annexe (partie 6) au chapitre 6.1.

Il existe un certain nombre de sections standards que la plupart des scieries fournissent.

Les sections en standard sont détaillées en annexe (partie 6) au chapitre 6.9.

Pour des sections différentes, le débit est dit sur liste : la section est spécialement débitée pour le client, ce qui augmente le coût.

Les longueurs débutent à 2 m et augmentent par incrément de 0,5 m jusqu'à une dizaine de mètres.

Le sciage est presque toujours fait « sur dosse » : toutes les planches sont sciées parallèlement à un même plan diamétral comme sur la figure 11. Lorsque le plan de sciage est proche du cœur du tronc les planches sont dites sur quartier, puis en s'éloignant, elles sont dites sur faux quartier puis sont qualifiées de dosse. Plus rarement on trouve des sciages « sur quartier » dans lesquels on cherche à optimiser le nombre de pièces obtenues sur quartier car elles se déforment moins au séchage.

Lamellé collé

Origine

Le lamellé collé est né il y a près d'un siècle. Le suisse Otto Hetzer a en effet eu l'idée d'assembler des planches de bois avec de la colle caséine.

Technique

Des planches (appelées lamelles) jusqu'à 5 m de longueur sont séchées (15 % d'humidité maximum à cause du collage), et purgées de leurs singularités (nœuds, flaches, etc.). Les flaches sont des portions de la partie ronde de l'arbre qui apparaissent lors du débit. Les lamelles sont ensuite aboutées et collées pour réaliser des lamelles continues. Le bois de bout ne pouvant pas être collé (absorption de la colle), le collage est réalisé sous une pression minimale de 2 MPa sur des faces inclinées appelées entures (figure 12).

Les lamelles sont rabotées puis superposées les unes sur les autres de manière à obtenir la section désirée. L'encollage est réalisé au maximum 24 heures après le rabotage avec une colle thermodurcissable (résistante mécaniquement) et possédant une bonne tenue à l'eau. La colle résorcine (résorcinol phénol formol) est la plus couramment utilisée pour un usage en extérieur. Ensuite le tout est pressé généralement entre 0.4 et 1.2 MPa, pendant une durée minimale de 6 heures.

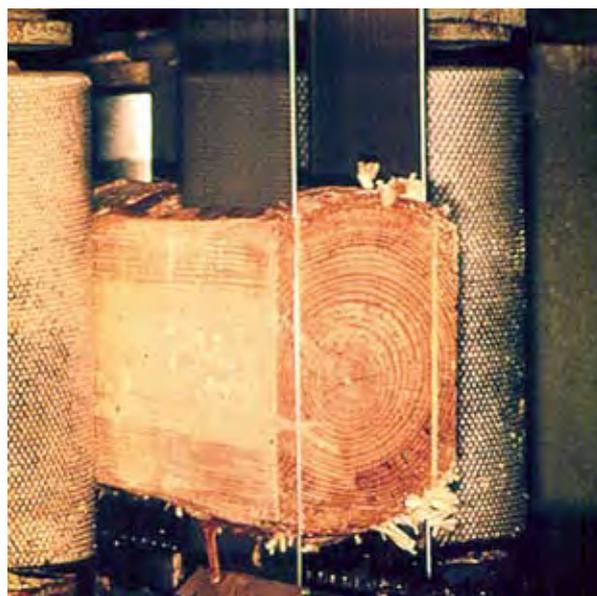


Photo 11 : sciage sur dosse – Source : CNDB

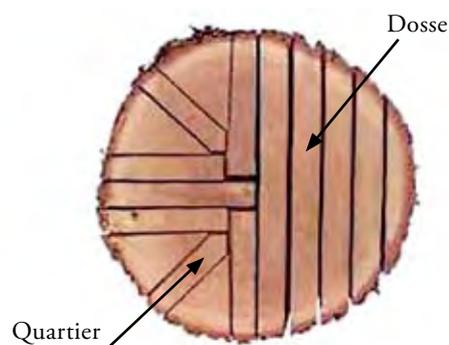


Figure 11 : définition des sciages sur dosse et sur quartier

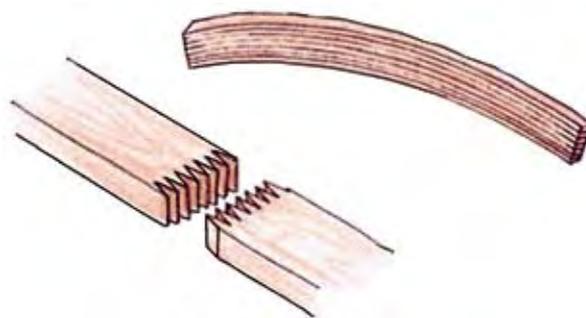


Figure 12 : détail d'aboutage



Figure 13 : schéma d'une flache

Essences utilisables

Les essences les plus courantes sont le sapin, l'épicéa, le pin sylvestre et le douglas.

D'autres essences peuvent être également utilisées : le mélèze, le pin maritime notamment, et certaines essences feuillus (comme l'iroko).

Avantages

Le lamellé collé présente plusieurs avantages par rapport au bois massif, notamment les suivants :

- fabrication de poutre de forte section et de grande longueur (jusqu'à environ 40 m) ;
- possibilité de fabriquer des poutres cintrées ;
- résistance et rigidité accrues ;
- purge des singularités.

Classes de résistances

Les classes de résistances du lamellé collé vont de GL 20 à GL 36 (GL comme glulam, appellation anglaise caractérisant le lamellé-collé, le chiffre donnant la valeur caractéristique de la résistance en flexion).

On distingue le bois lamellé collé homogène (noté **GL36h**) qui est constitué de lamelles ayant les mêmes caractéristiques mécaniques et le bois lamellé collé panaché (noté **GL36c**) qui est constitué de lamelles ayant des caractéristiques mécaniques supérieures aux extrémités.

Le GL24h est par exemple constitué de lamelles classées en C24 et le GL24c est constitué de lamelles en C18 à l'intérieur de la section et en C24 à l'extérieur. Le classement mécanique des bois est explicité en Partie 2 au chapitre 2.4.3 « Classement des bois massifs ».

Dimensions courantes

Les poutres en bois lamellé-collé sont disponibles en sections standards et sur commandes. Les dimensions courantes sont :

- largeur : de 6 à 24 cm ;
- hauteur : de 10 à 60 cm ;
- longueur : jusqu'à 40 m.

Les épaisseurs courantes des lamelles varient de 33 à 45 mm. Pour les ouvrages en extérieur, il est recommandé d'utiliser les lamelles les plus fines pour maîtriser au mieux le retrait du bois, et bien sûr de concevoir une protection efficace.



Photo 12 : poutre en lamellé collé d'épicéa – Source : Robert Leroy (Lcpc)

Exemples de réalisation



Photo 13 : institut du Judo (Paris) – Source : Jacques Berthelémy (Sétra)



Photo 14 : passerelle Pinot – Source : DDE de Haute-Garonne

Marquage et certification

Le bois lamellé collé est **marqué CE** en conformité à la norme EN 14080 (Bois de structure - Produits en bois lamellés-collés - Exigences), ce qui garantit une surveillance minimale de la fabrication par l'entreprise et par un organisme notifié. Il est prévu que le marquage CE sera **obligatoire en janvier 2007**.

Il existe également une certification qualité ACERBOIS GLULAM, pour garantir le classement des lamelles, les caractéristiques des aboutages en flexion, les caractéristiques du collage et le classement du bois lamellé collé.

Produits industriels « LVL, LSL et PSL »

Ces produits industriels sont obtenus après déroulage de billes de bois puis tranchage (LVL et PSL) ou à partir de longs copeaux (LSL). Les tranches de placages, ou copeaux, sont empilées (avec parfois des changements d'orientation) et sont collées entre elles.

Le Lamibois ou LVL (laminated veneer lumber) et le LSL (laminated strand lumber) se présentent généralement sous la forme de plateau épais, tandis que le PSL (parallel strand lumber) constitue des poutres (jusqu'à 48 cm de hauteur par 28 cm de largeur).

Ces produits présentent de meilleures caractéristiques mécaniques que les bois massifs, et possèdent une meilleure stabilité dimensionnelle (grâce à l'orientation des placages).

L'essence la plus utilisée est l'épicéa, mais il existe quelques applications utilisant du pin.

Dans le domaine des ouvrages d'Art, ces produits peuvent être utilisés pour la réalisation d'entretoises, de support de platelage par exemple.

Les panneaux

• le contreplaqué est obtenu après déroulage des billes de bois : les placages sont croisés et collés (similitudes avec le LVL à plis croisés) ;

• l'OSB (oriented strand board) est obtenu par le collage de lamelles, obtenues après trituration du bois, selon une direction privilégiée ;

• les panneaux de particules sont obtenus par le collage de copeaux et de sciures ;

• les panneaux de fibres dures (HDF) et moyennement dures (MDF) sont surtout utilisés en intérieur.

2.2 - Anatomie du bois

2.2.1 - Le bois non traité : un matériau naturel et vivant

Le bois n'est pas un matériau fabriqué pour ses usages en génie civil. Dans le tronc de l'arbre il remplit de multiples fonctions : c'est la manière dont la nature a rempli ces fonctions qui confère au bois ses propriétés. Le tronc d'arbre « fonctionne » normalement quand il est vivant : il est à l'état saturé d'eau et protégé en grande partie par son écorce. En génie civil on l'utilise sec – mot à définir plus précisément d'ailleurs – et non protégé par son écorce. C'est dans cette perspective que le matériau bois va être présenté ici.

Le bois est un matériau « vivant ». Ceci doit être compris de deux manières différentes :

• le bois est le matériau d'un organisme vivant. Connaître le mode de vie de cette plante permet de découvrir certaines de ces propriétés ;

• le bois s'adapte en permanence à son environnement. L'un de ses principaux constituants est hydrophile : la cellulose. A l'état sec, cette cellulose se met en permanence en équilibre avec l'humidité de l'air et gonfle plus ou moins : le bois « travaille ». Il « grise » également, du fait de l'activité en surface des UV sur ses constituants organiques. Ces propriétés doivent être prises en compte dans l'utilisation du



Photo 15 : LVL



Photo 16 : LSL



Photo 17 : PSL

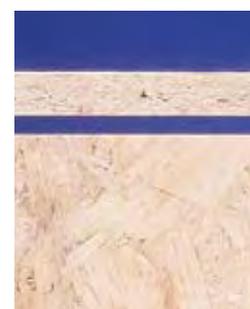


Photo 18 : OSB



Photo 19 : contreplaqué

Source : CNDB

matériau, de manière similaire à ce qui se fait pour d'autres matériaux de génie civil : la sensibilité dimensionnelle du bois à l'humidité est similaire à la sensibilité dimensionnelle de l'acier ou du béton à la température, la couche de bois dégradée par la lumière en surface est similaire à la couche de calcaire qui protège les pierres calcaires.

Le bois, issu d'une matière vivante, est principalement composé de carbone, d'oxygène, d'hydrogène et d'azote, et de toute une série de minéraux (silice, calcium, potassium notamment et des sels métalliques à l'état de trace).

Ces éléments sont organisés en composés organiques de trois familles principales :

- la cellulose qui, dans le bois, est organisée en microfibrilles élémentaires, elles-mêmes agglomérées en fibres. Ces microfibrilles comportent des parties cristallines et des parties amorphes. La molécule de cellulose est très hydrophile du fait des groupements hydroxyles qu'elle contient. La cellulose représente 50 % du matériau final ;
- les hémicelluloses qui appartiennent à la famille des sucres, constituent pour moitié la matrice du matériau composite fibre de cellulose – matrice hémicellulose lignine. Ce sont ces hémicelluloses qui attirent la plupart des insectes, seules les termites étant capables de digérer la cellulose ;
- la lignine, autre famille de polymères propre au bois, qui constitue l'autre moitié de la matrice.

Les arbres appartiennent au monde des plantes se reproduisant par des fleurs et des graines (les phanérogytes). On y distingue deux embranchements comprenant :

- les gymnospermes, plantes à fruits ouverts, parmi lesquels on trouve les conifères ainsi appelés car leurs graines sont stockées dans des cônes formés d'écaillures protectrices. Le bois des conifères est appelé **résineux** car l'arbre stocke des résines dans des vésicules spéciales ;

- les angiospermes, plantes à graine incluse dans un fruit, parmi lesquelles on trouve les arbres dit **feuillus**.

Les gymnospermes qui fournissent les bois résineux sont plus anciens dans l'évolution du fait que leur structure plus simple est composée de cellules non spécialisées. Les angiospermes qui fournissent les bois feuillus sont beaucoup plus complexes.

2.2.2 - Du macroscopique au microscopique

Le bois est porteur en compression comme en flexion

Mécaniquement, le tronc d'arbre est un poteau encastré en pied et porte une charge verticale en tête : la couronne. Il a donc naturellement une bonne résistance à la compression. Il assure également la résistance de la plante aux charges horizontales : la prise au vent de la couronne est très importante et le tronc transmet donc un moment fléchissant et un effort tranchant non négligeable au sol. De ce fait le tronc a également une résistance à la flexion élevée, et ce quelle que soit la direction du vent.

La symétrie de révolution du tronc d'arbre peut être vue comme une réponse au fait que le vent peut souffler dans toutes les directions. La symétrie de révolution n'est plus vraie pour les arbres soumis à des vents dominants (bois de lisières, bois isolés) schématisés à droite de la figure 14 : la plante renforce ses structures pour offrir une plus grande résistance dans la direction la plus sollicitée. Les feuillus génèrent un supplément de bois côté tendu (bois de tension) et les résineux du côté comprimé (bois de compression). Ces zones présentent des défauts dans leur microstructure. Aussi la présence de ce type de bois « de réaction » est à éviter dans les ouvrages d'art.

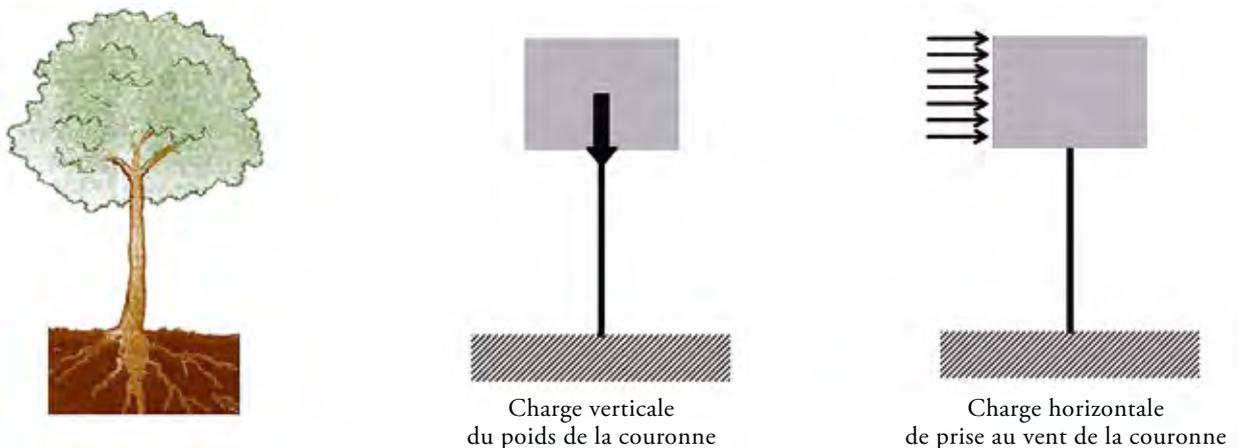


Figure 14 : rôle du tronc dans la transmission des sollicitations appliquées à l'arbre – Source : DDE de Haute-Garonne

2.2.3 - Observation du billot

En sciant une section du tronc on obtient un billot (voir figure 15). On met en évidence sa géométrie cylindrique qui traduit le fait que l'arbre pousse en ajoutant chaque année une couche supplémentaire de bois, cette couche étant celle située entre le bois proprement dit et l'écorce.

Cette structure induit un référentiel géométrique naturel auquel on se référera constamment : on distinguera la direction longitudinale L de l'axe du tronc, la direction radiale R, correspondant aux rayons des cercles d'accroissement annuels, et, localement, la direction T, tangentielle aux cercles. Au plan local ces trois directions forment, deux à deux des plans de symétrie qui correspondent à un comportement mécanique particulier.

L'observation de la coupe transversale ci-dessous du tronc d'arbre, dans le plan TR (figure 16) montre de l'intérieur vers l'extérieur (du passé vers le présent) :

- une zone de quasi-cercles - les cernes d'accroissement annuel - chacun constitué d'une zone claire et d'une zone foncée. C'est le **bois parfait**. La zone claire du cerne est le bois de printemps, période humide de réveil de la végétation. Le bois y est un peu plus tendre. La zone foncée correspond au bois qui a poussé l'été, période de sécheresse : le bois y est moins poreux, plus dur. Ce bois parfait est encore appelé duramen lorsqu'il peut être distingué visuellement de l'aubier ;
- une zone qui présente la même structure d'alternances mais beaucoup plus claire dans certains cas. C'est l'**aubier**. Ce sont les couches de bois récentes ;
- juste après la dernière couche de bois de l'aubier se trouve le **cambium**, la couche qui se divise pour fabriquer le bois de la couche annuelle, l'aubier vers l'intérieur, le liber vers l'extérieur ;
- une couche de bois un peu plus épaisse, très poreuse, le **liber**, qui constitue la base de l'écorce ;
- une dernière couche externe, l'**écorce**, constituée de cellules du liber qui se sont spécialisées pour assurer une protection périphérique du tronc.

Sur la tranche de chêne de la figure 16, ces différentes couches se distinguent assez bien par leur couleur et par leur structure plus ou moins poreuse.

Ces différences s'expliquent par les fonctions de ces différentes couches. Il faut alors revenir sur le fonctionnement de la plante : pour assurer sa croissance, l'arbre prélève de l'eau et des sels minéraux (la sève brute) dans le sol à l'aide de son système racinaire et les transporte jusque dans les feuilles. Cette montée de la sève brute est assurée par les vaisseaux (dans les feuillus) et les trachéides (dans les résineux) de l'aubier. Dans les feuilles, la photosynthèse assure la transformation de cette eau, des sels minéraux et du CO₂ prélevé dans l'air en « sève élaborée », mélange

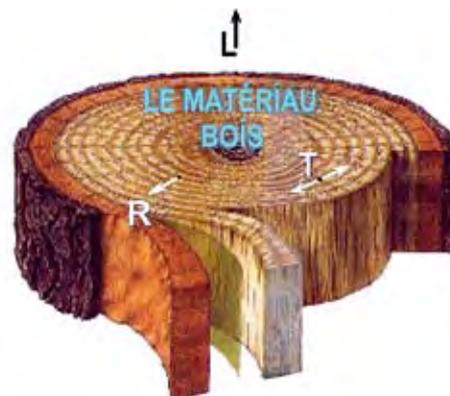


Figure 15 : le repère naturel LRT identifiable sur le billot
Source : CNDB

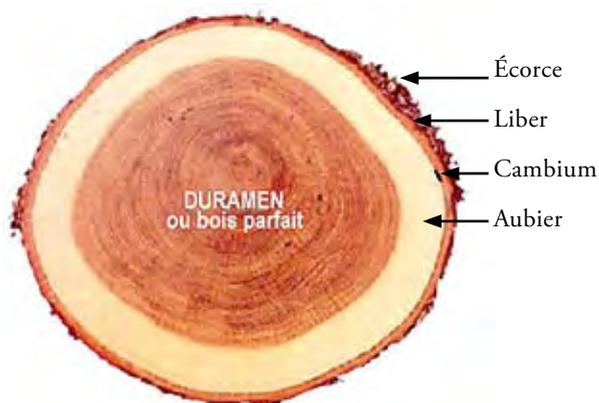


Figure 16 : coupe transversale (plan RT) d'un tronc de chêne
Source : CNDB

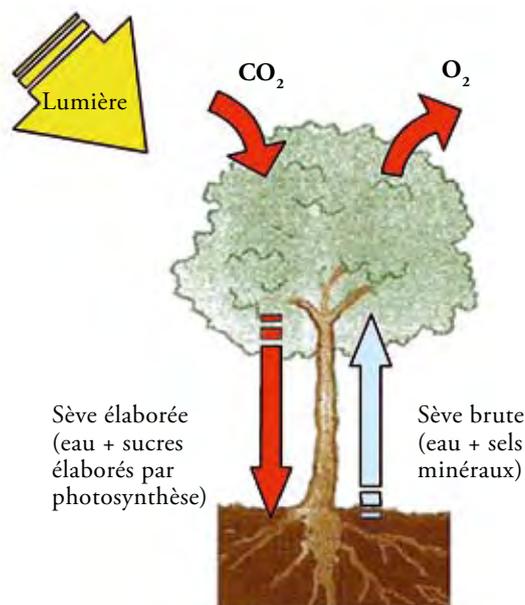


Figure 17 : photosynthèse et circulation des sèves – Source : CNDB

de sucres et d'eau qui redescend jusque dans les racines. Cette sève élaborée est utilisée tout le long de ce parcours pour alimenter la plante et fabriquer des tissus. La redescence de la sève élaborée est assurée par le liber.

Comme nous le verrons plus loin en descendant à l'échelle microscopique, ces circulations verticales sont assurées par l'organisation verticale de la majorité des cellules du bois. Des cellules horizontales, radiales, permettent la circulation horizontale de la sève élaborée et des stockages.

Dans le cas du chêne présenté figure 16, le bois parfait apparaît en sombre au centre de la figure. Les chemins de circulation de la sève se sont bouchés par des sels minéraux et métalliques – les tanins – qui lui donnent sa couleur. Il ne joue donc plus de rôle dans la circulation verticale des sèves. Il conserve cependant une fonction de réserve. On ne parle de duramen que lorsque le bois parfait est différencié par sa coloration spécifique par rapport à l'aubier. C'est le cas du chêne, du châtaignier ou des pins sylvestres et du pin maritime. En revanche les sapins ou les épicéas n'ont pas l'aubier différencié, c'est à dire qu'il n'est pas possible de distinguer l'aubier du bois parfait.

Les sels métalliques qui colorent le duramen lui confèrent une résistance aux insectes dits « à larves xylophages » les plus courants dans nos régions : les traitements insecticides classiques ne sont rien d'autre que des sels métalliques chimiques que l'on force à pénétrer dans le bois pour le protéger des insectes (sauf des termites qui ne sont justement pas des insectes à larve xylophage mais xylophages elles mêmes).

Cette résistance naturelle des bois à aubier différencié explique qu'une charpente en chêne ou en châtaignier, si elle est bien protégée de la stagnation d'eau, donc de la pourriture, n'a rien à craindre des insectes, sans aucun traitement. Ce sera le cas de pièces de pont bien protégées, même si elles peuvent être mouillées occasionnellement. Il suffit de veiller à refuser les pièces contenant trop d'aubier ou d'en exiger l'élimination lorsque le sciage ne l'a pas éliminé totalement.

2.2.4 - Le plan ligneux

À l'échelle microscopique, on découvre un autre niveau d'organisation du bois, appelé plan ligneux. Le plan ligneux est la représentation de l'organisation des différents types de cellules du bois. Ce plan ligneux est propre à chaque essence; celui des résineux est fondamentalement différent de celui des feuillus. Son observation microscopique est nécessaire pour identifier rigoureusement les essences, même si, en première approximation, on peut y parvenir à l'observation à l'œil nu sur les planches.

Le plan ligneux des résineux

Le dessin ci-dessous représente un petit cube de bois d'environ 1 cm de côté taillé dans un bois résineux, les plans de coupe étant respectivement les plans LR, LT et RT. La photographie au microscope électronique du plan ligneux est typique d'un résineux.

La majorité des cellules est verticale. Elles sont nommées trachéides. Leur diamètre est de l'ordre de 30 à 40 µm, les plus longues sont de 7 mm. Leur fonction est à la fois mécanique et de transport des sèves. Le bois de printemps est la zone avec des cellules de large diamètre, le bois d'été est la zone de cellules à plus faible de diamètre et à parois plus épaisses. Un autre détail se révèle également : les trachéides sont pourvues de points de communications - les ponctuations aréolées - qui sont comme des boutons pressions entre trachéides. La sève circule par capillarité en passant d'une cellule à l'autre par les ponctuations. La duraminisation correspond à l'obstruction de ces ponctuations et donc à l'arrêt de cette circulation.

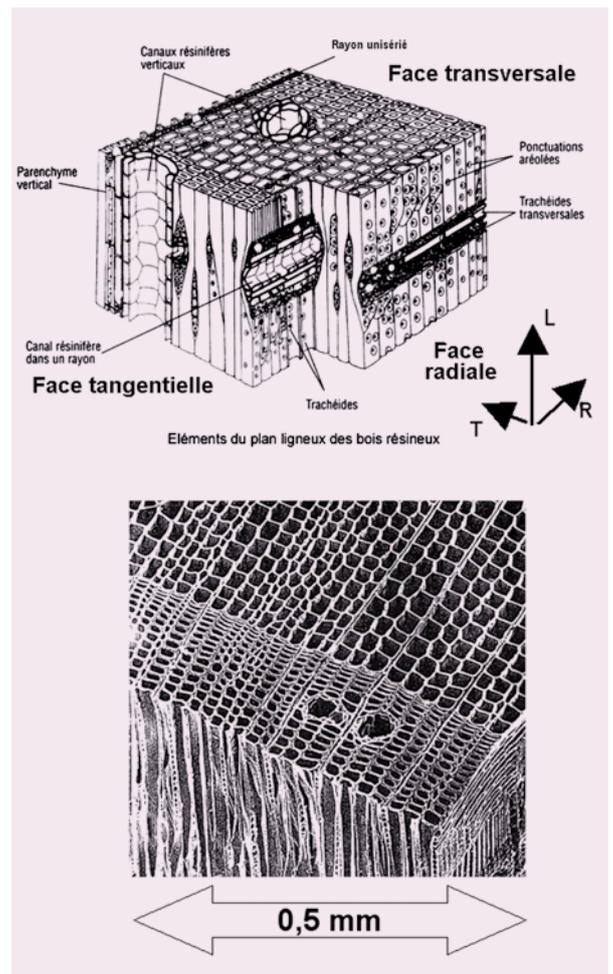


Figure 18 : en haut, dessin du plan ligneux d'un résineux; en bas microphotographie d'un résineux (x 50)

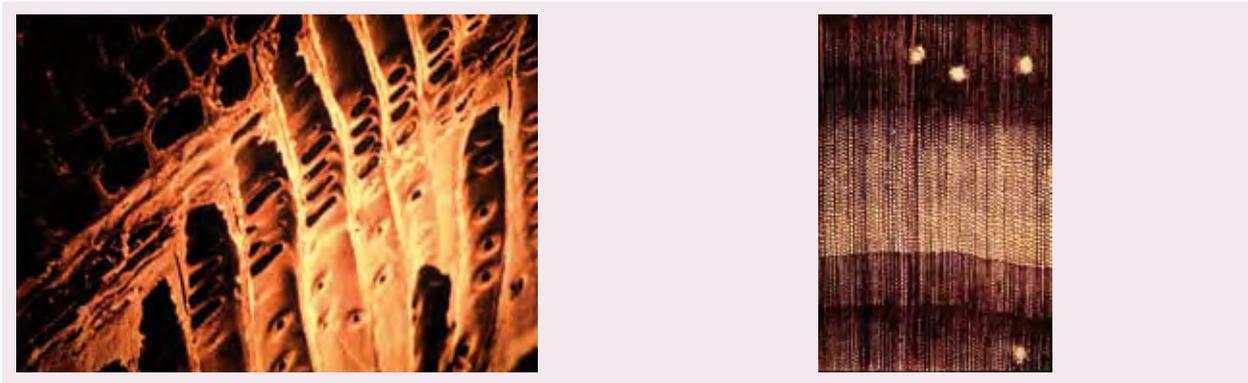


Figure 19 : détails d'un plan ligneux de résineux

D'autres types de cellules ou structures sont visibles sur le plan ligneux ; les rayons ligneux et les canaux résinifères, qui sont également des stockages de matériau de cicatrisation pour la plante. Généralement, dans les résineux, les rayons ligneux sont très fins et peu visibles à l'œil nu. Ces structures sont détaillées ci-dessous.

La figure 19 montre à gauche une microphotographie des punctuations aérées et à droite une microphotographie d'une coupe RT d'un résineux avec quelques poches de résines dans la partie bois d'été.

Le plan ligneux des feuillus

Le plan ligneux des feuillus, ci-dessous en graphique et en microphotographie pour du chêne, est nettement plus complexe car leurs cellules sont plus spécialisées (distinction entre les fonctions support de l'arbre et conduction de la sève notamment). Sur le plan structurel on retrouve cependant : une majorité de

cellules verticales, fibres (support) et parenchyme (remplissage, stockage), vaisseaux (transport des sèves), et des cellules radiales, les rayons ligneux qui peuvent être nettement plus volumineux que dans le cas des résineux.

Il est à noter qu'il existe deux grandes familles chez les feuillus: les feuillus à zone initiale poreuse (ZIP) et les feuillus à zone homogène. Parmi les feuillus à ZIP, on recense le chêne, le châtaignier notamment. Au printemps, les vaisseaux sont de très forte section, puis se rétrécissent en été. Par contre, les feuillus à zone homogène tels que le hêtre possèdent des tailles de vaisseaux identiques tout au long de la saison de végétation.

Les bois tropicaux (et équatoriaux) ne présentent pas toujours des différences visibles à l'œil nu entre bois de printemps et bois d'été, du fait du climat. Cependant l'analyse fine du plan ligneux montre généralement qu'il existe quand même un cycle végétatif annuel.

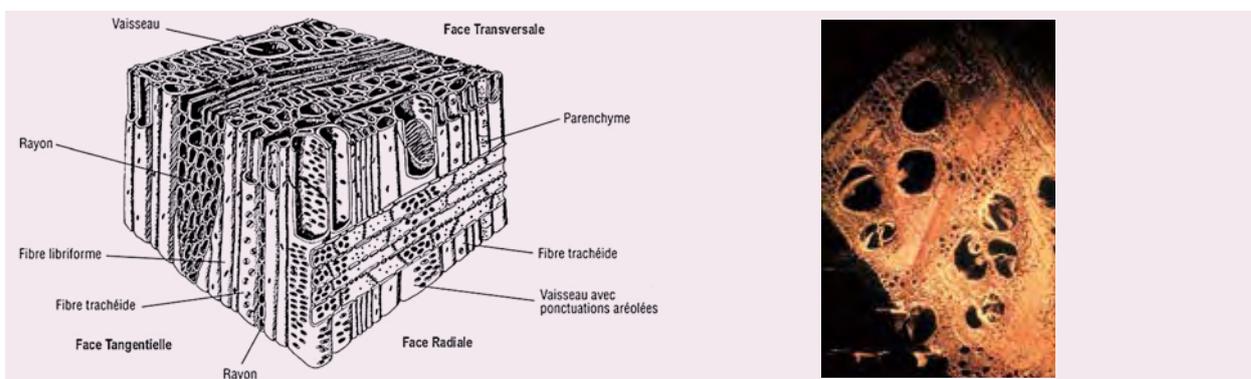
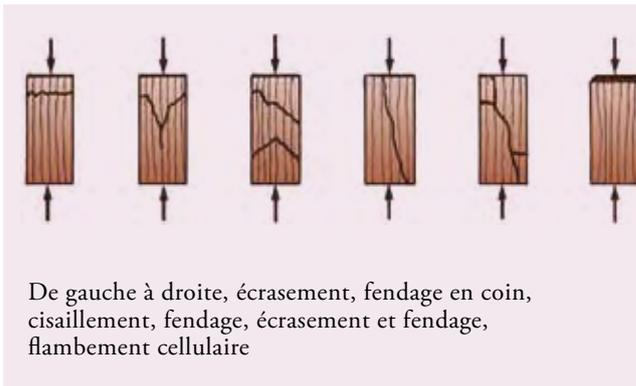
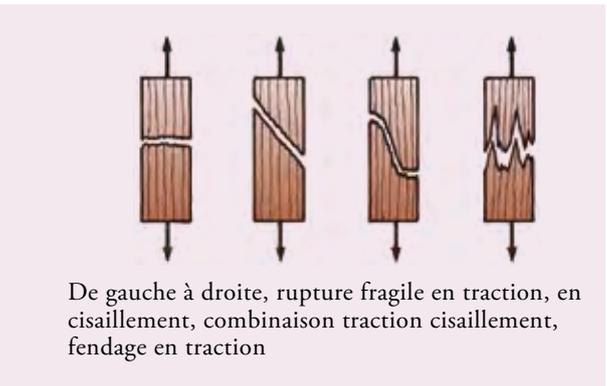


Figure 20 : à gauche dessin du plan ligneux d'un feuillus et à droite une microphotographie du chêne



De gauche à droite, écrasement, fendage en coin, cisaillement, fendage, écrasement et fendage, flambement cellulaire

Figure 21 : différents modes de rupture en compression



De gauche à droite, rupture fragile en traction, en cisaillement, combinaison traction cisaillement, fendage en traction

Figure 22 : différents modes de ruptures en traction

Plan ligneux et propriétés des bois

Deux facteurs sont essentiels pour la qualité des bois :

- la régularité de la largeur des cernes d'accroissement annuels, qui traduit la régularité du climat ;
- la proportion du printemps par rapport au bois d'été. Il est préférable que le bois d'été, plus résistant, soit en plus forte proportion, ce qui se traduit pour les résineux par la finesse des cernes d'accroissement annuels.

De ce fait, les zones de culture des bois d'œuvre sont préférentiellement les plaines pour les feuillus, car les saisons y sont équilibrées, les montagnes et les régions nordiques pour les résineux car les printemps y sont courts et le climat régulier. Des cernes d'accroissement irréguliers entraînent des contraintes internes au séchage et des déformations au sciage (le bois est dit nerveux).

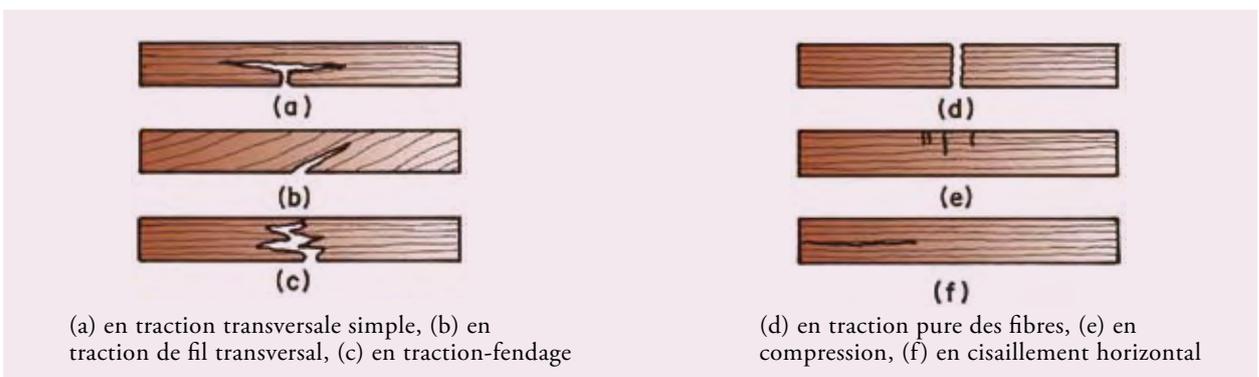
Les mécanismes de ruptures dans le bois sont multiples comme le montrent les figures (figure 21, figure 22, figure 23) pour le bois exempt de singularités.

Les différents types de ruptures mettent en jeu différents mécanismes : la rupture en compression des parois cellulaires individuelles, la rupture de l'ensemble de l'édifice vertical par flambement latéral des cellules en compression, la rupture en traction ou en cisaillement des plans de collage des cellules entre elles, la rupture en traction des parois cellulaires.

La connaissance du plan ligneux explique aussi le comportement mécanique du bois. Tant en compression qu'en traction, il est évident que les propriétés dans la direction longitudinale sont largement supérieures à celles dans les directions tangentielle et radiale. Dans la direction radiale tangentielle la compression écrase les cellules, la traction sollicite le collage entre les cellules et le déchirement de leur paroi. Au contraire, dans la direction longitudinale, l'organisation verticale des cellules, comme des tubes juxtaposés, est très favorable à une résistance en compression et en traction. Cette anisotropie est aussi vraie en termes de module d'élasticité qu'en terme de résistance à la rupture comme le montre le tableau 4, qui fournit quelques valeurs caractéristiques moyennes. Les propriétés de symétrie qui s'attachent à ces axes naturels permettent ce classer le bois dans les matériaux orthotropes. Des valeurs de propriétés mécaniques moyennes sont fournies au chapitre 2.4.

De ce fait les résultats des essais de caractérisation mécanique du bois sont toujours très dispersés, beaucoup plus que dans les matériaux manufacturés du génie civil, tels que le béton et l'acier. Les résultats moyens retenus dans les calculs sont donc toujours des valeurs caractéristiques statistiques comprenant des marges de sécurité importantes.

Comme pour le bois de charpente, il n'est pas envisageable d'éliminer les nœuds, poches de résines et autres singularités du bois, la multiplicité des formes de rupture présentée auparavant (figure 21, figure 22, figure 23) se complexifie encore.



(a) en traction transversale simple, (b) en traction de fil transversal, (c) en traction-fendage

(d) en traction pure des fibres, (e) en compression, (f) en cisaillement horizontal

Figure 23 : différents modes de rupture en flexion d'un échantillon de bois exempt de singularités

2.2.5 - La structure cellulaire et composition chimique

La cellule vivante de l'arbre comporte un noyau, un cytoplasme, une membrane et une paroi primaire (P). Lors de la différenciation, elle s'étire, dépose une paroi secondaire (S) et lignifie ensuite sa paroi, qui la rend étanche vis-à-vis de l'extérieur. Cette dernière phase entraîne la mort de la cellule, avec disparition du noyau et du cytoplasme, laissant place à une cellule vide.

La figure 24 montre les différentes couches de la paroi de la cellule lignifiée. Les fibres (ou plus exactement les microfibrilles) de cellulose sont collées par un mélange de sucres (les hémicelluloses) et de lignine comme les fibres de verre ou les fibres de carbone dans la résine époxy des matériaux composites. La paroi des trachéides est composée de plusieurs couches : dans la plus épaisse S2 les fibres de cellulose sont disposées quasiment verticalement.

Cette disposition optimise la résistance longitudinale en compression et traction et la souplesse en flexion. Cette couche est encadrée de deux couches S1 dans lesquelles les fibres de cellulose sont quasiment horizontales et « frettent » la couche S2. Dans la couche externe P les fibres ne présentent pas de direction préférentielle. Enfin, la couche intercellulaire M, essentiellement constituée de lignine, colle les cellules entre elles.

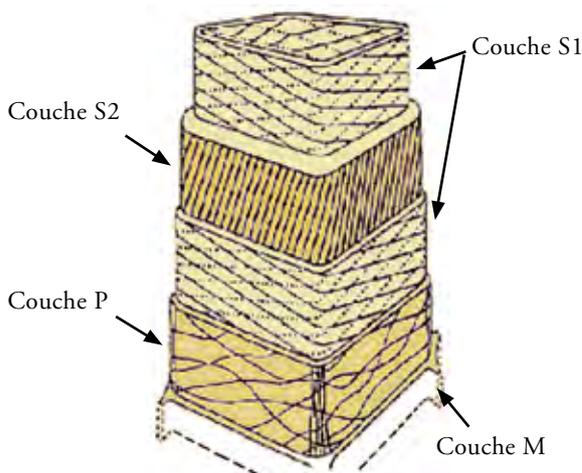


Figure 24 : modèle des couches de la paroi cellulaire des trachéides

2.3 - Propriétés physiques

2.3.1 - Le bois et l'eau

L'eau est aussi un des principaux constituants du bois. Dans l'arbre vivant, elle remplit tout le volume intérieur de la cellule (l'eau libre), elle imprègne les tissus de la paroi (l'eau liée) et elle constitue un des composants chimiques de la chaîne cellulosique, des hémicelluloses et de la lignine (l'eau de constitution).

Humidité du bois

Dans le bois coupé, les trois formes de présence d'eau subsistent :

- l'eau de constitution, qui fait partie intégrante du matériau ;
- l'eau liée, qui est fixée aux groupements hydroxyles de la cellulose ;
- l'eau libre, qui circule dans les vides cellulaires (vaisseaux ou trachéides notamment).

On définit l'humidité d'un bois comme le rapport de la masse d'eau à la masse sèche selon la relation suivante :

$$H = \frac{m_h - m_{\text{sec}}}{m_{\text{sec}}}$$
 avec m_h masse du bois humide

et m_{sec} masse du bois anhydre

Juste après l'abattage, le bois est vert, c'est à dire que son humidité est très élevée, soit 80 % en moyenne pour les feuillus.

Le séchage

Le séchage du bois est l'élimination progressive des différentes formes d'eau. Lors du séchage, l'eau libre s'évacue rapidement. Le bois est dit ressuyé à partir de 60 % d'humidité. L'humidité descend jusqu'environ 30 %, taux qui représente le point de saturation des fibres (PSF, voir figure 25). Jusqu'à cette étape, il n'y a aucune variation dimensionnelle sur le matériau.

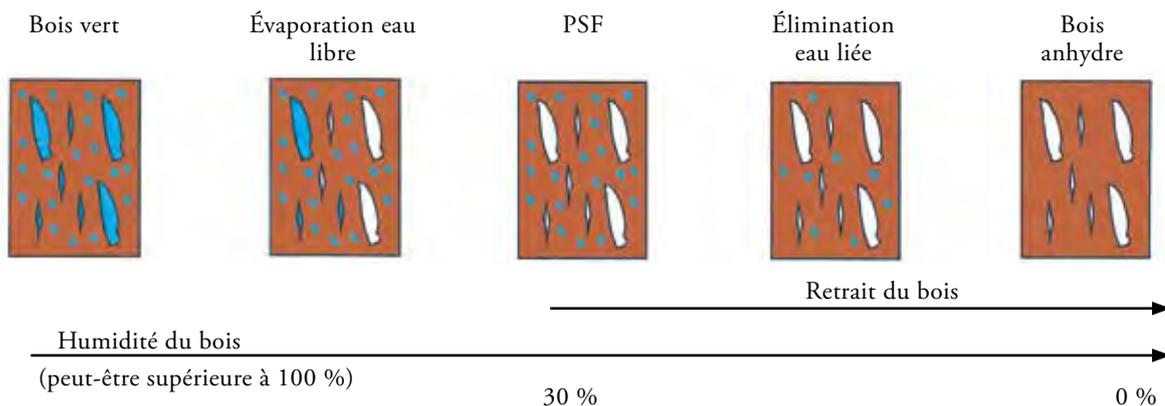


Figure 25 : les étapes du séchage

Humidité	Qualification
Au-delà du point de saturation des fibres	Vert
Du PSF à 23 %	Mi-sec
De 22 % à 18 %	Commercialement sec
De 13 à 18 %	Sec à l'air
En dessous de 13 %	Sec (ou desséché)
0 %	Anhydre

Tableau 1 : qualification du bois selon son humidité (NF B 51.002)

En poursuivant le séchage, une fois le volume intérieur de la cellule vidé de son eau « libre », l'eau liée est relâchée progressivement et le bois se rétracte (voir figure 15). Selon la norme NF B 51.002, le bois est dit commercialement sec pour une humidité de 22 % (voir tableau 1).

Il est à noter que les sections des bois sont données pour une humidité du bois à 20 %. Les sections de calcul suivant l'Eurocode 5 (humidité à 12 %) sont donc à réduire. D'après les normes, on adoptera pour une section brute $b \times h$ une section de calcul réduite selon les relations suivantes :

- $b_{12\%} = 0,98 b_{20\%}$
- $h_{12\%} = 0,98 h_{20\%}$

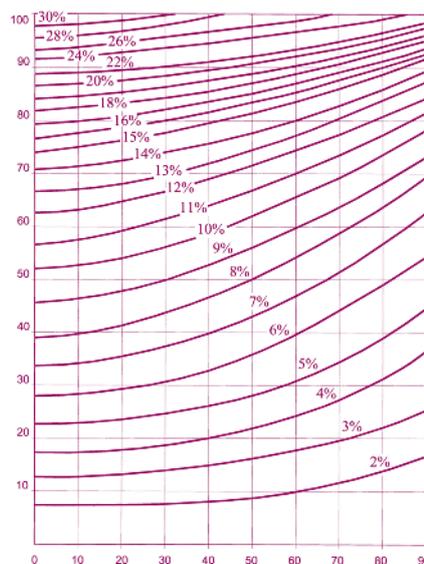
Dans le cas où la section et l'humidité du bois seraient garanties par le fournisseur, il conviendra d'adapter les sections de calcul.

Du fait de l'organisation cellulaire, les équilibres entre l'humidité de l'air et la cellulose sont lents à s'établir par séchage naturel (à l'air) ; quelques mois pour une planche de résineux, un an par centimètre d'épaisseur environ pour une planche de chêne. Dans les climats de l'Europe occidentale, les valeurs du taux d'humidité relative dépendent des conditions de stockage :

- en France, le taux d'humidité en surface d'un bois à l'extérieur et abrité se situe annuellement entre 10 % et 22 % selon les régions et les saisons (voir carte 3) ;
- 12 % pour un bois conservé dans un local bien ventilé, sans chauffage ;

- 5 à 7 % pour un bois conservé dans un bâtiment chauffé (meuble, parquet).

Cet équilibre est fonction de la température et de l'humidité relative de l'air. En ordonnée l'humidité relative extérieure est celle de l'air. Les courbes représentent les zones d'iso-humidité, c'est à dire d'humidités égales du bois.



en abscisse la température de l'air,
en ordonnée l'humidité relative extérieure,
en courbes l'humidité d'équilibre du bois.

Figure 26 : équilibre hygroscopique du bois en extérieur

Lors d'un séchage artificiel, le processus est accéléré et l'humidité peut être réduite pour atteindre l'humidité de service souhaitée.

L'organisation cellulaire explique qu'un bois stocké à l'extérieur reste globalement à un taux d'humidité inférieur à 20 % à condition bien-sûr de ne pas le tremper dans l'eau : au cours d'une pluie, seules les parois cellulaires extérieures de la pièce de bois se gonfleront d'eau. Le transfert de cette eau vers l'intérieur doit se faire ensuite par échange moléculaire, phénomène beaucoup plus lent que l'effet de séchage par évaporation après l'arrêt de la pluie. Ceci explique l'attention qui doit être portée aux dispositions constructives : pas de piège à eau (comme des rainures ou des mortaises tournées vers le haut), pas de pièces de bois en contact continu avec une surface étanche engendrant une rétention d'eau par capillarité.

Une autre caractéristique de ces échanges d'eau entre la cellulose et l'air doit être retenue :

- il s'agit d'une propriété permanente de la cellulose, que le bois soit sec depuis longtemps ou pas ;
- ces échanges ne sont pas totalement réversibles, ce qui induit une déformation de retrait.

Un retrait anisotrope

Le retrait, conséquence des équilibres hygroscopiques

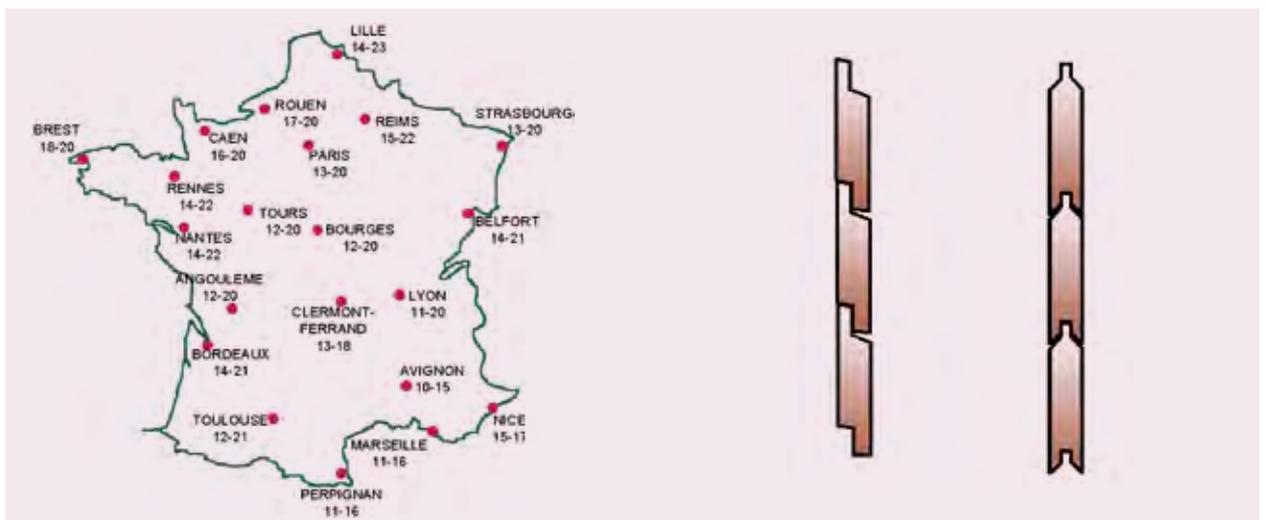
Lors des périodes de fort taux d'humidité, les parois de la cellule gonflent et le bois se dilate dans la direction radiale et tangentielle, très peu dans la direction longitudinale. Lors des périodes de baisse du taux d'humidité de l'air, les parois perdent une partie de leur eau liée et se racornissent un peu. Le bois se rétracte, surtout dans les directions radiales et tangentielles.

Au cours des alternances d'humidité et de séchage, les parois accumulent un retrait résiduel. Le phénomène se stabilise à condition que les taux extrêmes ne soient pas trop éloignés et que la pièce de bois reste dans un environnement stable. En revanche, dès que les conditions thermo-hygroscopiques sont modifiées, le phénomène de gonflement-retrait recommence.

Ce phénomène de retrait doit être considéré comme inexorable et, comme la dilatation thermique d'un acier, géré par les dispositions constructives. Il est inutile et dangereux de vouloir bloquer le retrait : il se fera de toute façon, éventuellement par fissuration dans la largeur d'une des planches, voire de toutes.

La réalisation des panneaux de grande largeur, comme les panneaux antibruit, par juxtaposition de planches parallèles doit donc prendre en compte ce phénomène par exemple en prévoyant un recouvrement suffisant dans les assemblages entre planches.

Les dessins de la figure 27 représentent des solutions utilisées pour gérer ce retrait en évitant l'apparition d'une fissure.



Carte 3 : équilibre hygroscopique du bois selon le CTBA

Figure 27 : solutions permettant le libre retrait du bois

Anisotropie du retrait

Le retrait occasionné par le départ de l'eau liée n'est pas isotrope. En effet, les fibrilles de cellulose sont majoritairement longitudinales, laissant leurs groupements hydroxyles dans le plan perpendiculaire à l'axe de la grume. C'est pourquoi le retrait dans le sens longitudinal est moindre (mais non nul).

Le retrait radial est quant à lui plus faible que le retrait tangentiel en raison de la présence des rayons ligneux. En moyenne, le retrait tangentiel est le double du retrait radial, lui-même 20 à 50 fois plus élevé que le retrait longitudinal.

Rétractabilité

Le retrait est proportionnel à la décroissance d'humidité : le coefficient liant les deux paramètres s'appelle la **rétractabilité** (coefficient r , voir figure 28).

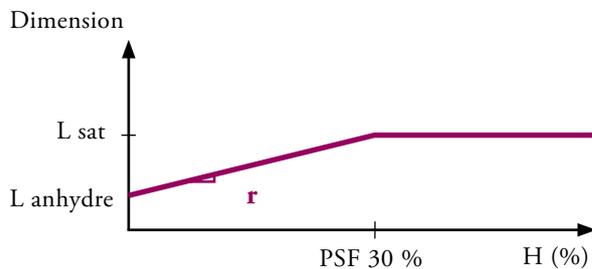


Figure 28 : retrait du bois

Chaque essence présente un retrait total et une rétractabilité spécifique pour chacune des trois directions. Le tableau 2 donne des valeurs de rétractabilité en % par % de variation d'humidité. Par exemple, une planche en chêne séchant de 20 % à 15 % perd 5 % d'humidité, induisant un retrait radial de 1 %.

Essence	Rétractabilité (% / %)	
	Radiale	Tangentielle
Azobé	0,31	0,40
Chêne	0,20	0,32
Douglas	0,17	0,27
Doussié	0,12	0,20
Epicéa	0,17	0,31
Iroko	0,16	0,27
Mélèze	0,17	0,30
Pin maritime	0,15	0,30
Pin sylvestre	0,17	0,31

Tableau 2 : coefficients de rétractabilité de quelques essences

La rétractabilité est un paramètre important, plus souvent pris en compte que le retrait total, en particulier dans les calculs de fluage.

Les conséquences du retrait

Le retrait et le gonflement du bois sont donc des phénomènes à ne pas oublier dans la conception des ouvrages. Les pièces pourront se déformer (c'est le travail du bois) et les assemblages pourront prendre du jeu. Ces phénomènes sont d'autant plus graves que l'humidité à la pose est très éloignée de l'humidité en service.

L'anisotropie du séchage a pour conséquence que les pièces débitées se déforment différemment selon leur origine par rapport à la grume initiale (figure 29, figure 30). Ainsi une planche de dosse (D) aura tendance à tiler, tandis que les planches de quartier (Q) se déformeront de façon plus uniforme. C'est pourquoi pour constituer de grands panneaux sans variations dimensionnelles anisotropes, il a été créé les panneaux composites : lattés, contreplaqués, panneaux de copeaux longs. En collant des couches de bois mince, soit croisées soit suffisamment désordonnées, les retraits-gonflements transversaux de chaque couche sont bloqués par l'absence de retraits-gonflements dans la direction longitudinale de la couche contre laquelle elle est collée.

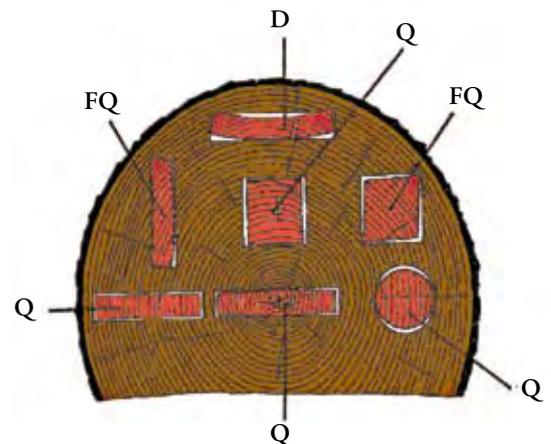


Figure 29 : déformations de séchage

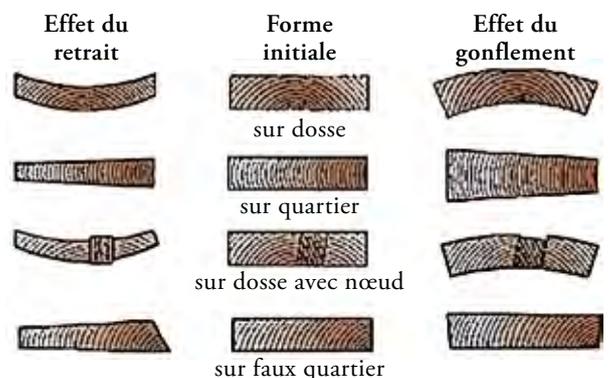


Figure 30 : déformations dues au retrait ou au gonflement

L'humidité de mise en œuvre

En conséquence des phénomènes de retrait et gonflement, le bois doit être mis en œuvre, pour éviter au maximum les risques de fendage, de telle sorte qu'il puisse reprendre de l'humidité. L'humidité de mise en œuvre et la saison de pose sont alors deux leviers possibles.

On peut retenir que l'humidité de mise en œuvre est l'humidité moyenne du bois en service moins un point. Si l'humidité moyenne en service est de 16 %, il convient donc alors de mettre le bois en œuvre à une humidité de 15 %.

Influence de l'eau sur les propriétés mécaniques

Lorsque l'humidité du bois varie, les propriétés mécaniques sont également modifiées. **Globalement, plus il y a d'eau dans le bois, plus les résistances mécaniques et les modules de déformation sont faibles.** Le module de déformation diminue en fonction de l'humidité du bois et de la contrainte sous charges permanentes.

Dès que l'humidité dépasse le point de saturation des fibres, les propriétés restent à peu près constantes, hormis la densité qui croît linéairement.

Le coefficient de l'Eurocode 5 qui prend en compte l'humidité du bois est le coefficient k_{mod} (k indice mod). La résistance du bois est à moduler par ce coefficient en fonction de la classe de service de l'ouvrage qui est directement liée à l'humidité du bois en service (classe 1 si l'humidité H est inférieure à 12 %, classe 2 si $H < 20$ %, et classe 3 dans les autres cas).

2.3.2 - Comportement vis-à-vis du feu

Il faut distinguer la réaction au feu (inflammabilité et combustibilité) de la stabilité au feu. La **réaction au feu** définit l'aptitude du matériau à s'enflammer et à propager un incendie, tandis que la **stabilité au feu** qualifie la capacité du matériau à conserver ses propriétés mécaniques durant un incendie.

Inflammabilité, réaction au feu

Tous les matériaux de construction sont classés vis-à-vis de leur **réaction au feu**, sur une échelle allant de M0 (incombustible) à M5 (combustible très facilement inflammable), comprenant le béton et l'acier.

Le bois est un matériau combustible, qui se décompose sous l'effet de la chaleur, classé M3 en général et M4 pour

des épaisseurs inférieures à 14 mm en feuillu et 18 mm en résineux.

Des traitements ignifugeants permettent d'atteindre un classement M1.

L'inflammabilité du bois se réduit avec la densité. Les bois exotiques, généralement plus denses, sont de ce fait mieux adaptés aux platelages de passerelles.

Ce classement est modifié par la norme européenne NF EN 13238 « Essais de réaction au feu des produits de construction. Mode opératoire du conditionnement et règles générales de sélection des substrats » qui définit sept euroclasses A1, A2, B, C, D, E, F.

Ce classement harmonise les essais au feu dans l'Union Européenne. Les euroclasses sont A1, qui correspond à un matériau tout à fait incombustible; A2, qui s'applique à l'ancienne classe M0 et à certains matériaux classés M1; B aux autres matériaux classés M1. L'euroclasse C correspond à M2.

Les euroclasses D, E et F correspondent aux matériaux de construction les plus inflammables anciennement classés M3 et M4, et donc aux bois.

La travée de l'ouvrage en photo 20 a été incendiée et a dû être reconstruite. Il est désormais strictement interdit de camper sous l'ouvrage et celui-ci doit faire l'objet d'une surveillance.

On évitera donc de construire des structures trop exposées au public, particulièrement en zone urbaine.

Stabilité au feu

Le bois est un matériau isolant, aussi la température très élevée en surface (1 000 °C) diminue rapidement avec l'épaisseur : la zone carbonisée est fine et protège le bois à l'intérieur. La température chute fortement dès que l'on pénètre dans le bois (figure 31). En moyenne, la vitesse de progression de la zone carbonisée est de 0,7 mm /min.



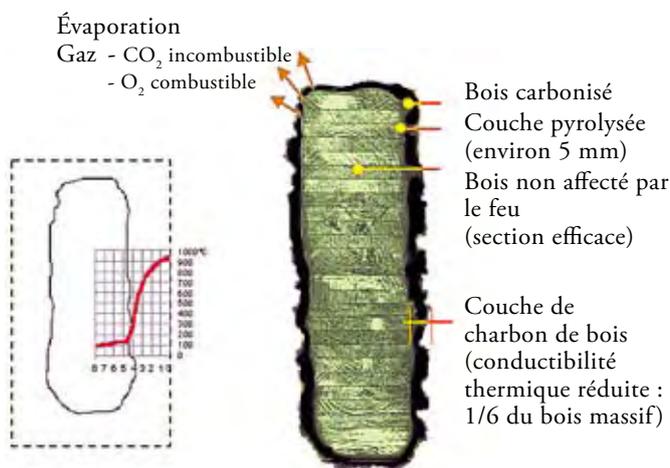
Photo 20 : travée d'about du pont sur l'Isar à Munich
Source : Jacques Berthelémy (Sétra)

Le bois conserve de bonnes caractéristiques mécaniques au feu, il subit uniquement une diminution de section correspondant à la zone carbonisée. Pour assurer la stabilité de l'ouvrage, il est possible de le dimensionner en conséquence en considérant le feu comme accidentel.

Vis-à-vis de la stabilité au feu, les éléments les plus faibles sont les assemblages réalisés à l'aide d'interfaces métalliques. Pour augmenter la stabilité, il faut préférer les assemblages avec élément métallique ancré profondément dans le bois.

Un acier inoxydable austénitique présente le double avantage d'offrir une meilleure durabilité vis-à-vis de la corrosion et de conserver des propriétés mécaniques suffisantes jusqu'à environ 1 000 °C.

Il est à noter que pour les ponts, la contrainte de la stabilité au feu est en fait moins forte que pour les bâtiments. En effet, la libre évacuation des fumées assure une bonne dissipation de la chaleur, ce qui a permis d'expliquer la bonne tenue au feu de certains ponts métalliques.



Vitesse de progression de la couche carbonisée : de l'ordre de 0,7 mm par minute

Figure 31 : carbonisation du bois

2.4 - Propriétés mécaniques du bois

2.4.1 - Les propriétés mécaniques

Le bois se distingue des autres matériaux de génie civil par son orthotropie manifeste qui augmente considérablement le nombre de caractéristiques mécaniques à prendre en compte.

Masse volumique

La masse volumique du bois est une grandeur variable d'une essence à une autre, d'un arbre à un autre dans la même forêt et même à l'intérieur du même arbre. En général la masse volumique est donnée pour une humidité moyenne de 15 %.

Sur l'ensemble des bois les masses volumiques peuvent varier de 100 kg/m³ à 1 300 kg/m³ environ. Cependant pour les bois d'œuvre les plus courants on pourra retenir les valeurs indicatives suivantes :

Essence	Masse volumique moyenne à 12 % d'humidité
Sapin, Epicéa	400 kg/m ³
Pin maritime, Pin sylvestre, Mélèze	450 kg/m ³
Chêne	650 kg/m ³
Châtaigner	650 kg/m ³
Iroko	700 kg/m ³
Bubinga	850 kg/m ³

Tableau 3 : densité des différentes essences de bois

Pour plus de précisions, on se reportera à la norme NF EN 338 : Bois de structures - Classes de résistances.

La connaissance du plan ligneux permet de comprendre que ces valeurs moyennes cachent une grande hétérogénéité à l'intérieur même du matériau :

- le bois d'été - bois final - est plus dense que le bois de printemps - bois initial ;
- la présence de nœuds augmente localement la densité ;
- pour les petites sections et pour les bois à très fort taux d'accroissement annuel (par exemple le Douglas) le ratio de bois de printemps et de bois d'été dans la pièce peut changer la résistance de la pièce et rendre un lot très hétérogène en résistance.

Il existe une très forte corrélation entre masse volumique moyenne et propriétés mécaniques. Le contrôle de la masse volumique d'un lot de bois est donc un outil important de contrôle de qualité.

Orthotropie

Le bois est un matériau **orthotrope**, ce qui signifie qu'il ne possède pas les mêmes propriétés suivant les 3 axes principaux. En d'autres termes :

- la matrice traduisant le comportement élastique linéaire met en jeu 9 coefficients indépendants : 3 modules d'élasticité E_R , E_T et E_L , trois modules de Poisson ν_{RT} , ν_{TL} et ν_{LR} et trois modules de cisaillement G_{RT} , G_{LR} et G_{TL} ;
- le comportement à la rupture se traduit par des valeurs différentes de résistance en compression et en traction et dans chaque direction d'orthotropie : σ_{RCR} , σ_{RCT} , σ_{RCL} , σ_{RTR} , σ_{RTT} , σ_{RTL} . De plus ces valeurs présentent une dispersion certaine liée à la multiplicité des modes de rupture, comme cela a été montré au chapitre 2.2.4. La relation entre les propriétés mécaniques et la masse volumique ont été établies malgré la dispersion inhérente au matériau.

Le repère cylindrique est le mieux adapté à la structure du bois, car il met en évidence les différentes coupes du bois (voir figure 32).

Dans la partie concernant l'anatomie du bois (chapitre 2.2), il est rappelé que les fibrilles de cellulose étaient majoritairement orientées dans le sens longitudinal (L), encore appelé axial. Ceci confère à cette direction privilégiée de meilleures propriétés que dans le plan transversal. Dans le sens radial (R), les propriétés sont améliorées par la présence de rayons ligneux.

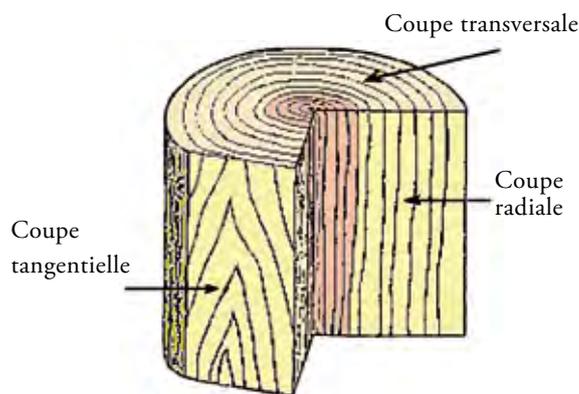


Figure 32 : différentes coupes du bois

En règle générale, les propriétés mécaniques s'ordonnent dans le sens suivant : $L \gg R > T$. Dans la pratique on parle uniquement de caractéristiques dans le sens axial et transversal.

Ainsi, la résistance à la compression axiale est environ 5 à 10 fois plus élevée que la résistance à la compression transversale. Pour la traction, le rapport est généralement compris entre 20 et 50. Il est donc nécessaire de prendre garde aux effets de la traction perpendiculaire à l'axe longitudinal dans le bois.

Essences	Résistance moyenne à la rupture en MPa				
	Compression		Traction		Flexion
	Axiale	Transversale	Axiale	Transversale	
Épicéa, Sapin	35 à 45	6 à 8	90 à 100	1,2	50 à 70
Pins, Douglas	40 à 50	7 à 8	100 à 120	1,8	80 à 90
Châtaignier, Hêtre, Iroko	40 à 60	12 à 15	100 à 120	3	75 à 130
Chêne, Doussié	50 à 80	18 à 20	120 à 150	4	100 à 170

Tableau 4 : exemples de résistances moyennes de quelques essences

Rhéologie du bois

Le bois est un matériau possédant des composantes élastiques, plastiques et visqueuses. L'aspect visqueux est traité dans la partie fluage.

Le comportement en compression ressemble à celui de l'acier : domaine élastique (jusqu'à la moitié de la charge de rupture environ) suivi d'un domaine élastoplastique. La plasticité en compression s'explique par le microflambement des fibrilles de cellulose.

En traction, la rupture est fragile, c'est-à-dire qu'il n'existe pas de domaine plastique.

En flexion et en compression, la rupture est ductile. Le comportement général du matériau est donc ductile, ce qui est adapté aux usages de génie civil.

Différents modes de ruptures sont présentés dans le chapitre 2.2.

Facteurs influençant les performances

La densité

La densité est un facteur très représentatif des performances mécaniques. Plus la densité augmente, plus les caractéristiques mécaniques du matériau sont bonnes.

Par exemple, pour l'épicéa, la résistance à la traction longitudinale augmente d'environ 2 % par % de densité.

L'humidité du bois

Comme il a déjà été dit au chapitre 2.3.1, l'humidité est un facteur influent : plus le bois est humide, plus les performances mécaniques sont faibles, et ce jusqu'à ce qu'on atteigne le point de saturation des fibres.

L'hétérogénéité

La masse volumique du bois est variable en fonction de sa porosité et de son humidité. Le matériau ligneux a une densité de 1,53.

En général, la masse volumique est donnée pour une humidité de 15 %. Ainsi, selon les essences, la masse volumique du bois varie entre 100 kg/m³ (balsa) et 1 300 kg/m³ (amourette).

Si la densité conditionne en partie les propriétés mécaniques du bois (augmentation de la matière ligneuse résistante avec la densité), le matériau bois est loin d'être homogène en densité pour plusieurs raisons :

- le bois final est plus dense que le bois initial ;
- la présence de nœuds augmente localement la densité ;
- le débit en section rectangulaire modifie la répartition de densité.

En outre la présence d'autres singularités, telles que les gerces, rendent le bois hétérogène.

La présence de nœuds affaiblit considérablement les propriétés de traction notamment. Par exemple, la résistance à la traction peut chuter de 50 % en présence de quelques nœuds.

2.4.2 - Amortissement dynamique

À propos de l'amortissement dynamique des structures en bois, il n'existe pas à l'heure actuelle beaucoup de données.

Globalement l'amortissement dynamique d'une structure en bois est au moins aussi bonne qu'une autre structure. Pour les hypothèses de calculs on se reportera à l'Eurocode 5, partie ponts (partie deux).

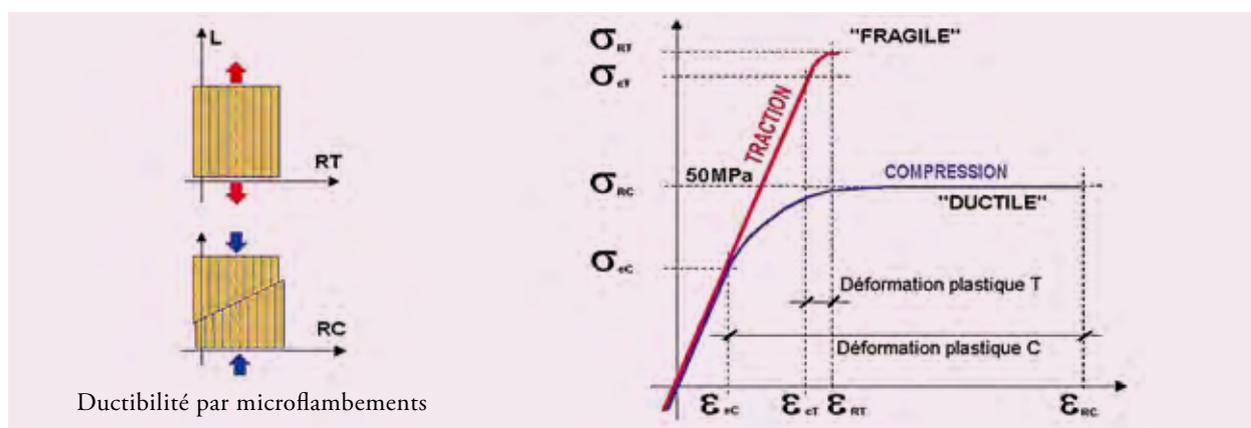


Figure 33 : lois typiques de comportement du bois

2.4.3 - Classement des bois massifs

Les méthodes

Les propriétés mécaniques du bois dépendent de l'essence, de la vitesse de croissance, de la présence de défauts et de singularités. Par conséquent, il existe plusieurs classes de résistance. Deux méthodes de classement sont possibles :

- le classement visuel, en observant les défauts, selon la norme NFB 52-001 ou la norme EN 518. Ce classement est assez subjectif, mais simple ;
- le classement par machines (norme EN 519), qui mesurent le module d'élasticité du bois (par flexion, vibration, ultrasons...). Les différentes valeurs de résistances sont déduites par corrélation.

Le classement par machine est très rare, utilisé uniquement dans les scieries nordiques à fort rendement.

Les classes de résistances (EN338) vont de C18 à C40 pour les résineux et de D30 à D70 pour les feuillus. Le nombre indiqué après la lettre représente la valeur caractéristique de la résistance en compression en MPa.

Cette valeur caractéristique ($f_{c,k}$) est établie, à des coefficients de pondérations près⁽¹⁾, pour que 95 % des contraintes de rupture mesurées lui soient supérieures. La figure 34 montre par exemple la distribution

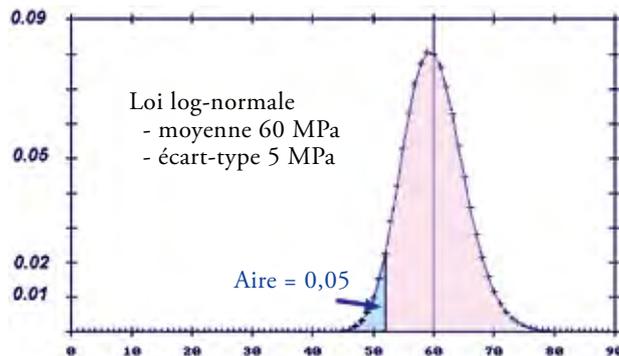


Figure 34 : exemple de distribution de la résistance en compression d'un bois. (contrainte en MPa en abscisse, densité de probabilité en ordonnée)

modélisée en loi log-normale des résistances à rupture en compression sur une population d'échantillon. Les 5 premiers pour-cents de la population sont colorés en bleu. Dans ce cas, la valeur caractéristique ($f_{c,0.05}$) vaut donc environ 52 MPa.

⁽¹⁾ Selon NF EN 384, $f_{c,k} = f_{c,0.05} \cdot k_s \cdot k_v$ où

- k_s dépend du nombre d'échantillon ($k_s \leq 1$)
- $k_v = 1$ pour le classement visuel et 1.12 pour le classement par machine.

Cette valeur caractéristique est employée dans la justification des structures au sens de l'Eurocode 5.

Quelques valeurs caractéristiques sont consignées dans les deux tableaux suivants :

Essence	Masse volumique moyenne à 12 % d'humidité	Classement mécanique aisément disponible en France
Sapin, Epicéa	400 kg/m ³	C18 - C24
Pin maritime, Pin sylvestre, Mélèze*	450 kg/m ³	C18 - C24
Chêne	650 kg/m ³	D30 - D40
Châtaigner	650 kg/m ³	D30
Iroko	700 kg/m ³	D40
Bubinga	850 kg/m ³	D60

Tableau 5 : classements usuels selon les essences (EN 338)

* Pour le mélèze, il est possible de trouver en Suisse et en Allemagne au moins du C30, voire même plus.

	C18	C24	C30	D40
Flexion	18	24	30	40
Traction axe	11	14	18	24
Traction transv.	0,5	0,5	0,6	0,6
Compression axe	18	21	23	26
Compression trans.	2,2	2,5	2,7	8,8
Cisaillement	2	2,5	3	3,8
Module long moyen	9 000	11 000	12 000	11 000
Module long caract.	6 000	7 400	8 000	9 400
Module cisaillement	560	690	750	700

Tableau 6 : valeurs caractéristiques des résistances et modules en MPa (EN 338)

Pour plus de précisions, on se reportera à la norme NF EN 338 : Bois de structures - Classes de résistances.

Le **module longitudinal** pris en compte dans les calculs est en général le **module moyen**, sauf pour les justifications vis-à-vis des instabilités (flambement, déversement) où c'est le **module caractéristique** qui est pris en compte.

Ce module caractéristique vaut environ 0,84 fois le module moyen pour les feuillus et environ 0,67 fois le module moyen pour les résineux.

On remarquera que les valeurs caractéristiques de compression axiale sont plus élevées que celles en traction axiale, bien que ce soit l'inverse pour les valeurs de rupture (voir tableau 4). Ceci s'explique par le fait que la rupture en compression est ductile contrairement à la rupture en traction qui est fragile. Des coefficients de sécurité sont donc déjà inclus dans ces valeurs.

Il est à noter que les valeurs sont données pour une humidité de 12 %. Au-delà, il faut corriger ces valeurs selon l'Eurocode 5.

Les singularités du bois

L'expression « singularités » du bois a été préférée à l'expression « défauts » du bois parce que, outre le caractère péjoratif, de nombreuses singularités sont exploitées pour leur caractère décoratif : la ronce de noyer et la loupe d'orme sont les cas les plus connus.

La liste des singularités du bois est très longue. Nous n'évoquerons ici que les plus courantes et qui ont une incidence sensible sur la qualité des bois d'œuvre et des ouvrages réalisés avec ces bois.

Les nœuds sont les plus courantes des singularités. Les nœuds correspondent aux branches qui ont poussé à partir du cœur de l'arbre, lorsqu'il était encore jeune. Chaque année, la couche de bois supplémentaire - le

cerne d'accroissement annuel - se forme en continuité sur le tronc et sur la branche. Il y a donc création d'une structure cellulaire de direction générale différente de celle du tronc, d'où la « singularité ». L'aspect du nœud apparaîtra différent selon que le plan de coupe est radial ou tangentiel (voir photos 21). De plus, si au cours de la vie de l'arbre, la branche se trouve cassée ou coupée, la continuité du cerne d'accroissement du tronc à la branche est interrompue. Le nœud correspondant à une branche vivante au moment de l'abattage de l'arbre est un nœud sain - en continuité avec le bois parfait. En revanche, les nœuds correspondant aux branches mortes sont dits nœuds morts, nœuds vicieux ou nœuds noirs du fait que la continuité des tissus n'est plus assurée et que le nœud a tendance à se détacher de la pièce de bois.

Les nœuds sont généralement rejetés pour les pièces d'aspect (meubles, certains bardages) mais sont inévitables en charpente. Leur présence affaiblit généralement la pièce de bois, si bien que leur présence et leur nombre est déterminant pour le classement visuel des bois.

Les poches de résine sont également une singularité des bois résineux. Elles ont comme seul inconvénient de rendre difficile la fixation de la finition du bois - lasure et surtout peinture.

Les gerces sont des fissurations entre cernes d'accroissement annuels dues au retrait de séchage ayant commencé sur une bille qui n'a pas été sciée assez rapidement.

Les roulures sont des défauts de même nature - séparation des cernes d'accroissement annuels - mais qui sont dues soit à une maladie de l'arbre sur pied soit à une blessure. C'est un refuge idéal pour les champignons et les insectes et qui fait perdre beaucoup de performances mécaniques à la pièce de bois.

Les gélivures sont des fentes longitudinales de l'écorce au cœur due à des épisodes de très grands froids. La fente ne se referme jamais totalement à l'intérieur du tronc et constitue une faiblesse dans les pièces de bois.



a, plan TL
(nœud sain
normal)



b, plan TL
(nœud mort
normal)



c, plan RL
(nœud sain scié
dans le plan radial)



d, plan RL
(nœud mort scié
dans le plan radial)

Photos 21 : différentes formes de nœuds – Source : CNDB

2.4.4 - Fluage

Comme le bois possède une composante visqueuse (fluage), les propriétés mécaniques et notamment le module d'élasticité sont fonction de plusieurs paramètres : durée d'application des charges, humidité de service (l'Eurocode 5 définit 3 classes), type de bois (massif ou reconstitué).

Par exemple un madrier de résineux (masse volumique égale à 500 kg/m^3 , de module d'élasticité égal à $11\,000 \text{ MPa}$, de section de $75 \times 225 \text{ mm}$ et de 5 mètres de longueur, posé à plat sur deux appuis (poutre isostatique dans le sens de la plus faible inertie) se déformera sous son poids propre. La flèche instantanée vaut $F_{\text{inst}} = 7,9 \text{ mm}$.

A long terme (plus de 10 ans), en considérant être en classe de service 2 (humidité inférieure à 20 %), le coefficient à appliquer est $k_{\text{def}} = 0,8$ pour du bois massif, soit $F_{\text{final}} = F_{\text{inst}} (1 + k_{\text{def}}) = 14,2 \text{ mm}$.

La flèche augmentera dans le temps pour passer de 8 mm environ à 14 mm , soit 6 mm d'augmentation.

Remarque

Pour le bois massif mis en œuvre à une humidité proche du point de saturation des fibres (soit près de 25 % pour du résineux ou de façon plus générale 5/6 du PSF), le coefficient de fluage k_{def} doit être augmenté de 1 (k_{def} bois humide = $k_{\text{defECS}} + 1$).

2.5 - Durabilité



Assurer la durabilité du bois c'est d'abord éviter l'humidité et en gérer les sources.

Le risque majeur d'altération du bois est la dégradation fongique qui conduit à la pourriture. Les insectes font encourir au bois un risque beaucoup plus modéré, surtout pour des ouvrages en extérieur.

2.5.1 - Les agresseurs

Le bois est un matériau organique (contenant du carbone) et donc une source de nourriture pour les espèces vivantes munies des enzymes nécessaires pour le digérer. Les prédateurs du bois sont certains champignons, insectes, mollusques et crustacés.

Les agresseurs présentés ici sont ceux couramment rencontrés en France métropolitaine. Dans les DOM TOM, quelques spécificités sont à prendre en compte, notamment concernant les termites.

Les champignons

Les champignons constituent un règne à part entière dans le monde vivant. Ils s'apparentent à des végétaux, mais ils ne sont pas autotrophes. Ils ont donc besoin d'une source extérieure de carbone pour se nourrir (par exemple le bois). Ils sont dits saprophytes lorsqu'ils se nourrissent aux dépens d'un organisme mort (comme le bois).

Une particularité des champignons est leur digestion, qui est extracellulaire. Ainsi, pour assurer une hydrolyse de la cellulose donnant du glucose, le champignon doit s'installer sur un substrat **humide**.

Le champignon est formé d'un appareil végétatif, appelé mycélium, et d'un appareil sporifère pour se reproduire. Les spores sont libérées dans l'air et donnent naissance à un nouveau mycélium au contact d'un milieu humide en présence d'oxygène. Dans l'air, il existe donc des millions de spores qui cherchent un milieu accueillant pour s'y installer. Si un bois présente les caractéristiques adéquates, il sera automatiquement et systématiquement envahi par des champignons.

Le développement des champignons n'est possible qu'avec une humidité du bois comprise entre 20 % et 80 %, donc pratiquement seulement lorsque le bois a été en présence d'eau liquide pendant une durée importante.

Parmi les champignons xylophages, on distingue les champignons lignicoles des champignons lignivores.

Les champignons lignicoles

Ces champignons se nourrissent exclusivement des réserves du bois, stockées principalement dans le parenchyme des aubiers (par exemple l'amidon).

Les désordres engendrés sont uniquement esthétiques et ne compromettent pas les performances mécaniques



Photo 22 : exemple de pourriture cubique – Source : CNDB

du bois (sauf la résistance au choc). Le bois devient bleu à gris dans le cas des champignons de bleuissement qui agissent en profondeur. La couleur peut être différente (blanc, noir, vert...) dans le cas de moisissures qui agissent superficiellement.

L'humidité du bois nécessaire au développement de ces champignons est supérieure à 30 %. Des traitements anti-bleuissement peuvent être appliqués en scierie où les risques sont importants.

Les champignons lignivores

Les lignivores se nourrissent du matériau ligneux même, et ils laissent apparaître une pourriture. Selon le composé dégradé, il s'agira de pourriture fibreuse, molle ou cubique. Dans tous les cas, ces champignons provoquent des dégâts considérables et une perte importante des caractéristiques mécaniques. Les différents modes de traitements sont exposés au chapitre 2.5.3.

La pourriture fibreuse blanche

Dans ce cas, les champignons se nourrissent à la fois de la lignine et de la cellulose. Le bois est alors de couleur blanchâtre et il est très léger. L'humidité du bois doit être au moins de 40 % pour que ces champignons puissent se développer.

Le champignon *Coriolus versicolor* est un exemple d'agent de pourriture fibreuse agissant en extérieur.

La pourriture cubique brune et la pourriture molle

Ces champignons dégradent la cellulose du bois, pour laisser apparente la lignine. Le bois possède alors une teinte brune et un aspect comme celui du bois brûlé (voir photo 12).

La pourriture molle se développe sur des bois très humides (optimum à 60 % d'humidité).



Photo 23 : capricorne adulte (échelle x 4 environ) – Source : CNDB

Un redoutable champignon de type « pourriture cubique » à l'intérieur des bâtiments (mais **absent en extérieur et a fortiori sur les OA**) est la **mérule**, qui se développe sur des bois à partir de 22 % d'humidité et à des températures comprises entre 7 et 26°C. Présente dans les lieux confinés et obscurs, elle est capable de se déplacer et de traverser des maçonneries en transportant l'eau qui lui est nécessaire.

A l'extérieur, le **lenzite des poutres** s'attaque particulièrement aux essences résineuses, de l'aubier au duramen.

Les insectes

Les coléoptères à larves xylophages

Les insectes adultes ne vivent que quelques semaines, le temps de se reproduire. Ils déposent leurs œufs dans les rugosités et les fentes du bois. Pendant la durée d'un cycle, la vie larvaire est la plus longue : elle peut varier selon les espèces d'environ 1 à 10 ans.

Après éclosion, les larves se nourrissent de la cellulose et de la lignine du bois environnant, c'est à dire l'aubier qui contient des sucres. Ces larves n'attaquent pas le duramen et rarement le bois parfait indifférencié.

Après plusieurs mues, le nouvel insecte adulte (qui n'est pas xylophage) sort du bois en laissant derrière lui une galerie.

Parmi ces insectes, on recense sur les résineux le capricorne des maisons (voir photos 23 et 24), le lyctus (sur les feuillus hormis leur duramen), la petite vrillette et la grosse vrillette (sur les zones pourries).

Pour lutter contre ces agresseurs, il existe des traitements avec trois types d'actions :

- ovicide : les œufs ne peuvent pas éclore (préventif) ;
- répulsive : la femelle ne dépose pas ses œufs (préventif) ;
- biocide par ingestion : empoisonnement de la larve (préventif et curatif).



Photo 24 : dégâts dus au capricorne – Source : CNDB

Les termites

En France métropolitaine, les deux seules espèces de termites souterrains sont les termites de Saintonge (*Reticulitermes santonensis*) et les termites lucifuges (*Reticulitermes lucifugus*). Ils craignent la lumière et ont besoin d'eau (présente dans le sol) et de chaleur pour se développer. En outre, autour du bassin méditerranéen, il existe des termites de bois sec, les *Kalotermes flavicollis*, qui se contentent de l'humidité du bois comme apport en eau.

Les termites (ordre des Isoptères) sont des insectes sociaux. Ils vivent en colonie, et peuvent être classés en plusieurs castes : les larves et les nymphes; les soldats; les sexués essaimant ou secondaires; les ouvriers.

Les ouvriers creusent le bois de l'intérieur par des galeries et se nourrissent de la cellulose contenue dans le bois : par trophallaxie, ils distribuent la nourriture aux autres membres de la colonie.

La propagation s'effectue soit par essaimage, soit par bouturage : des ouvriers trop éloignés des sexués subissent une mue spéciale pour devenir des sexués secondaires et fondent alors une nouvelle colonie.

Le bouturage est à l'origine de la propagation rapide des termites en France, notamment à cause du transport de terre, de bois, etc.

Pratiquement aucune essence de bois n'est épargnée par les termites (duramen compris), hormis quelques essences tropicales très denses.

Les moyens de lutte préventive consistent soit à créer une barrière chimique ou physico-chimique continue autour de l'ouvrage, soit à traiter le bois en profondeur avec un produit anti-termite.

En curatif, les traitements par barrière chimique sont envisageables. Il existe aussi des traitements par appât toxique : les termites ouvriers sont empoisonnés et contaminent toute la colonie (par trophallaxie).

Dans les DOM TOM, des espèces particulières de termites ont la capacité de vivre dans des nids arboricoles. Ceci complique les mesures curatives et préventives notamment en rendant caduques les barrières chimiques.

Les térébrants marins

Il s'agit de mollusques (comme les tarets) et de crustacés (dont le limnoria) qui creusent les bois en milieu marin. La plupart de ces térébrants trouvent leur nourriture directement dans le bois.

Seules quelques essences tropicales sont résistantes, comme le greenheart et l'angélique.

Le soleil et la pluie

Le soleil agresse le bois de deux façons :

- le rayonnement ultraviolet dégrade la lignine et érode légèrement la surface du bois. Dans le cas d'un bois sans finition, la teinte devient grise en surface (grisaillement) : ceci peut être dans certains cas inesthétique, mais ne conduit jamais à une diminution des performances mécaniques. La photo 16 montre que le bois est devenu gris sur les faces exposées à la pluie et au soleil, mais qu'il est resté brun sur la face non exposée ;
- le rayonnement infrarouge chauffe la surface du bois et modifie localement l'humidité du bois : ceci conduit à la formation de très petites fentes, qui peuvent devenir des pièges à eau et contribuer au développement de champignons.

La pluie quant à elle est responsable de l'apparition des champignons et provoque des variations dimensionnelles du bois.



Photo 25 : dégâts dus à des termites – Source : CTBA
Évidements intérieurs dans le sens longitudinal des fibres, présentant souvent un aspect feuilleté



Photo 26 : grisaillement du bois
Source : Vincent Barbier (CETE de l'Est - LRPC Nancy)

2.5.2 - Préservation

Principe général

Pour éviter les agressions précédemment citées, il faut choisir une essence et un traitement adaptés à la destination souhaitée. Les grands principes de la préservation sont de :

- concevoir l'ouvrage de manière à limiter les risques d'attaques biologiques ;
- utiliser la durabilité naturelle de l'essence retenue ;
- protéger le bois dans tout le volume dégradable.

Le but de la préservation est d'assurer une durée de vie admissible à toute partie de l'ouvrage. Concernant les ponts, l'Eurocode 5 fixe la durée de vie minimale à **100 ans** pour les parties non remplaçables, et à **25 ans** pour les éléments remplaçables.

L'organigramme de la figure 35 expose les différentes questions qu'il faut se poser lorsque l'on veut choisir une essence et un traitement de préservation. Les différentes étapes sont détaillées dans les chapitres suivants.

Sur le schéma de la figure 35, le chemin en vert est celui que nous recommandons pour assurer une bonne durabilité de l'ouvrage. Il peut conduire par exemple à l'utilisation de bois exotiques pour des garde-corps en contact avec le public.

Les cases rouges posent deux types de problèmes : pour la santé des ouvriers et du public d'une part et pour l'environnement en fin de vie de l'ouvrage d'autre part.

Ces questions sont traitées dans la Partie 3 : « Utilisation des produits de préservation chimique ». Le chemin en rouge n'est pas formellement interdit par la réglementation actuelle, mais doit être évité pour les platelages et garde-corps. Dans certaines situations exposées, il permet d'améliorer la durabilité des essences locales disponibles, en vue de constituer les charpentes qui ne sont pas directement en contact avec le public.

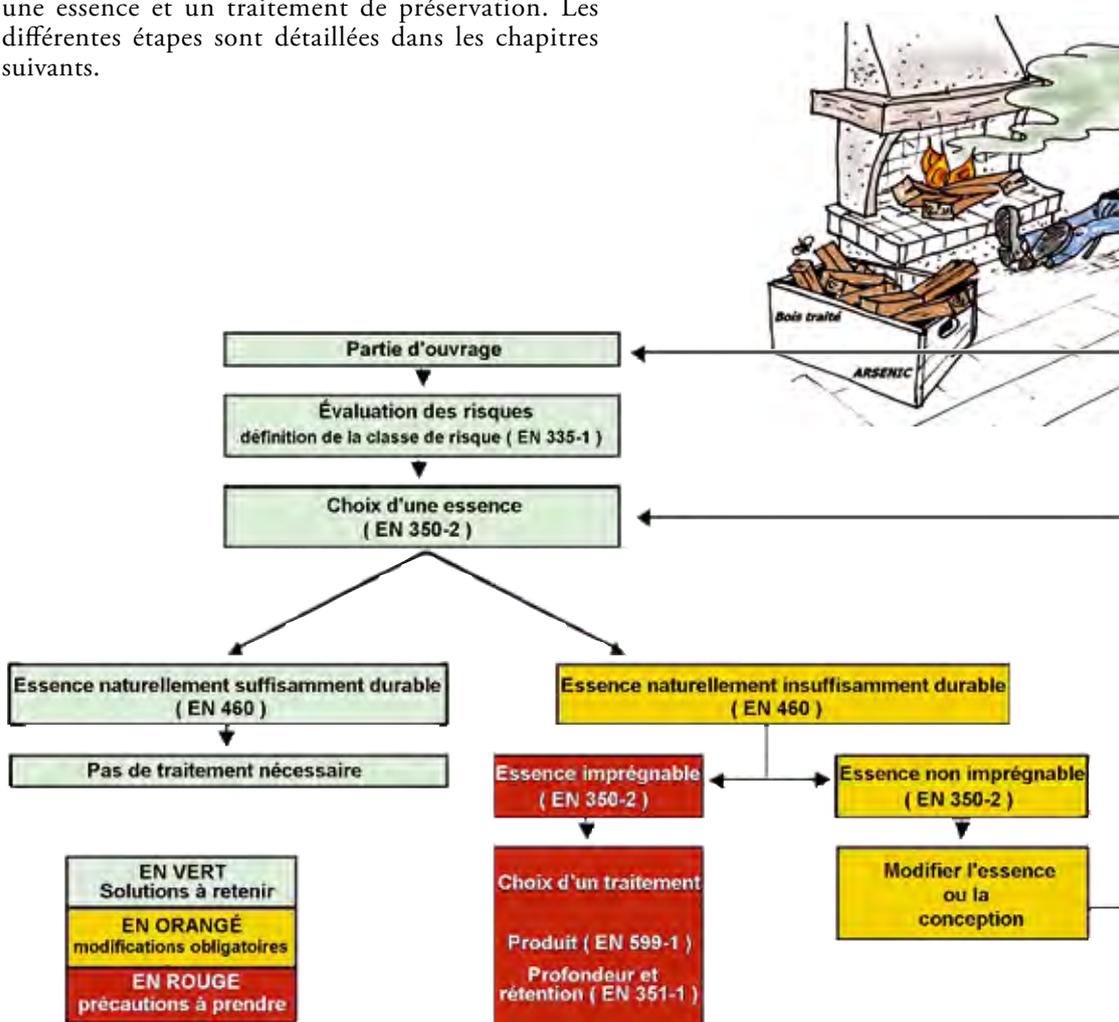


Figure 35 : les étapes du choix de la préservation

Classes d'emploi (norme EN 335)

Les risques d'attaques biologiques ne sont pas les mêmes selon les conditions d'utilisation du bois.

Cinq classes d'emploi permettent de caractériser l'environnement hydrique du bois en service.

Au sein d'un même ouvrage, les risques peuvent être différents suivant l'exposition des pièces aux intempéries. Chaque élément devra être classé selon le tableau 7.

La classe d'emploi conditionne ensuite le choix de l'essence et du traitement de préservation éventuel.

Pour les ponts et passerelles, on retiendra particulièrement les trois classes suivantes :

- classe d'emploi 2 pour les éléments abrités des intempéries (ponts couverts) ;
- classe d'emploi 3 pour les éléments verticaux et en pente qui permette une évacuation aisée de l'eau (bardage, bois exposés verticaux...) ;
- classe d'emploi 4 pour les éléments horizontaux favorisant la stagnation d'eau (platelage...) et les éléments en contact direct avec le sol.

Remarque

La classe d'emploi 3 est parfois séparée en deux : 3.1 faible exposition, 3.2 forte exposition

Durabilité naturelle selon les essences

Chaque essence possède des propriétés différentes, qui la rendent plus ou moins sensibles aux agressions biologiques. Par exemple, les essences de feuillus, dont les vaisseaux du duramen sont obstrués par des thylls, sont naturellement résistantes aux attaques fongiques.

La durabilité naturelle des essences est classée dans la norme EN 350 selon le type d'agression. Ces classements sont issus d'essais réels et d'essais de laboratoire (régis par les normes EN 252, 113, 46, 49-1, 20-1, 118 et 275).

La durabilité des duramens par rapport aux champignons comprend 5 classes s'échelonnant de la classe 1 (essence très durable) à la classe 5 (essence non durable). Tous les aubiers sont classés non durables.

Vis-à-vis des insectes à larve xylophage, les essences sont soit sensibles, soit durables. En outre, seuls les aubiers (S) et les bois parfaits non duraminisés (SH) sont sensibles. Les duramens sont classés durables.

Enfin, par rapport aux termites et aux tarets, une essence est soit durable (D), moyennement durable (M), ou non durable (S).

Classes	Situation en service	Exemples	Zone sensible	Risques biologiques
1	Bois sec, humidité toujours inférieure à 20 %	Menuiseries intérieures	2 mm de profondeur	- insectes - termites
2	Bois sec, dont l'humidité peut occasionnellement dépasser 20 %	Charpente	2 mm de profondeur	- insectes - termites - champignons de surface
3	Bois dont l'humidité est fréquemment supérieure à 20 %	Constructions extérieures verticales : bardages, fenêtres...	Toute la partie humidifiable de la zone non durable naturellement	- pourriture - insectes - termites
4	Bois dont l'humidité est toujours supérieure à 20 %	Bois extérieurs horizontaux (balcons...) et en contact avec le sol	Toute la zone non durable naturellement	- pourriture - insectes - termites
5	Bois en contact permanent avec l' eau de mer	Pontons, ...	Toute la zone non durable naturellement	- pourriture - insectes - térébrants marins

Tableau 7 : définition des classes d'emploi

Le tableau 8 donne des exemples de durabilité naturelle d'essences vis-à-vis de 3 agresseurs particuliers.

Essence	Champignons	Capricorne	Termites
Azobé	2	D	D
Chêne	2	D	M
Douglas	3	S	S
Doussié	1	D	D
Epicéa	4	SH	S
Iroko	1 à 2	D	D
Mélèze	3 à 4	S	S
Pins	3 à 4	S	S
Sapin	4	SH	S

Tableau 8 : durabilité naturelle de quelques essences

Durabilité naturelle et classe d'emploi

La durabilité naturelle est spécifique à une essence, alors que la classe d'emploi est liée à l'utilisation. On peut cependant relier ces deux paramètres : meilleure est la durabilité naturelle de l'essence, et plus large sera son domaine d'emploi.

La norme EN 460 relie la durabilité naturelle vis-à-vis des champignons et les classes d'emploi selon le tableau 9.

Classe d'emploi	Classe de durabilité				
	1	2	3	4	5
1					
2					
3					
4					
5					

Durabilité naturelle suffisante

Durabilité naturelle normalement suffisante, mais pour certains emplois un traitement de préservation peut être recommandé

La durabilité naturelle peut être suffisante, mais un traitement de préservation peut être nécessaire selon l'emploi final et selon la perméabilité de l'essence

Un traitement de préservation est recommandé, mais pour certains emplois la durabilité naturelle peut être suffisante

Traitement de préservation nécessaire

Tableau 9 : relation entre durabilité naturelle et classe d'emploi

Pour les essences très durables, le domaine d'emplois est très large, mais pour des essences moins durables, un traitement de préservation peut être nécessaire dans le cas de classes de risque élevées.

Quelques exemples :

- un traitement de préservation est nécessaire pour le hêtre, le sapin, l'épicéa et tous les aubiers dès la classe d'emploi 1 (risque d'attaques par les insectes) ;
- la durabilité naturelle des duramens du douglas et du mélèze peut être suffisante jusqu'à la classe d'emploi 3 ;

le duramen du chêne, de l'iroko, du doussié, du bilinga, de l'azobé peut être utilisable jusqu'en classe d'emploi 4 sans traitement de préservation.

L'imprégnabilité

Certaines essences nécessitent un traitement de préservation pour certaines utilisations. Cependant, toutes les essences ne sont pas aptes à recevoir un produit antifongique ou insecticide.

La facilité avec laquelle un bois peut être pénétré par un liquide s'appelle l'imprégnabilité. Elle qualifie l'aptitude d'une essence à absorber le traitement de préservation.

La norme EN 350-2 définit 4 classes d'imprégnabilité et donne les profondeurs de pénétration latérale associées :

Classe d'imprégnabilité	Appellation	Description
1	Imprégnable	Facile à traiter (pénétration complète)
2	Moyennement imprégnable	Assez facile à traiter (pénétration > 6 mm)
3	Peu imprégnable	Difficile à traiter (pénétration 3 à 6 mm)
4	Non imprégnable	Quasiment impossible à traiter

Tableau 10 : classes d'imprégnabilité

La profondeur de pénétration axiale est plus importante (5 à 10 cm), car le produit de préservation peut s'introduire dans les vaisseaux ou les trachéides.

Remarque

Une essence naturellement faiblement durable mais facile à traiter, comme le hêtre, peut être utilisée pour des expositions correspondant aux classes d'emploi 4 et 5. Par contre, une essence naturellement assez durable mais peu imprégnable, comme le douglas, ne pourra pas être utilisée dans ces mêmes conditions d'exposition.

2.5.3 - Les traitements de préservation

Les produits

Composition

Les produits de préservation contiennent :

- des matières actives (insecticide, fongicide) ;
- un solvant (pour véhiculer les matières actives) ;
- des fixateurs (pour fixer les matières actives sur le bois).

Les matières actives permettent de lutter contre un ou plusieurs types d'agresseurs. Il faut parfois associer plusieurs types de matières actives, par exemple le cuivre comme fongicide et l'arsenic comme insecticide, pour une efficacité admissible.

Le solvant peut être soit de l'eau (notamment utilisée pour dissoudre les sels minéraux), soit un produit pétrolier (tel que le white spirit).

Enfin, les fixateurs peuvent agir soit par réaction chimique (création de liaisons sur le bois, comme avec le chrome qui fixe le cuivre et l'arsenic), soit par collage (résines qui fixent les substances de synthèse).

Les grandes familles

Il existe trois grandes familles de produits :

- les produits hydrosolubles, comme le sel d'arsenic CCA décrit dans la Partie 3, « Utilisation des produits de préservation chimique » ;
- les produits de synthèse ;
- la créosote.

Ces types de produits et leurs impacts sur l'environnement et la santé sont détaillés dans la Partie 3 : « Utilisation des produits de préservation chimique ».

Mise en œuvre

Le trempage court

Le bois est immergé dans un bac rempli de produit. Par capillarité, le produit pénètre dans le bois.

Durant la première minute, une grande quantité de produit est absorbée, puis l'absorption ralentit : le produit s'homogénéise en pénétrant dans les zones les plus lentes à être imprégnées.

Le CTBA préconise une durée minimale de trois minutes, pour obtenir un traitement convenable.

Les produits utilisés pour ce procédé sont les produits utilisant des solvants pétroliers ou en émulsion. Le trempage court permet de traiter des bois exposés en classe d'emploi 1 ou 2.

Le badigeonnage et l'aspersion

Le badigeonnage et l'aspersion consistent à répandre un produit à la surface du bois, avec un pinceau ou par pulvérisation selon le mode.

Ces procédés ressemblent au trempage court, car les produits utilisés sont les mêmes, la migration est encore naturelle et le traitement est relativement superficiel.

Les résultats sont similaires sous réserve d'application correcte. Ces solutions sont plutôt à réserver comme solution de préservation à mettre en œuvre sur chantier ou pour des éléments de grande longueur (bois lamellé collé).

L'autoclave

Il existe plusieurs procédés en autoclave. L'objectif est de traiter en profondeur le bois, en remplissant jusqu'à refus les cellules par du produit de préservation, en général des sels métalliques (CCA, CCB, etc. produits de préservation chimiques décrits en Partie 3). Cette technique permet de préserver les bois les plus exposés.

Le procédé dit « vide pression » est le plus couramment utilisé. Le bois, préalablement séché à 25 % d'humidité maximum, est introduit dans une enceinte fermée (autoclave). Ensuite, le vide est réalisé pour chasser l'air occlus dans les cellules ligneuses (de 30 minutes à 1 heure au moins).

Le produit de préservation est alors introduit, puis une pression d'une dizaine de bars est appliquée, pour accélérer l'absorption. La durée de cette phase varie selon la performance souhaitée (de 30 minutes à 3 heures et plus).

Le produit est ensuite vidangé et un nouveau vide est appliqué pour rééquilibrer les pressions internes et évacuer l'excédent de produit contenu dans les couches superficielles.

Une variante est le procédé dit « double vide » dans lequel on remplace la phase de pression par un trempage à pression atmosphérique pour aspirer le produit. La pénétration est moins grande, mais les variations dimensionnelles sont plus limitées et autorisent l'emploi de produits pétroliers.

Exigences de pénétration et de rétention

Définitions

- **l'exigence de pénétration** désigne la profondeur minimale que doit atteindre le produit de préservation ;
- **l'exigence de rétention** est la quantité de produit de préservation prescrite dans la zone d'analyse. Elle est en général égale à la valeur critique ;

• la **valeur critique** définit la quantité minimale de produit de préservation nécessaire pour être efficace vis-à-vis d'une classe d'emploi. Cette valeur critique est variable selon le produit et selon la classe d'emploi envisagée.

Elle est donnée en kg/m³ pour les traitements en autoclave et en g/m² pour les traitements de surface.

Classification

La norme EN 351 définit 9 niveaux de pénétration, qui sont corrélés aux classes de risque. Seuls 6 niveaux sont réellement préconisés (voir tableau 11).

Le dosage du produit de préservation doit être adapté à la classe d'emploi. Par exemple pour des résineux, un traitement au sel CCA est dosé entre 5 et 8 kg/m³ de bois pour obtenir la valeur critique de la classe d'emploi 2 (niveau de rétention R2), et entre 15 et 20 kg/m³ pour obtenir la valeur critique de la classe 4 (niveau de rétention R4).

Essences réfractaires et imprégnables

Une distinction est faite entre les essences jugées imprégnables (aubier en classe d'imprégnabilité 1) et les essences réfractaires. Une essence réfractaire aux traitements bénéficie d'une meilleure durabilité, car l'humidification est plus difficile. Elle aura donc besoin d'être traitée moins profondément pour atteindre la même performance.

L'imprégnabilité caractérise la capacité à absorber un liquide assez rapidement (jusqu'à quelques heures) et détermine la zone protégeable. La zone à protéger peut en revanche être plus importante selon la classe d'emploi.

Classe de pénétration	Exigences de pénétration	Zone d'analyse vis-à-vis de la rétention
P1	Aucune	3 mm sous les faces latérales
P4	Au moins 6 mm en latéral dans l'aubier	6 mm en latéral dans l'aubier
P5	Au moins 6 mm en latéral et 50 mm en axial dans l'aubier	6 mm en latéral dans l'aubier
P7	Bois ronds seulement : au moins 20 mm dans l'aubier	20 mm dans l'aubier
P8	Tout l'aubier	Tout l'aubier
P9	Tout l'aubier et au moins 6 mm dans le bois parfait exposé	Tout l'aubier et 6 mm dans le bois parfait exposé

Tableau 11 : niveaux de pénétration

Si l'humidification est permanente (classe d'emploi 4), la zone humidifiée du bois sera profonde et pourra couvrir l'ensemble du volume du bois, mais la zone que l'on pourra traiter en quelques heures sera généralement plus restreinte.

Exigences selon les classes d'emploi

La norme NF B 50-105-3 propose des exigences minimales selon les classes de risque envisagées (voir tableau 12).

Pour la classe d'emploi 3, la sous classe 3.1 correspond aux faibles expositions pour de faibles sections, la sous classe 3.2 englobe le reste de la classe 3.

Remarque

Bien qu'aucune exigence ne figure à propos des duramens (sauf pour la classe d'emploi 5), ceux-ci ne doivent pas être usinés après traitements ou être naturellement suffisamment durables vis-à-vis de la classe d'emploi considérée. En outre des traces de produit de préservation doivent être retrouvées dans ces zones.

Garanties

Contrôle de conformité

Ce contrôle n'est pas obligatoire. Il peut être effectué à la demande du maître d'ouvrage par exemple par le CTBA.

Après traitement, des échantillons sont prélevés selon la norme EN 351-2.

La pénétration se vérifie généralement par l'utilisation de réactifs chimiques, tandis que le contrôle de rétention est effectué en laboratoire par analyse chimique (extraction des matières biocides).

Exigences de pénétration et de rétention	Exposition aux intempéries	Classe d'emploi
R1P1	Nulle	1
R2P1	Très faible ou temporaire	2
R3P4 ou P1	Faible	3.1
R3P8 ou P5	Forte	3.2
R4P8 ou P7	Forte	4
R5P9	Forte	5

Tableau 12 : exigences minimales

L'attestation de traitement préventif

Cette attestation n'est pas obligatoire, mais peut être exigée par le maître d'ouvrage.

Elle est délivrée par l'entreprise qui a effectué le traitement du bois. Pour être conforme aux normes EN 351-1 et NF B 50-105-3, la classe de rétention et la classe de pénétration doivent figurer, ainsi que le nom du produit et le procédé de traitement.

Les certifications du CTBA

Le CTBA gère deux certifications de qualité :

- CTB P+ pour les produits de préservation (d'après EN 599) ;
- CTB B+ pour les bois traités (d'après EN 351).

La certification CTB B+ sur les bois traités garantit un domaine d'emploi (sous la forme d'une classe d'emploi) : le niveau de pénétration et le niveau de rétention sont garantis, et l'attestation de traitement est fournie.

La certification CTB P+ précise les valeurs critiques des classes d'emploi accessibles ainsi que le mode de mise en œuvre.

La mention « toutes faces traitées » assure que les parties en bois parfait duraminisé contiennent des traces du produit de préservation.

2.5.4 - Les finitions

Le rôle d'une finition est de protéger le bois contre les reprises d'humidité et d'assurer une fonction esthétique. En particulier une finition permet à l'eau de s'évacuer plus rapidement en diminuant l'adhérence superficielle.

Parmi les produits courants, on distingue notamment les lasures, les vernis et les peintures, la créosote et les revêtements plastiques épais.

En aucun cas les finitions ne peuvent jouer le rôle de préservation, mais la protection conférée contre les reprises d'humidité permet de lutter indirectement contre les attaques fongiques.

Enfin, il faut être conscient que les finitions demandent un entretien conséquent et régulier.

Les lasures

Selon la norme NF T 36-001, une lasure est un « produit de protection et de décoration de la surface du bois, transparent, pigmenté ou non et qui permet d'exécuter facilement les travaux d'entretien ».

Ce sont des produits non filmogènes. Les lasures se dégradent par farinage (érosion), ce qui facilite la remise à nu nécessaire avant l'entretien. La remise en lasure consiste uniquement à nettoyer le subjectile et à passer une couche de lasure.

Les lasures peuvent être teintées ou non, et peuvent contenir des biocides contre le bleuissement en service.

Les lasures sont véhiculées soit en phase solvant, la polymérisation intervenant par oxydation, soit en phase aqueuse qui induit la formation de la finition par évaporation et coalescence.

Les lasures peuvent être d'imprégnation (utilisation en couche d'accrochage) ou de finition. Les lasures de finition ont une durée de vie variable selon les expositions, entre 4 et 6 ans.

Les teintes possibles sont incolores, claires (incolore à brun clair), intermédiaires (brun moyen à rouge) et foncées (brun foncé à noir).

Vernis et peinture

Le vernis est un produit transparent et filmogène qui se dégrade par écaillage. L'inconvénient d'une finition filmogène qui est imperméable est qu'une fois craquelée, l'eau réussit à pénétrer mais peut difficilement s'échapper.

L'utilisation du vernis est interdite en extérieur, car il se dégrade très rapidement au soleil.

La peinture est un vernis auquel sont ajoutés des pigments. La peinture a une certaine porosité, mais cette porosité diminue lorsque le nombre de couches augmente. Des peintures dites « micro poreuses » sont utilisées en extérieur pour permettre les échanges de vapeur. A contrario, les peintures brillantes (de type glycérophthalique) sont filmogènes, plus durables mais présentent des risques de rétention d'eau (comme le vernis).

L'écaillage de peinture et des vernis est la conséquence d'un affaiblissement de leur liaison avec le bois, dû à l'érosion superficielle du bois victime des rayonnements ultraviolets. Pour limiter cette action, les pigments foncés sont une solution, qui présente l'inconvénient d'échauffer le bois avec un risque de fissuration superficielle.

La durée de vie des peintures s'échelonne de 4 à 8 ans. La remise en peinture est cependant plus difficile que pour la lasure.

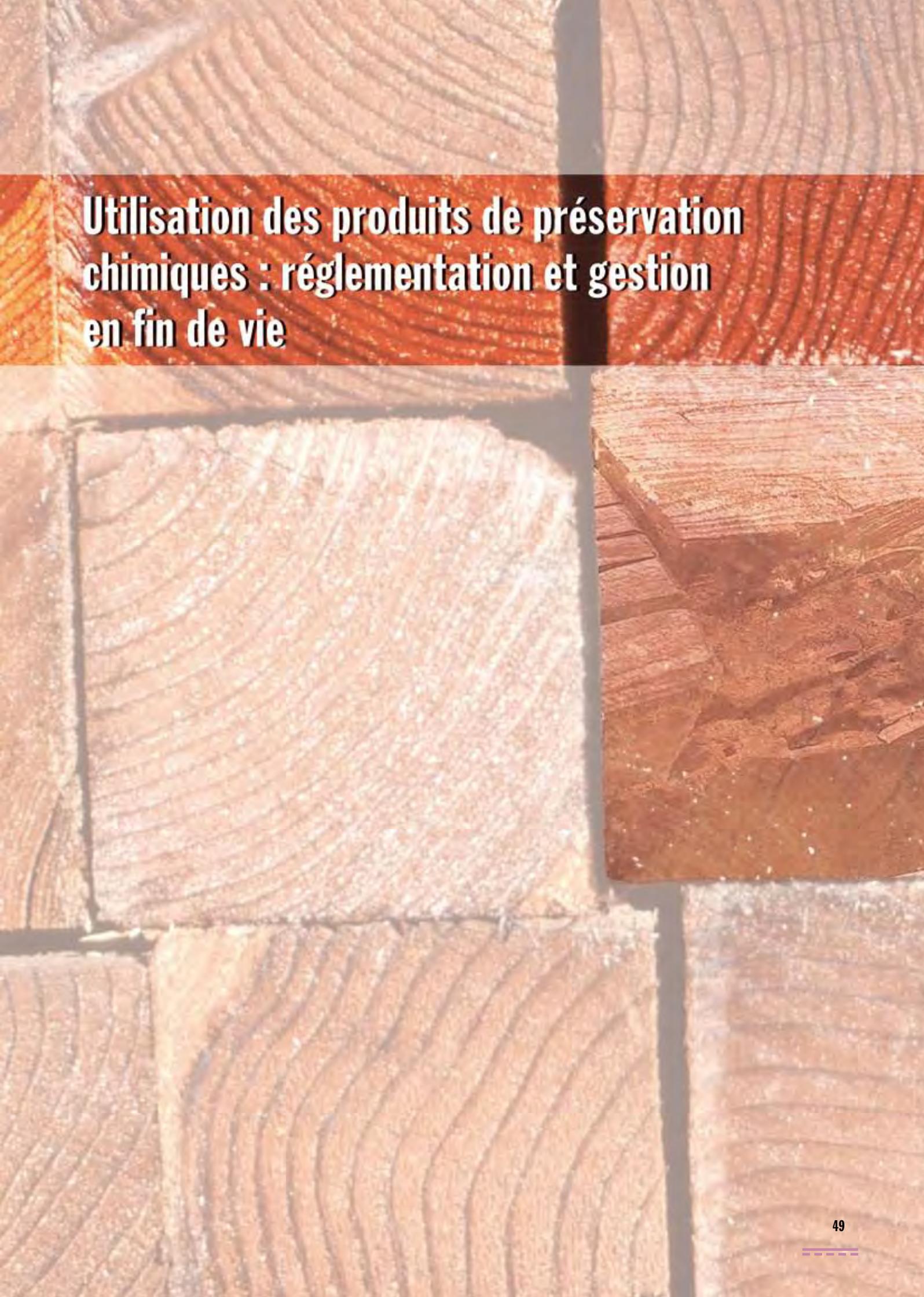
Les teintes possibles pour les peintures sont claires (blanc à jaune), intermédiaires (orange à bleu moyen) et foncées (bleu foncé à noir).

Autres finitions

La créosote issue de la distillation de la houille a largement été utilisée notamment pour les traverses de chemin de fer et les poteaux téléphoniques. Elle agit efficacement contre l'eau, mais ramollit sous température élevée. Son usage n'est plus autorisé (voir Partie 3 qui suit).

Les revêtements plastique épais (RPE) ressemblent aux peintures avec des charges (particules solides) et des pigments plus gros. Ils sont utilisés sur les façades de maisons à ossatures bois. Le DTU 31-2 préconise de les utiliser sur des éléments non structuraux.





**Utilisation des produits de préservation
chimiques : réglementation et gestion
en fin de vie**

La réalisation d'ouvrages d'art doit privilégier dans la mesure du possible le bois non traité, qui est évidemment un matériau sain vis-à-vis de la santé et de l'environnement dans le cas où il peut être mis en oeuvre. Mais le bois non traité est plus facile à utiliser en bâtiment sous abri qu'en ouvrages d'art. Soumis directement aux facteurs climatiques, comme la chaleur et l'humidité, le bois non traité n'a en effet qu'une durée de vie limitée en situation inadaptée.

Pour améliorer la durée de vie du matériau bois, la première démarche consiste donc à étudier les dispositions constructives pour éviter au maximum les risques : c'est la préservation « par la matière grise », obtenue grâce à la conception générale, et le choix de dispositions constructives de détails bien adaptées.

En substitut ou le plus souvent en complément de ces dispositions, la préservation chimique permet, grâce à l'adjonction de produits biocides d'éradiquer tous les agresseurs comme les champignons, les moisissures et les insectes qui se nourrissent du bois humide.

Cependant, cette toxicité génère des risques pour la santé humaine, et pour l'environnement.

Beaucoup de pays adoptent aujourd'hui des législations restrictives concernant l'utilisation des bois traités. Les directives européennes allant dans ce sens sont en cours de traduction dans la législation française, qui est actuellement en évolution.

3.1 - Respect des contraintes liées à la santé et à l'environnement

La préservation des bois utilise des traitements chimiques qui ont une action biocide sur les insectes et les champignons. Le dosage doit offrir un niveau efficace de toxicité pour ces organismes, mais est limité par des critères de sûreté (réglementations en terme de toxicité humaine et d'écotoxicité).

Certaines substances utilisées sont cancérigènes chez l'homme, en particulier l'arsenic, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) contenus dans la créosote, ce qui nécessite des précautions en atelier et sur chantier comme porter des gants lors de la mise en oeuvre ou des masques lors de l'usinage.

Vis-à-vis de l'environnement, le danger de pollution des sols et des nappes souterraines existe, en particulier au niveau des stations de traitement. Durant la durée de vie du bois traité, le délavage du produit est, en général, très limité.

En tout état de cause, ce guide met en garde le maître d'ouvrage contre l'utilisation de produits toxiques pour réaliser des parties d'ouvrages susceptibles d'être en contact fréquent avec la peau, notamment les garde-corps, et les platelages sur les ponts piétons. L'usage de produits toxiques doit être réservé, en dernier recours, aux pièces de charpente non accessibles au public soumis à une classe d'emploi 4 ou 5. Le CCA à base d'arsenic est interdit depuis septembre 2006.

3.2 - Les traitements de préservation pour la classe d'emploi 2

Ces traitements sont des insecticides mis en oeuvre superficiellement, avec généralement des produits de synthèse.

Pour ce genre de produits, il n'y a pas de risques majeurs de toxicité et d'écotoxicité. En outre, les bois ainsi traités ne sont généralement pas considérés comme des déchets dangereux.

Il convient toutefois de vérifier pour chaque traitement envisagé ces critères de toxicité, d'écotoxicité et de traitements de la fin de vie.

3.3 - Les traitements de préservation pour les classes d'emploi 3, 4 et 5

Ces traitements ne sont nécessaires que pour les essences non naturellement durables pour ces classes d'emploi.

Les grandes familles de produits utilisées en Europe et en France :

Les produits hydrosolubles

Le solvant est l'eau et le chrome est le fixateur des produits de préservation. Les matières actives sont des sels (souvent métalliques), utilisés seuls ou en associations. Les combinaisons les plus courantes sont :

- CCA : chrome, cuivre, arsenic ;
- CCB : chrome, cuivre, bore. Le bore n'est pas fixé par le chrome ;

- **CC** : chrome, cuivre. Cette combinaison ne contient pas d'insecticide ;
- **CCF** : chrome, cuivre, fluor. Le fluor est sensible à l'évaporation.

En France, le CCA était jusqu'à présent le plus utilisé. Il était déjà interdit en Autriche et en Suisse pour des raisons de toxicité. Le bore, moins toxique, est préféré. Cependant, ce sel résiste moins bien au délavage, ce qui peut poser d'autres problèmes d'écotoxicité locale.

Aujourd'hui, compte tenu des limitations d'emploi des bois traités CCA, interdits dans les utilisations domestiques notamment, des produits de substitution à base de composés du cuivre se développent pour les classes 3 et 4.

Enfin, comme traitement localisé, on peut placer du bore sous forme de bâtonnets, placés aux endroits sensibles (fort degré d'humidité et risque d'attaque fongique).

Les produits de synthèse

Les matières actives sont des substances de synthèse et la fixation est réalisée par des résines. Le solvant peut être de type pétrolier (cas des produits organiques) ou de l'eau (cas des émulsions).

- **PCP** : pentachlorophénols, cadmium et composés (fongicide, bois en extérieur, avec couverture de vernis) : ce produit n'est plus du tout utilisé en France depuis plus de 10 ans ;
- **la créosote** : la créosote ne possède pas de solvant. Les matières actives sont un ensemble d'une centaine de molécules obtenues par distillation de la houille. La créosote a été largement utilisée pour le traitement des traverses de chemins de fer et des poteaux téléphoniques. L'utilisation est déjà interdite pour certains usages (comme les aires de jeux) à cause de son degré de toxicité élevé en cas de contact très fréquent.

3.4 - Réglementation applicable aux bois traités, concernant la mise en œuvre de produits toxiques

3.4.1 - Contexte réglementaire général

La Directive 76/769 modifiée fournit la liste des produits interdits à la vente au grand public en raison

de leur caractère cancérigène. Cette liste intègre des substances utilisées en France pour le traitement du bois tels que le CCA (chrome et arsenic) ou la créosote.

Depuis, des textes communautaires et français sont venus compléter les conditions d'utilisation, voire leur interdiction, des produits toxiques pour la préservation du bois (Voir le tableau récapitulatif des textes réglementaires en annexe 6.3 : « Réglementation européenne et française : santé, environnement et directive biocides »).

La Directive 98/8 du 16/02/1998, communément appelée « Directive Biocides », a pour objectif de garantir un niveau de protection élevé de l'homme, et de l'environnement, vis à vis des produits biocides et d'harmoniser le marché européen de ces produits, jusqu'alors très disparate. Le principe, calqué sur la directive 91/414/CE relative aux produits phytopharmaceutiques établit qu'un produit biocide ne peut être mis sur le marché s'il n'a été préalablement autorisé. Une liste communautaire de substances actives dont l'inclusion dans les produits biocides est admise est en cours d'établissement suivant un programme d'évaluation toxicologie et éco-toxicologique des substances existantes (voir procédure en annexe 6.2. - Procédure de classement des substances autorisées). Le but est de savoir si une substance toxique contenu dans le bois à un certain dosage présente un risque pour la santé humaine par contact cutané, ou pour l'environnement (lixiviation et pollution des nappes souterraines). Une des conditions de l'autorisation d'un produit est que la ou les substances actives qu'il contient soit inscrite à l'annexe I, IA ou IB de la directive 98/8/CE.

3.4.2 - Situation réglementaire des traitements chimiques classiques

Les sels d'arsenic (CCA)

Le CCA est un agent de préservation du bois utilisé principalement pour les éléments destinés à des installations extérieures, comme le bois d'œuvre, les poutres de construction, les poteaux électriques, les pilotis de marine, les murs anti-bruits, les clôtures. Le CCA est un mélange de cuivre, de chrome et d'arsenic, chaque composant ayant son utilité : le chrome (34 % dans une préparation) est l'agent de fixation, le cuivre (13 % dans une préparation) est le fongicide, l'arsenic (25 % dans une préparation) est l'insecticide. L'eau (28 % dans une préparation) assure l'étalement de la préparation.

Ces bois présentent habituellement une légère couleur verdâtre en raison de la teneur en cuivre du produit.

Jusqu'en 2002 l'arsenic (CCA : cuivre-chrome-arsenic)

introduit sous pression était le traitement le plus utilisé en France contre les champignons et les insectes afin de prévenir la pourriture du bois.

En France l'usage de substances telles que le CCA est réglementé (**Décret n° 92-1074 du 2 octobre 1992**), et des dérogations concernant l'utilisation du bois ont été permises pour les ponts et autres d'ouvrages d'art. En Suisse et en Autriche, le CCA est interdit en raison du caractère cancérigène de l'arsenic et du chrome.

La Commission européenne a adopté une directive interdisant, au plus tard le 30 juin 2004, l'emploi de l'arsenic dans le traitement du bois destiné à certains usages. Les substances contenues dans le CCA apparaissent dans la **liste des substances notifiées** à évaluer en vue de leur inscription dans l'annexe I de la Directive Biocide 98/8 du 16/02/1998 (**liste des substances autorisées à la vente et à l'emploi après 2005**).

Deux horizons se profilent donc en 2006 pour les composés toxiques CCA, CCB et CCF :

- soit ils sont retirés du marché en 2006 suite à l'évaluation des risques réalisée entre mars 2004 et 2005 ; c'est le cas du CCA qui n'est pas défendu ;
- soit ils bénéficient d'une autorisation de mise sur le marché et d'utilisation, valable pour 10 ans (2015). Auquel cas, ils seront inscrits à l'annexe I de la « Directive Biocides ».

On se reportera pour plus de détails en Partie 4 au chapitre en 4.4.4 : « Bois en classes d'emploi 4 et 5 ».

Le pentachlorophénol (PCP)

Le bois traité au PCP est généralement rouge foncé à brun en raison du solvant à base d'huile qui sert de vecteur.

Depuis le décret 94/647 du 27 juillet 1994, les utilisations autorisées concernent les bois de charpente ou d'ossature, à la condition qu'ils soient recouverts d'une couche (type vernis) s'ils sont devenus apparents dans les locaux habités ou recevant du public. En pratique, au regard des contraintes techniques liés à l'impossibilité de mise en peinture, le traitement au CCA a été préféré à celui du PCP.

Le projet de règlement 2003 lié à la « Directive Biocides » place le PCP comme produit à retirer du marché d'ici 2006, ce qui est déjà le cas dans les faits, puisque ce produit n'est plus utilisé en France depuis plus de 10 ans.

La créosote

La créosote est un mélange complexe qui comprend plus de cent composés chimiques, principalement des

hydrocarbures aromatiques polycycliques, ainsi que des composés phénoliques et aromatiques azotés et sulfurés.

Les principales propriétés de la créosote sont :

- une action fongicide d'une grande efficacité ;
- une action insecticide d'une grande efficacité ;
- une persistance à long terme ;
- une résistance au lessivage et à la décomposition par intempéries.

Ce produit est un excellent agent de préservation mais comporte également des inconvénients du point de vue toxicologique (substances cancérigènes) et du point de vue pratique. Ce traitement n'est pas employé pour des structures qui doivent être peintes. Les bois traités à la créosote émettent un exsudat huileux brun foncé à noir susceptible de suinter dans l'environnement et de permettre une mise en contact avec l'organisme humain.

En France, un arrêté du 07/08/1997 du Ministère de la Santé limite l'emploi des distillats de goudrons et créosote pour certaines utilisations. La Directive 2001/90 du 26/10/2001 reprend ces éléments et interdit notamment l'utilisation de bois traité à la créosote dans les terrains de jeux, parcs, jardins et mobilier urbain en raison des risques sanitaires lié à un contact cutané.

Dans le cadre de la « Directive Biocides », la créosote apparaît dans la **liste des substances notifiées** à évaluer en vue de leur inscription dans l'annexe I (annexe comportant la **liste des substances autorisées à la vente et à l'emploi post 2005**).

En théorie deux horizons se profilent début 2005 donc pour la créosote :

- soit elle est retirée du marché en 2006 suite à l'évaluation des risques réalisée entre mars 2004 et 2005 ;
- soit elle bénéficie d'une autorisation de mise sur le marché et d'utilisation, valable pour 10 ans (2015). Auquel cas, la créosote sera inscrite à l'annexe I de la « Directive Biocides ».

L'emploi de la créosote est à éviter et son interdiction pour tous usages conformément aux directives européennes est imminente.

3.4.3 - Des traitements alternatifs

Les bois traités à haute température

Pour les éléments non structuraux de faible épaisseur (inférieure à 40 mm environ comme pour le bardage), on peut, sans recours à un traitement chimique, améliorer la durabilité naturelle par un traitement à

haute température : il s'agit de chauffer le bois entre 230° et 250°C pendant quelques heures. Ceci permet des réactions chimiques, notamment au niveau des groupements hydroxyles.

Les caractéristiques mécaniques du bois diminuent, mais le bois devient plus stable dimensionnellement et résiste mieux aux agressions biologiques (à l'exception des termites).

Ce genre de traitement est en cours de développement et les bois traités à haute température ne sont pas encore disponibles en grande quantité. Pour l'instant, on ne peut pas envisager d'utiliser de tels bois en structure. Pour les passerelles, le traitement à haute température peut être utilisé pour les bardages et les mains courantes par exemple.

Les substituts au CCA

Il existe actuellement sur le marché des produits de substitut au CCA dans le cadre du traitement du bois en vue de lui conférer une durabilité importante. Ces produits sont basés sur une forte concentration en cuivre avec quelques additifs comme l'acide borique. La toxicité de ces produits est beaucoup plus faible que celle du CCA. Ils sont classés comme non-dangereux vis-à-vis du décret 2002-540. Certains additifs en quantité très restreinte (inférieure à 1 % en général), comme le tebuconazole ou le propiconazole sont cependant classés comme nocifs par ingestion.

L'efficacité fongique et insecticide de ce type de traitement est reconnue, puisque certains de ces produits sont certifiés CTB P+ par le CTBA pour les classes d'emploi 3 et 4.

Remarque

Les produits de traitement de bois, de type pétrolier, pour les classes d'emploi 1 à 3 sont également peu toxiques.

3.5 - Réglementation concernant les déchets de bois traité

3.5.1 - Démolition des ouvrages anciens

Ce chapitre concerne les ouvrages existant arrivant en fin de vie, qui ont pu être traités avec des produits aujourd'hui désuets ou interdits.

La fin de vie d'un ouvrage en bois implique la gestion des bois de construction qui deviennent des déchets (Loi du 15 juillet 1975 relative à l'élimination des déchets

et à la récupération des matériaux, modifiée par les lois du 13 juillet 1992 et du 02 février 1995).

L'élimination des déchets produits par la démolition de l'ouvrage est de la responsabilité du Maître d'ouvrage. Il doit caractériser au préalable les déchets que va prendre en charge l'entreprise d'élimination des déchets et doit conserver les preuves que les déchets ont été éliminés conformément à la réglementation. Les bois traités au CCA ou à la créosote peuvent être considérés comme DIS dangereux (Déchets Industriels Spéciaux), et le maître d'ouvrage doit donc produire un bordereau de suivi des déchets industriels (BSDI). Les bordereaux ne sont pas obligatoires pour les bois non traités ou considérés comme non dangereux.

Il est à noter que certains produits comme le lindane ou l'aldrine autrefois utilisés sont aujourd'hui interdits par décret (92-1074 pour l'aldrine). L'utilisation des pentachlorophénol (décret 94-647), de la créosote (directive européenne CEE 94-60) et des produits contenant de l'arsenic (directive 2003/2/CE) est limitée.

3.5.2 - Les déchets de bois traité : classification et nomenclature

La classification des déchets n'est pas une liste exhaustive mais évolutive. Le Décret n° 2002-540 du 18 avril 2002 établit une liste unique de déchets dangereux et non dangereux conformément à la directive européenne et **conserve la notion de Déchets Industriels spéciaux (DIS)**, inscrite par ailleurs dans le code de l'environnement.

La notion de DIS est une notion purement française qui permet d'assurer une continuité des textes. En effet, le code de l'environnement et certains textes nationaux y font référence, tels que les textes relatifs à la planification de la gestion des déchets (plans régionaux d'élimination des déchets industriels spéciaux, à la taxe généralisée sur les activités polluantes (TGAP) etc.

Les DIS sont définis à l'article 2 du décret comme étant les déchets dangereux autres que les déchets d'emballage municipaux. La classification des déchets de bois est fournie en annexe 6.5 : « Procédure de classement des déchets ».

Le bois traité au CCA ou à la créosote : un déchet classé dangereux

Quelle qu'en soit l'origine, le bois traité CCA ou créosote peut être considéré comme un Déchet Industriel Spécial (astérisque correspondant aux déchets dangereux), en raison de la toxicité des produits. Les déchets issus de bois traités à haute température ou traités avec des produits à toxicité plus faible pourront être classés comme non dangereux.

Les substances dangereuses sont principalement la créosote, le chrome, l'arsenic si elles sont présentes dans une certaine proportion : plus de 0,1 % de substances cancérigènes, plus de 3 % de substances toxiques. Ainsi le traitement CCA pour obtenir une classe d'emploi 4 est dosé généralement à 15 kg/m³, soit pour du résineux 3 % en masse (ce qui classe ce bois traité en déchets dangereux).

À titre indicatif, un déchet est classé dangereux s'il comporte notamment plus de 0,05 mg/litre d'arsenic, plus de 0,5 mg de cuivre ou de chrome. Ces seuils ont conduit à une reclassification de certains déchets de bois lorsqu'ils sont traités au CCA et aux créosotes ou s'ils contiennent des biocides dans une certaine proportion (voir annexes 6.5 et 6.6).

Ainsi, l'utilisation du CCA dans le traitement du bois a aussi été remise en cause parce qu'il contient de l'arsenic et du chrome, deux substances qui en doses suffisantes peuvent induire le classement des bois traités au CCA en déchets dangereux (DIS).

3.5.3 - Filières de traitement des déchets

Le bois est une matière organique potentiellement biodégradable et un matériau combustible.

Les déchets de bois non traité pourraient naturellement faire l'objet de :

- valorisation par réemploi, soit par recyclage dans la filière bois (par exemple en panneaux après broyage) soit encore par compostage avec d'autres végétaux en vue d'une valorisation agronomique ;
- valorisation énergétique comme combustible dans des chaufferies au bois.

La problématique est toute différente pour ce qui est des bois traités.

La plupart des bois traités contiennent des biocides présentant des risques de toxicité pour l'environnement et pour l'homme.

Nota

Il n'y a pas de bois traité au PCP dans le génie civil. Les bois des constructions anciennes peuvent contenir du plomb, du cadmium (anciennes peintures) voire même dans certains cas du mercure (traitements très anciens et exceptionnels).

Les bois de fabrication récente peuvent être traités au CCA et contenir de l'arsenic, soit de la créosote et présenter des risques de dégagement de composés aromatiques polycycliques.

La solution à préférer pour la fin de vie du bois traité est l'incinération dans un centre spécialisé équipé pour capter les flux gazeux. L'incinération des déchets est réglementée (voir annexe 6.8 : « Réglementation relative aux déchets »).

Il convient aussi de garder à l'esprit que le classement en « déchets dangereux » n'exclut pas complètement la réutilisation de ces déchets. Ils demeurent potentiellement réutilisables pour des usages similaires ou proches. Par exemple, certains poteaux télégraphiques ont été longtemps réutilisés pour les parcs agricoles (piquets) ou les tuteurs de vigne. Mais cette pratique cesse compte tenu de la directive biocide qui concerne l'arsenic.

Les résidus traités au CCA ne doivent pas être brûlés sans précaution, les fumées étant hautement toxiques, ni être réduits en sciure en vue de compostage, afin d'éviter que les produits chimiques du produit de préservation ne se dispersent dans l'environnement ou s'immiscent dans la chaîne alimentaire.

Les déchets de bois qui sont susceptibles de contenir des composés organiques halogénés ou des métaux lourds à la suite d'un traitement avec des conservateurs doivent être traités dans des installations spécialisées pour l'incinération de déchets dangereux (DIS).

Le stockage des déchets est réglementé tant au niveau communautaire que national.

Au niveau communautaire

La directive du conseil du 26 avril 1999 concernant la mise en décharge des déchets, vise à mettre en place des normes sévères pour la mise en décharge et à encourager la valorisation.

Au niveau national

Les installations de stockage souterrain sont soumises au titre III bis de la loi de 75.

Les règles particulières aux déchets visés par les centres d'enfouissement technique (CET) de classe I, les DIS :

L'arrêté ministériel du 30 décembre 2002 relatif au stockage de déchets dangereux, contient les prescriptions techniques relatives aux installations nouvelles et existantes de stockage de déchets industriels spéciaux « ultimes et stabilisés ».

Ce texte pose :

- une interdiction de déposer ces déchets dans des installations de stockage recevant d'autres catégories de déchets (art.2-1 de la loi du 15 juillet 1975) ;
- une condition impérative d'admission des déchets sur un site de stockage : le certificat d'acceptation préalable ;
- un échantillon du déchet est envoyé au centre de stockage pour analyse qui délivre au producteur ou détenteur de déchets le certificat d'acceptation préalable.

Les plans régionaux d'élimination des déchets spéciaux, réalisés sous le contrôle du préfet en vertu de la loi du 13 juillet 1992, déclinent :

- les objectifs de traitement ;
- les flux quantifiés par nature de déchets ;
- les valeurs seuils d'acceptation dans les sites de traitement ;
- la liste des entreprises agréées sur le territoire concerné.

Ces documents pourront guider le maître d'ouvrage dans la définition des choix de traitement les plus adaptés sur leur territoire et leur permettre de trouver les sites localement, en vertu du principe de proximité.

Cas particulier des déchets de bois contaminés par les insectes xylophages (Article 10 du décret du 2 octobre 1992).

En cas de démolition des constructions, les bois et matériaux atteints par les termites et autres insectes xylophages sont brûlés sur place ou traités avant tout transport, si leur destruction par incinération se révèle impossible, de manière à éviter le maintien ou l'extension des foyers de termites ou d'insectes xylophages.

Cette dérogation est uniquement proposée dans l'objectif d'éviter une pollution extérieure au chantier par ces insectes. Les bois traités CCA ou créosote ne pouvant être brûlés sur place, des méthodes de décontamination sont à l'étude afin de respecter cette prescription réglementaire sans atteinte à l'environnement. Cependant, si l'on est sûr d'être en présence exclusive de déchets de bois traités avec ces produits, leur efficacité anti-termite peut être considérée comme une garantie que ces bois ne sont pas contaminés par des termites.

3.5.4 - Obligation du maître d'ouvrage, producteur de déchets

Le producteur de déchets reste responsable de son déchet jusqu'à sa prise en charge par un centre d'élimination adapté. Le maître d'ouvrage, producteur de déchets, doit donc caractériser la toxicité du déchet en vue de définir la voie de traitement ou d'élimination adaptée.

Le producteur de DIs, comme les autres acteurs de la chaîne d'élimination, doivent lorsqu'ils les remettent à un tiers, émettre un bordereau de suivi de déchets industriels (BDSI) qui doit accompagner les déchets jusqu'à son élimination finale [Arrêté du 4 janvier 1985 relatif au contrôle des circuits d'élimination de déchets générateurs de nuisances - JO du 16 février 1985 (complément du décret n°77-974 du 19 août 1977)].

Ce bordereau est valable aussi bien pour les entreprises générant des DIs que pour les collectivités produisant des déchets dangereux.

Ce bordereau (CERFA n°07-0320 et n°07-0321) indique la provenance, les caractéristiques, la destination et les modalités prévues pour les opérations intermédiaires de collecte, de transport et de stockage, ainsi que pour l'élimination des déchets.

Il précise également l'identité des entreprises autorisées par arrêté préfectoral et concernées par ces opérations (Circulaire DPP/SEI n°4311 du 30 août 1985 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement émanant du Service d'Études d'Impact de la Direction de la Prévention des Pollutions : installations de transit, regroupement et pré-traitement de déchets industriels - JO du 17 décembre 1985).

L'annexe IV de l'arrêté du 4 janvier 1985 relatif au contrôle des circuits d'élimination des déchets générateurs de nuisances indique le contenu de la **déclaration d'élimination de déchets industriels**.

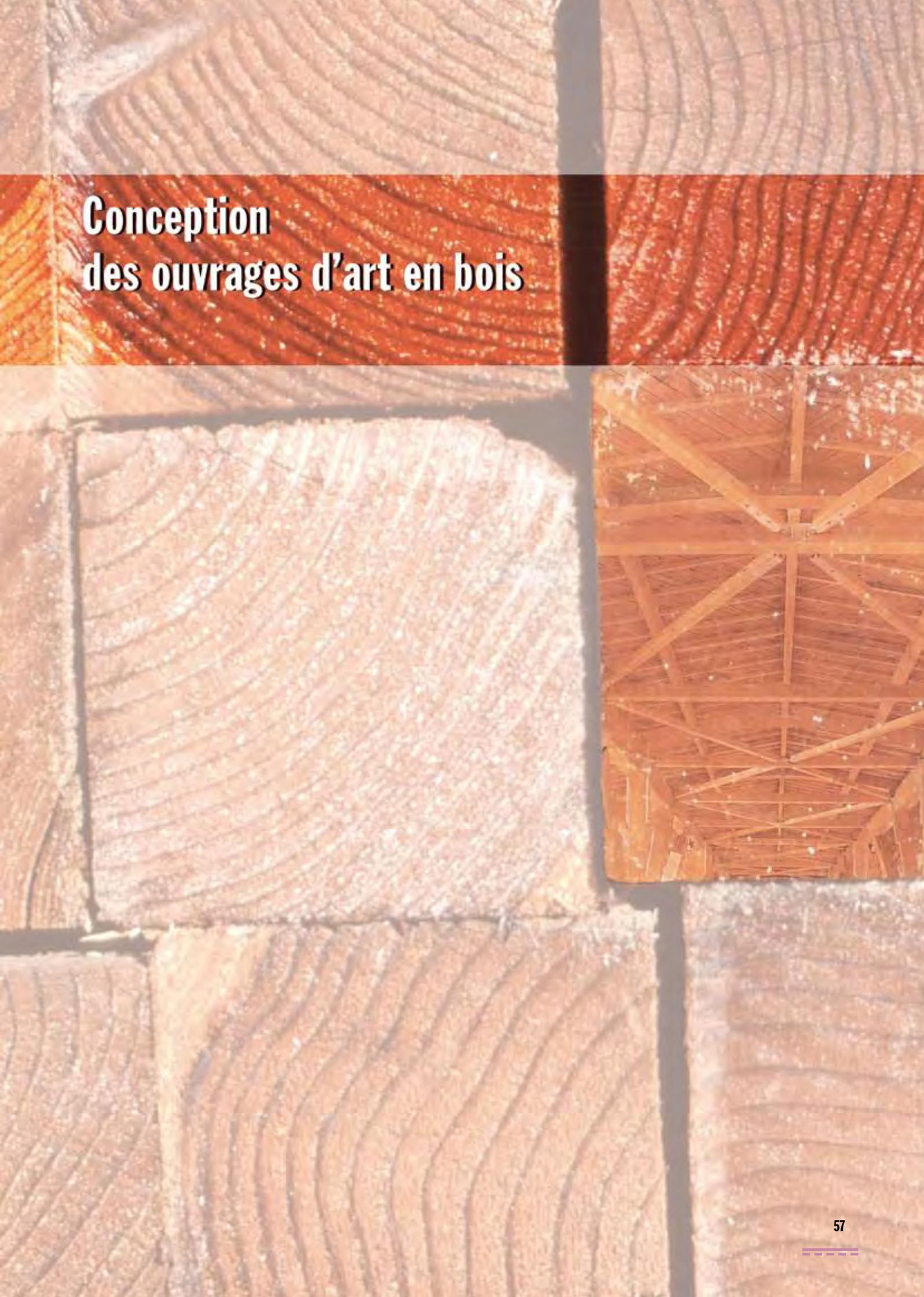
Avant de procéder au **transfert des déchets**, l'expéditeur doit le notifier aux autorités compétentes de destination, d'expédition et de transit, selon le règlement du Conseil CEE n°259/93 du 1er février 1993 relatif au transfert des déchets.

La notification se fait au moyen d'un document de suivi. En droit français, le formulaire a été enregistré sous le numéro CERFA 30-3546. Ce formulaire doit contenir tous les renseignements nécessaires pour les étapes intermédiaires du transfert. Il doit comporter des précisions telles que l'origine, l'inventaire des déchets et l'identité des producteurs initiaux, ainsi que des indications relatives à l'identité du destinataire, de sa localisation, des méthodes et opérations de traitement des déchets, et de la valeur des matières recyclées, le cas échéant.

3.6 - Conclusion

Traitement du bois : risques sanitaires et environnementaux				
	Sur le lieu de traitement	Construction de l'ouvrage	Bois « en service »	Ouvrage en fin de vie
Enjeux sanitaires	Risques liés à l'exposition des agents en service à des substances toxiques.		<p>Risques de lixiviation du produit et contamination des milieux naturels (sols, eau potable, accumulation par certaines plantes).</p> <p>Risque d'ingestion des usagers ou riverains (nota: probabilité extrêmement faible).</p> <p>Risques lié au contact cutané et à l'ingestion de traces restant sur les mains dans le cas de parties d'ouvrages accessibles aux enfants.</p>	<p>Risques liés à une mauvaise gestion des déchets (dépôt sauvage, brûlage sans filtration des fumées...).</p> <p>Avec risques de contamination des milieux naturels et des populations voisines (inhalation, ingestion...).</p>
Enjeux environnementaux	Risques liés à des émissions vers le milieu naturel.		Risques de lixiviation du produit et contamination des milieux naturels (sols, eau).	
Précautions	<p>Les lieux de traitement industriels relèvent des installations classées pour la protection de l'environnement. Ces sites sont sécurisés du point de vue de l'environnement, et la sécurité des travailleurs (en vertu du code du travail) est applicable, soumis à autorisation préfectorale et contrôlés par la DRIRE.</p>	<p>Ces chantiers doivent être sécurisés du point de vue de l'environnement, et la sécurité des travailleurs (en vertu du code du travail) est applicable.</p>	<p>Limiter les ouvrages à proximité de zones sensibles :</p> <ul style="list-style-type: none"> - points de captage en eau potable - aires de jeux et jardins potagers - cultures AOC ou « Bio » <p>Les travaux réalisés dans le cadre de la Directive Biocide déclineront les traitements qui demeureront autorisés post-2006 et édicteront des conditions d'utilisation supplémentaires.</p>	<p>Déconstruction sélective ET Réutilisation si possible OU Choix de la filière d'élimination adaptée.</p>
Risque sanitaire et environnemental	Faible	Faible	Faible pour les ouvrages futurs (voir conclusions de la directive biocides).	Faible si élimination dans un centre agréé ou réutilisation adaptée.
			Moyen pour les ouvrages anciens, notamment pour les cas particuliers d'ouvrages au contact ou à proximité directe de zones sensibles (voir ci-dessus).	Moyen à fort actuellement pour les ouvrages traités au CCA (problème de filière).

Tableau 13



Conception des ouvrages d'art en bois

4.1 - Les types de structures adaptées au bois

4.1.1 - Principes d'utilisation du bois dans les ponts

En ouvrages d'Art, les matériaux ne sont pas adaptés à tous les types de sollicitations. Le béton est bien adapté aux pièces travaillant en compression, mais résiste mal en traction. Il convient de retenir pour chaque structure ou partie de structure le matériau le mieux adapté.

Bien que les performances du bois sain en flexion et en traction axiale soient très satisfaisantes, la flexion va être limitée par les efforts de glissements sur appui (cisaillement longitudinal entre les fibres) et les efforts de traction axiale sont limités par la nature des assemblages qui entraîne des contraintes localisées de cisaillement. Le rendement des assemblages (c'est-à-dire la fraction de l'effort de la section du bois brute qui peut être transmise par l'assemblage) en traction est limité à 70 % pour les meilleurs, alors qu'il atteint sans problème 80 % pour les assemblages en compression. En outre, même si le bois sain a de bonnes performances en traction, le bois avec singularités, comme les nœuds, perd une partie de ses caractéristiques en traction.

Pour le bois, l'optimum est donc de faire travailler le matériau en compression axiale de préférence en pleine section. Ceci induit des systèmes porteurs de type arc, poutres sous tendues ou treillis par exemple. Comme seules des sections de bois rondes ou rectangulaires sont disponibles industriellement, au contraire de l'acier qui permet la fabrication des sections en I à fort rendement en flexion, les poutres en bois n'ont pas en général un rendement mécanique en flexion optimisé d'où la présence de suspentes ou de béquilles, et les portées envisageables sont assez modestes.

Ponts en bois et trafic poids lourds

Pour les ponts piétons, les solutions constructives sont très libres avec notamment la possibilité de créer des structures entièrement à base de bois.

En revanche, au passage des poids lourds, l'expérience des ponts de secours montre que les platelages en bois génèrent de fortes nuisances sonores. De plus, les risques de dérapages représentent un danger notamment pour les deux-roues du fait de l'usure rapide des revêtements anti-glissement. Pour les ouvrages portant un trafic poids lourd moyen journalier supérieur à 100 poids

lourds, il est enfin souhaitable, pour la durabilité du platelage, de privilégier des structures de chaussée en béton associées à une ossature porteuse en bois.

Pour les ponts routiers supportant un plus fort trafic avec plus de 300 poids lourd par 24 heures on recommande de prêter une attention toute particulière à la conception des assemblages vis à vis de la fatigue notamment lorsque le bois est utilisé en structure porteuse.

Cet aspect concerne aussi la connexion dans le cas des structures mixtes bois-béton.

On justifie les assemblages vis-à-vis de la fatigue avec les règles des eurocodes ou bien, notamment en ce qui concerne les charges de trafic routières, avec celles du guide du Sétra de mai 1996 « Résistance à la fatigue des ponts métalliques et mixtes » (annexe 6.11/31).

Principes généraux de conception

Lors de la conception d'un ouvrage en bois, il convient d'avoir à l'esprit un certain nombre d'éléments :

- **on ne peut pas tout réaliser en bois** : les portées doivent être raisonnables, en général inférieures à une cinquantaine de mètres. Au-delà, il s'agit d'ouvrages exceptionnels qui doivent être étudiés, conçus et réalisés avec beaucoup de précaution ;
- **on ne peut pas commander facilement des poutres en lamellé collé avec un profil de poutre en I comme les éléments métalliques**. Seules les sections rectangulaires massives sont disponibles industriellement ;
- **tout contact entre le bois et l'eau ou le sol condamne la durabilité du bois**. Par exemple, les ouvrages avec des poutres latérales en bois lamellé collé dépourvues de bardage conduisent rapidement à des pathologies dues au développement des attaques fongiques ;
- **la conception des assemblages diffère beaucoup des assemblages rencontrés habituellement dans la construction des ouvrages d'art en béton ou en acier** : les assemblages bois sont en général plus ductiles ;



- dans le cas d'un passage supérieur au-dessus d'une route, il faut veiller, pour tout ouvrage léger, à garantir une hauteur libre suffisante, soit 60 cm de revanche au dessus du gabarit.

Les structures en bois sont sensibles aux chocs et considérées comme légères. Une revanche de protection de 0,50 m, au sens de la circulaire du 17 octobre 1986 du ministère de l'Équipement est donc recommandée. S'y ajoute une revanche de construction et d'entretien de 0,10 m. Ainsi, au dessus d'une autoroute ou d'une route fortement circulée, la hauteur libre totale est de 4,75 m + 0,60 m soit 5,35 m.

Cette valeur constitue un minimum, et il y a lieu d'augmenter encore la revanche de protection si la structure est particulièrement sensible ou peu redondante, et si les ouvrages voisins en amont ne font pas obstacle aux gabarits extrêmes.

Dans le cas des ouvrages à béquille, on évite que le pivotement d'un poids lourd qui basculerait sur le côté autour de la barrière latérale lourde en béton (GBA) puisse entrer en conflit avec la structure. Comme dans l'axe vertical, une revanche de protection est recommandée.

L'Eurocode 1 prévoit des chocs à prendre en compte sur le tablier jusqu'à une hauteur de 6 m au-dessus de la chaussée pour justifier les structures franchissant une route. L'intensité des chocs à prendre en compte sur les piles jusqu'à une hauteur de 1,50 m est définie en l'absence de protection par le BAEL ou l'Eurocode 1.

De plus, il est recommandé de justifier par le calcul les piles vis-à-vis d'un choc d'une intensité cinq fois moindre que celle requise par le BAEL ou l'Eurocode 1 jusqu'à une hauteur de 4 m au-dessus de la chaussée, en complément.

Intérêt de l'association du bois et des autres matériaux

L'association de matériaux ayant des propriétés différentes et complémentaires permet d'améliorer le fonctionnement des structures, en utilisant chaque matériau dans son domaine de prédilection. On peut ainsi associer le bois au béton ou à l'acier, voire aux deux.

Le béton possède une bonne résistance en compression, mais une faible résistance à la traction. Il peut être associé au bois comme dalle collaborante comprimée, qui permettra la reprise des efforts de cisaillement nuisibles au fonctionnement en flexion du bois seul et peut assurer également une protection de la charpente en bois vis-à-vis des intempéries.

L'acier possède d'excellentes caractéristiques en traction mais sont plus limitées en compression en

raison des phénomènes de flambement. L'association de l'acier tendu et du bois comprimé permettra d'allonger les portées. Il faudra veiller à donner une légère contreflèche à la partie en bois pour éviter toute déformation excessive après fluage.

Le connecteur bois-béton doit assurer une connexion suffisamment rigide entre les poutres en bois et la dalle en béton armé afin d'utiliser ces matériaux au mieux de leur capacités.

Il existe plusieurs systèmes dont la justification est abordée dans la Partie ponts de l'Eurocode 5. Le connecteur présenté ci-dessous à titre d'exemple, a fait l'objet d'un avis du Sétra dans le cadre de la Charte Innovation. Il est le résultat de développements successifs notamment à la suite d'essais de fatigue, et a donné lieu à un brevet, comme la plupart des dispositifs de ce type. Il est constitué d'une double équerre de 10 mm d'épaisseur en acier S355 raidie côté bois par deux plats de 12 mm d'épaisseur. La partie horizontale intermédiaire du connecteur est fixée au bois par des tiges qui complètent la connexion.

Ce connecteur est bien adapté à la réalisation de ponts routes de faible portée à travée isostatique en ossature mixte bois-béton avec des poutres porteuses sous un hourdis. Outre des essais statiques, un essai dynamique a été mené sur un échantillon bois - connecteur - béton pendant plus de deux millions de cycles.



Photo 27 : exemple de connecteur bois-béton
Source : Bernard Letallec (ISBA)

4.1.2 - Les différentes structures

Les ponts en arc

Ces ouvrages sont intéressants car l'arc travaille principalement en compression et toute la section du bois est utilisée mécaniquement. L'acier est souvent utilisé avantageusement pour les poutres de rigidité ainsi que pour les tirants.

La gamme de portée de ces ouvrages est de 30-60 m

Arc auto-ancré (Bow-String)

Ci-après est détaillé l'exemple de la passerelle Pinot à Blagnac, réalisée en 1998, d'une portée de 36 m.

Cet ouvrage multi-matériaux 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.

Les arcs ont une section constante de 324 mm x 627 mm, soit un « élancement » de 1/57^{ème}. La dalle non collaborante est réalisée en panneaux préfabriqués en béton armé de 14 cm 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, traité pour la classe d'emploi 4 au niveau R4P8. Les classes d'emploi, ainsi que les niveaux de rétention et pénétration du traitement sont définis aux chapitres 2.5.2 et 2.5.3.

Le bois lamellé collé utilisé pour la fabrication des arcs est classé GL24, ce qui correspond à une contrainte caractéristique en flexion de 24MPa.



Photo 28 : passerelle Pinot – Source : Jacques Berthelémy (Sétra)

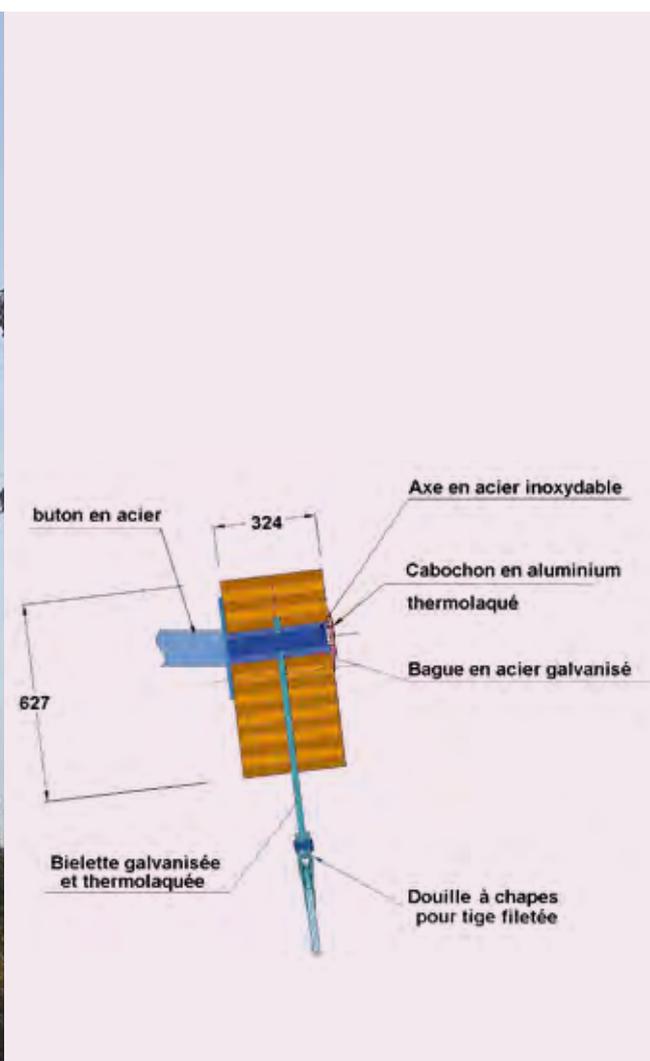


Figure 36 : détail de la liaison entre les arcs et les suspentes

Arc intermédiaire

Ce pont routier construit en 1993 se trouve **en montagne**, à Strada, dans le canton des Grisons (Suisse). L'arc a une portée de 39 m et la longueur totale de l'ouvrage est de 48 m. Le tablier déploie une largeur est de 3,5 m de chaussée et de 1,5 m de trottoir, soit 5 m au total.

La structure porteuse est entièrement en bois, avec des poutres en lamellé collé d'épicéa **non traité**, mais protégée par un bardage en mélèze et une couverture en cuivre. La structure secondaire est constituée d'entretoises en bois, qui supportent un platelage en bois précontraint, c'est à dire un platelage constitué d'éléments en bois serrés entre eux par des barres en acier.

Aucune finition n'a été appliquée, ce qui n'entrave pas la bonne durabilité de cet ouvrage. Le bardage est simplement devenu gris au fil des années, voire noirci dans les zones les plus exposées au soleil.



Photo 29 : vues générales du pont sur l'Inn entre Strada et San Nicla – Source : à droite, Jacques Berthelémy (Sétra) - à gauche, Vincent Barbier (CETE de l'Est - LRPC Nancy)



Photo 30 : vue depuis la chaussée
Source : Vincent Barbier (CETE de l'Est - LRPC Nancy)



Photo 31 : bardage de l'arc et des entretoises
Source : Vincent Barbier (CETE de l'Est - LRPC Nancy)

Les ponts mixtes bois béton

Le principe est le même que pour les ponts mixtes acier béton. La dalle béton collabore à la reprise des efforts, par compression. La gamme de portée de ces ouvrages est de 20-80 m. Les longues portées peuvent être atteintes avec des ponts en arc dont le tablier repose sur des appuis intermédiaires (pilettes, suspentes, etc.) tous les 5 à 10 m.

Parmi les règles à retenir pour ce type d'ouvrages

- l'épaisseur de la dalle béton doit être au minimum de 22 cm pour les ouvrages routiers ;
- la connexion peut être réalisée à partir de cornières, de tubes ou d'armatures ;
- l'élancement de section (rapport entre la hauteur et la largeur) des poutres en lamellé collé doit être limité à 5. Pour de plus forts élancements, il faut étudier finement les phénomènes de gradient d'humidité ;

- l'élancement pour les poutres principales avoisine $1/30^{\text{ème}}$;
- il est nécessaire d'exiger des essais de comportement à la fatigue des connecteurs, adaptés au trafic.

Pont sur la Resgia

Un exemple est le pont sur la Resgia à Inneferrera en Suisse construit en 1998. L'ouvrage de 60 m de longueur est constitué de 4 arcs principaux en lamellé collé d'une portée de 45 m. La dalle qui ne porte qu'un trafic léger est constituée de prédalles de 6 cm d'épaisseur et de béton coulé en place de 16 cm d'épaisseur. Les essences utilisées sont du mélèze pour les arcs et de l'épicéa pour le reste.

Ci-après sont données une coupe et deux photos de l'ouvrage.

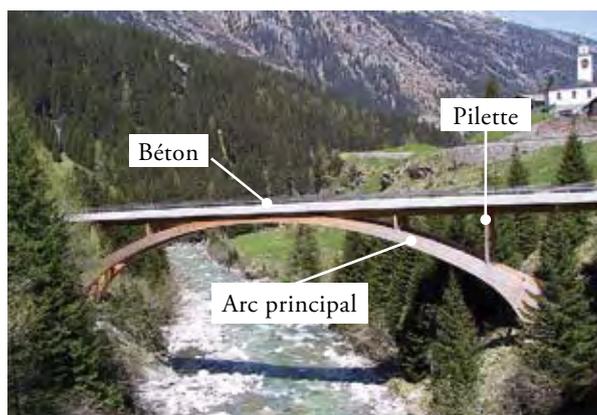
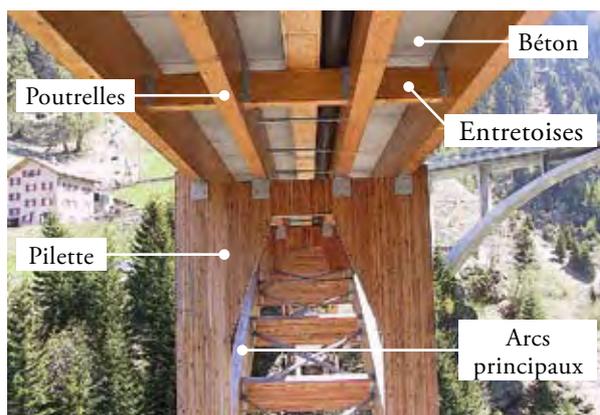


Photo 32 : pont d'Innenferrera : 60 m de longueur, 3,50 m de largeur roulable – Source : Vincent Barbier (CETE de l'Est - LRPC Nancy)

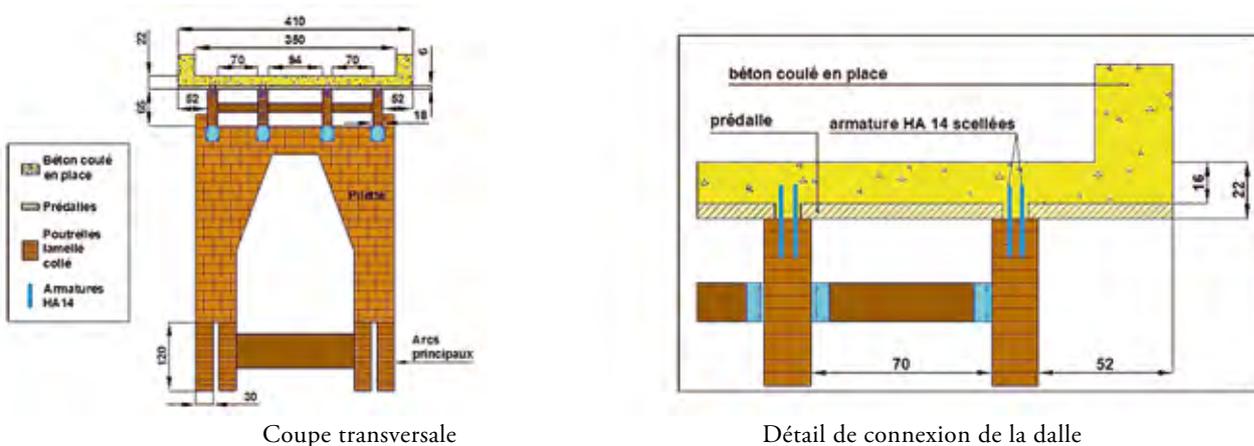


Figure 37 : pont d'Innenferrera

Les ponts à ferme

Les ponts à ferme sont composés de structures triangulées. Historiquement, les premiers ponts couverts étaient des ponts à ferme sur lesquels étaient ajoutées des toitures. Une évolution de ces ponts à ferme a été les ponts à poutres treillis.

Pont de Vihantasalmi

Le pont de Vihantasalmi en Finlande a été mis en service en 1999 en remplacement d'un ancien pont métallique. La longueur de l'ouvrage est de 168 m, répartie sur 5 portées de 21 et 42 m. La largeur est de 11 m.

Les portées principales de 42 m sont soutenues par des poutres triangulées en bois assemblées comme une charpente de toiture, dont les éléments en traction sont des barres en acier. Les poutres porteuses sont en bois et connectées à une dalle en béton, qui

participe à la résistance mécanique de l'ensemble par l'intermédiaire de connecteurs spécialement étudiés pour cet ouvrage.

Pour assurer une bonne durabilité en l'absence de couverture, l'ensemble des bois est traité à la créosote ou aux sels métalliques. Les bois au-dessus de la chaussée sont protégés par du bardage et les autres bois sont protégés par la chaussée étanche.

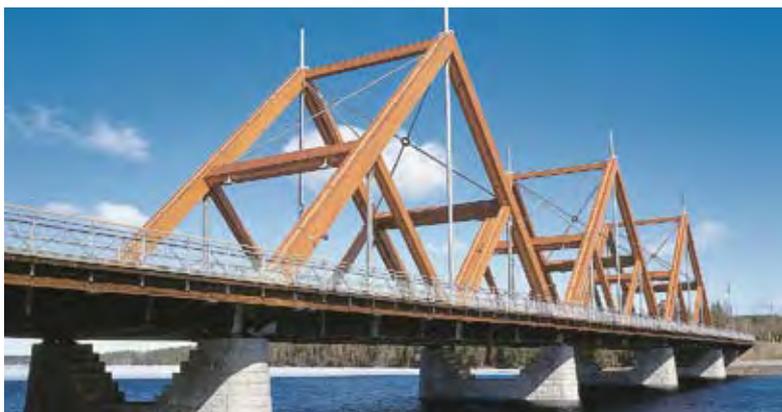


Photo 33 : pont de Vihantasalmi – Source : Timo Rantakokko

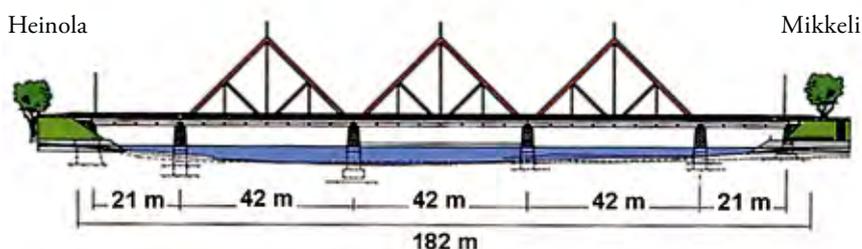


Figure 38 : coupe longitudinale du pont de Vihantasalmi

Les ponts à poutres treillis

L'intérêt est de créer des poutres de forte hauteur permettant de franchir des portées assez importantes tout en laissant une luminosité agréable.

La gamme de portée de ces ouvrages est de 20-50 m. L'élançement général doit être limité au maximum à 1/10^{ème} de la portée.

Un exemple de ce type d'ouvrage est le pont sur la Dore à Saint-Gervais-sous-Meymont, construit en 1994. C'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.

La hauteur libre est de 4,70 m et la largeur 6 m. La portée de l'ouvrage est de 33,25 m avec un élançement général de l'ouvrage faible (environ 1/7^{ème}) mais la structure est très lumineuse.

Chacune des poutres principales est formée de deux éléments en lamellé collé de 185 x 528 mm. Les diagonales sont formées par deux poutres BLC 185 x 363 mm. Les poteaux sont des poutres BLC 200 x 363 mm. Les assemblages sont boulonnés, avec des tiges filetées insérées et collées dans les poutres en bois.

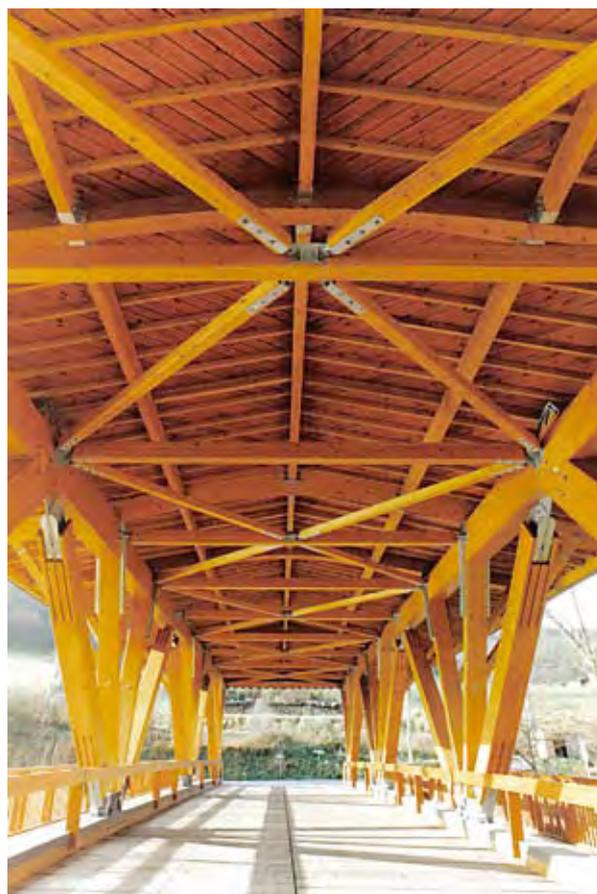


Photo 34 : pont sur la Dore (vue intérieure) – Source : Brumaire



Photo 35 : pont sur la Dore (vue extérieure)
source : Jacques Berthelémy (Sétra)

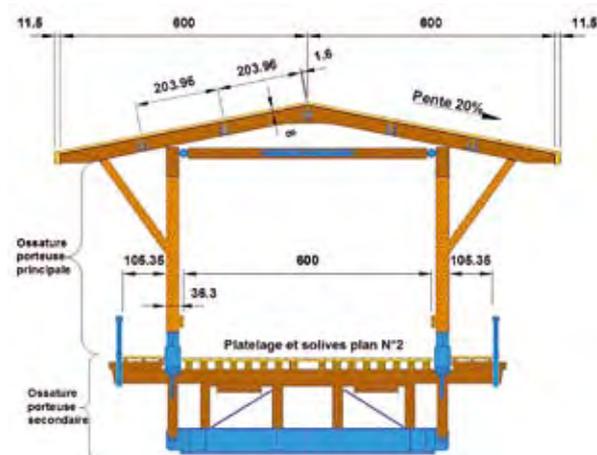


Figure 39 : coupe transversale du pont sur la Dore

Les ponts à béquilles

Les ponts à béquille sont bien adaptés au bois, car ils permettent une réduction des portées effectives et engendrent un effort de compression dans les palées. La gamme de portée de ces ouvrages est de 20-40 m.

Pont de Merle

Un exemple récent de pont à béquilles en bois est le pont de Merle à Saint-Geniez-ô-Merle en Corrèze, construit en 1999. Cet ouvrage de 57 m de long et 10 m de large surplombe le fond de la vallée à plus de 30 m de hauteur au plus haut.

L'essence retenue pour les lamelles entrant dans la fabrication du bois lamellé collé est le Douglas, purgé d'aubier, de classement mécanique C30. L'ouvrage est isostatique grâce à deux articulations.

Les poutres longitudinales ont une section de 160 x 16 cm.

Les béquilles ont une section en T en lamellé collé : 90 x 16 cm + 80 x 16 cm, de 12 m à 25 m de longueur. La reconstitution des poutres en T a été réalisée par collage et grâce à des anneaux métalliques qui assurent la transmission des efforts de cisaillement.

Une dalle en béton de 25 cm d'épaisseur non collaborante ne participe pas au fonctionnement général de la structure en bois. La figure 42 montre un détail d'assemblage. La dalle est posée sur des appuis en néoprène et maintenue par l'intermédiaire de tiges filetées scellées dans les poutres en bois.

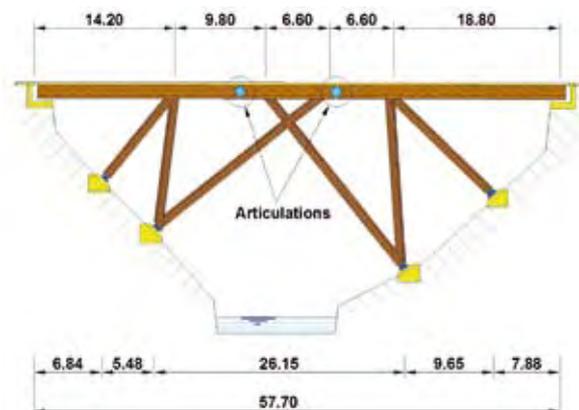


Figure 40 : pont de Merle - Coupe longitudinale

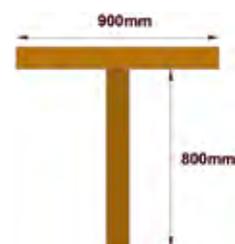


Figure 41 : pont de Merle - Coupe d'une béquille

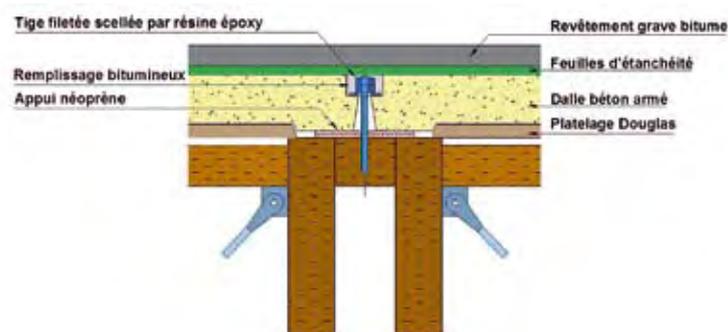


Figure 42 : pont de Merle - Détail d'assemblage



Photo 36 : pont de Merle - Vue générale – Source : Jean-Louis Michotey

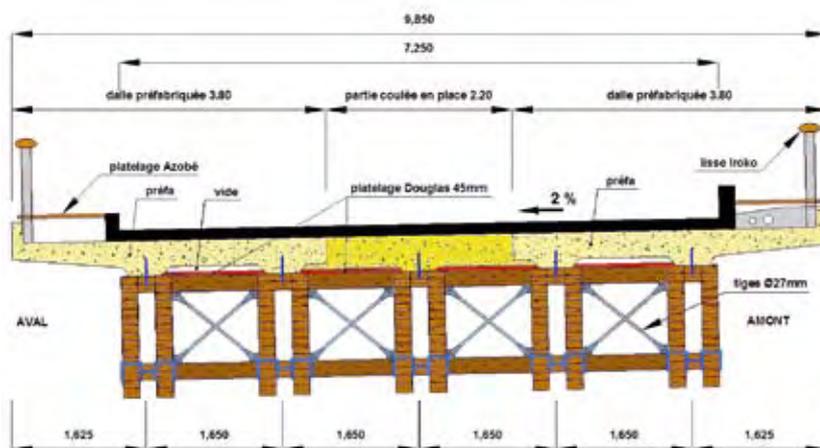


Figure 43 : pont de Merle - Coupe transversale

Pont de Crest

Le pont de Crest dans la Drôme est actuellement le plus long de France. Il mesure 92 m de longueur, répartie en trois travées. Il comporte deux voies de circulations de 2,75 m pour une largeur de 8,50 m.

La structure principale est constituée de quatre nervures, espacées de 1,85 m, à hauteur variable en bois lamellé-collé de douglas purgé d'aubier. Ces nervures sont soutenues par des béquilles reliées aux appuis en béton. Le platelage est en chêne, appuyé sur des pots à élastomère. En outre, une étanchéité a été mise en place sous ce platelage pour protéger la structure secondaire et la structure principale.



Photo 37 : pont de Crest – Source : CNDP

Les ponts suspendus ou à haubans

Les ponts suspendus ou à haubans permettent de concevoir des ouvrages de grande portée. Le bois peut être utilisé notamment pour la construction des poutres de rigidité ainsi que pour le platelage. La gamme de portée de ces ouvrages est de 30-100 m. On peut signaler deux ouvrages exceptionnels : le pont en bois de Ojuela au Mexique, construit en 1892, avec 278 m de portée et en France, le pont de Tournon datant de 1845 est constitué de deux travées de 97,50 m. Ces deux ouvrages sont limités à la circulation piétonne depuis les années 1970.

Parmi les ouvrages récents, on recense notamment la passerelle sur le Doubs offrant un passage d'un mètre de large environ. Cette passerelle construite en 1993 et située sur la commune de Oye et Pallet (25) est en bois massif de sapin et d'épicéa. La longueur est environ 52 m pour 37 m de portée.

Les parties structurales de l'ouvrage sont protégées par le revêtement du tablier et par un toit pour les montants de haubanage.

Un traitement insecticide a été appliqué superficiellement, mais aucune finition n'a été apportée, ce qui explique la couleur grise du bois.



Photo 38 : passerelle sur le Doubs - Vue générale
Source : Vincent Barbier (CETE de l'Est - LRPC Nancy)



Photo 39 : passerelle sur le Doubs - Vue de dessous
Source : Vincent Barbier (CETE de l'Est - LRPC Nancy)

Les ponts mixtes bois acier

L'association du bois et de l'acier est très fréquente dans les assemblages, mais trouve également des applications pour la conception générale des structures, l'acier offrant des tirants et des poutres efficaces en flexion notamment, le bois fournissant des poteaux ou des arcs travaillant en compression.

L'exemple ci-dessous présente un ouvrage sous tendu avec des tirants en acier. Il mesure 35 m de longueur pour 5 m de largeur, en permettant le passage d'engins forestiers.



Photo 40 : pont mixte bois acier à Sur-En (Suisse)
Source : Vincent Barbier (CETE de l'Est - LRPC Nancy)

4.1.3 - Exemples de ponts piétons

La conception des ponts piétons diffère fondamentalement de celle des ouvrages d'art routiers. En particulier les problèmes de fatigue ne se posent pas aussi sévèrement mais le vent et les chocs sont plus pénalisants.

Les faibles charges autorisent une plus grande liberté de conception, qui est mise en avant dans les exemples suivants. Cependant, le comportement dynamique de ces ouvrages doit être particulièrement étudié. Les ouvrages en bois sont plus légers et de ce fait particulièrement concernés par les problèmes de comportement dynamique. C'est l'eurocode 5, traitant des structures en bois, qui était le plus précis sur ces questions au stade des prénormes ENV d'application volontaire.

Pour s'assurer du bon comportement dynamique d'un projet, on se reportera utilement au guide « Passerelles piétonnes - Évaluation du comportement vibratoire sous l'action des piétons », publié par le Sétra (annexe 6.11/33).

Passerelle de Vaires

La nouvelle passerelle couverte de Vaires (Seine et Marne) est aujourd'hui la plus grande passerelle couverte de France avec 75 m de longueur, 49 m de portée, 9,40 m de largeur. Le Maître d'Ouvrage est Réseau Ferré de France.

Cet ouvrage en bois lamellé collé surplombe les futures voies Tgv à 6 m de hauteur. Les arcs supportent un double passage offrant chacun une largeur libre de 3 m. Le premier passage correspond à un cheminement public tandis que le deuxième permet aux voyageurs d'accéder aux quais par l'intermédiaire de deux trémies d'escalier ou d'ascenseurs. Un parvis l'accompagne vers la ville à chacune de ses extrémités.

Les essences utilisées sont le douglas pour le lamellé collé, le chêne pour le platelage et l'épicéa pour le plafond.

Passerelle d'AJoux

Construite en 2001 à Ajoux en Ardèche, cette passerelle est constituée de deux arcs sous le platelage. La longueur totale de la passerelle est de 20 m. L'ensemble de la passerelle est réalisé en bois massif, avec de petits tronçons qui permettent une manutention aisée dans un site d'accès difficile.

L'essence retenue est le châtaignier local qui est naturellement très durable pour ces conditions d'emploi. **Aucun traitement chimique de préservation n'a été nécessaire.**



Photo 41 : passerelle de Vaires – Source : Bernard Rey (SNCF Ingénierie)



Photo 42 : passerelle d'AJoux – Source : CNDB

Passerelle à Saint-Jorioz

Cette passerelle de 1993 a été réalisée sous maîtrise d'œuvre de la DDE de Haute Savoie et n'a pas nécessité d'intervention depuis sa construction. La longueur est de 20 m pour 2,70 m de largeur de passage. La hauteur dégagée sous la toiture est de 3 m.

La structure principale est une structure triangulée en bois massif de douglas non traité, hormis la membrure inférieure en bois lamellé collé traité pour la classe d'emploi 2, étant donnée qu'elle est bien protégée des intempéries. Le revêtement de la chaussée est un enrobé, pour permettre le passage de véhicules légers. La couverture est réalisée en tavaillons (morceaux de bois fendus).



Photo 43 : passerelle de Saint-Jorioz – Source : DDE de Haute-Savoie

Passerelle à Grigny

Les passerelles de Grigny (Essonne) réalisées en 2002 sont un modèle pour les passerelles de petites portées, en raison de leur conception basée sur la durabilité naturelle du bois et sur la protection des éléments structuraux. **Aucun traitement chimique de préservation n'a été nécessaire.** Elles sont constituées des deux arcs porteurs en lamellé collé de douglas recouvert d'un bardage à clair voie en douglas et d'une couverture en chêne, sous laquelle vient s'insérer un pare pluie qui améliore l'étanchéité de la structure porteuse.

Tous les bois sont purgés d'aubier pour n'utiliser que la partie durable des essences retenues.

Le platelage est constitué de planches de chêne, de sections 120 x 22 mm, disposées sur leur chant et espacées de 5 mm environ ce qui permet une bonne ventilation du bois et assure une bonne adhérence au piéton.



Photo 44 : passerelle à Grigny – Source : Jérôme Laplane

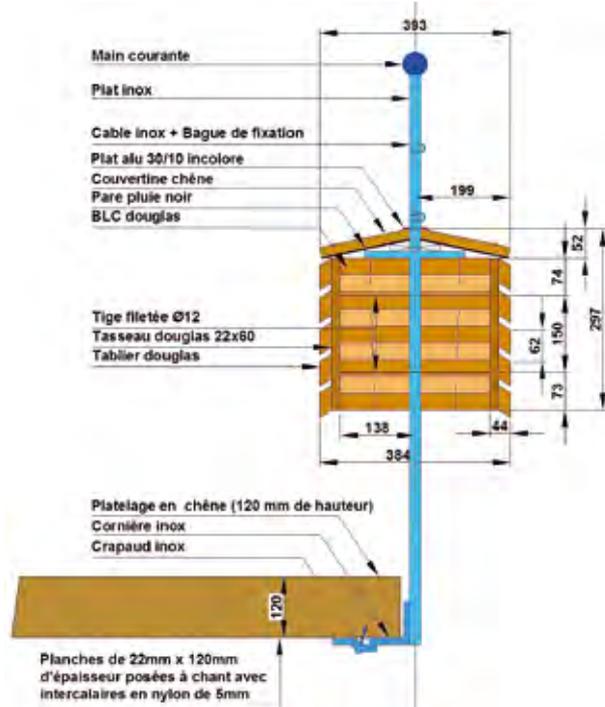


Figure 44 : détail du bardage à clair voie

L'élançement des arcs est de 1/30^{ème} environ. Les poutres principales ont des dimensions de l'ordre de 300 x 300 mm, ce qui rend les arcs compacts et peu sensibles aux variations d'humidité.

Les éléments métalliques sont en inox pour garantir une bonne durabilité et pour éviter des interactions chimiques néfastes avec le chêne en particulier.

L'ensemble des bois a reçu une couche de lasure en atelier pour permettre un vieillissement homogène. L'entretien sera donc limité au remplacement des éléments de bardage ou de platelage lors qu'ils seront usagés, dans la mesure où l'on accepte le grisaillement du bois.

Ce type de passerelle est tout à fait adapté pour des portées inférieures à 15 m, avec un coût raisonnable d'environ 1 500 € le mètre carré en 2002. Pour des portées plus importantes, la stabilité transversale des arcs doit être étudiée en détail.



Photo 45 : détail de platelage à chant et bardage à clair voie
Source : Jérôme Laplane

Les ponts à poutres latérales pleines

La gamme de portée de ces ouvrages est de 5-20 m.

Les structures à poutres latérales pleines (de type lamellé collé), bien que plus simples et souvent plus économiques, sont moins bien adaptées au bois, car les sections rectangulaires ont une faible rentabilité mécanique en flexion et les poutres porteuses non protégées sont peu durables.

Pourtant ce type de passerelle s'est imposé en France dans les années 1970-1980, avec souvent un traitement de préservation aux CCA. On trouve régulièrement des poutres latérales avec une section très élancée de 20 x 180 cm environ, ce qui entraîne des problèmes de déformations (voir le chapitre 4.2 - « Pathologies et causes de désordres »).

Ce principe peut toutefois être retenu pour les faibles portées, à condition que **les poutres latérales soient bardées** pour éviter à la structure porteuse des expositions fortes qui engendrent des attaques fongiques et en respectant un élancement maximal de surface (rapport entre la hauteur et la largeur) de 5.

La passerelle du Feisterbach à Wald (Suisse) datant de 1984, mesure 56 m de longueur en trois travées avec une portée principale de 28 m. Les poutres sont en sapin traité au CCF et ne souffrent pas de pathologie sévère. La conception est plus raisonnée car les sections de 1 200 x 200 mm environ présentent un élancement surfacique (rapport entre la hauteur et la largeur) de 6 et des raidisseurs verticaux reliés aux entretoises permettent d'assurer la stabilité transversale des poutres. Quelques erreurs de conception subsistent comme l'absence de bardage et de ventilation entre la poutre et la main courante notamment.



Photo 46 : passerelle à Danjoutin – Source : Vincent Barbier (CETE de l'Est - LRPC Nancy)



Photo 47 : passerelle à Wald – Source : Vincent Barbier (CETE de l'Est - LRPC Nancy)



Photo 48 : liaison poutre tablier et chaussée d'accès
Source : Vincent Barbier (CETE de l'Est - LRPC Nancy)



Photo 50 : assemblage bois sur bois à éviter
Source : Vincent Barbier (CETE de l'Est - LRPC Nancy)

4.2 - Pathologies et causes des dégradations

4.2.1 - Déficience du drainage et de la ventilation

Le mauvais drainage et la mauvaise ventilation du bois impliquent le développement des champignons.

Relevé d'étanchéité

Sur la photo 48, le relevé d'étanchéité n'est pas continu et l'eau peut stagner au contact direct de la poutre. Ce phénomène est aggravé par la non-ventilation du bois : la poutre est au contact direct de la chaussée d'accès et du relevé d'étanchéité.

Bois mal ventilé

Sur la photo 49, la poutre en lamellé-collé est au contact de la chaussée susceptible d'être humide (pas

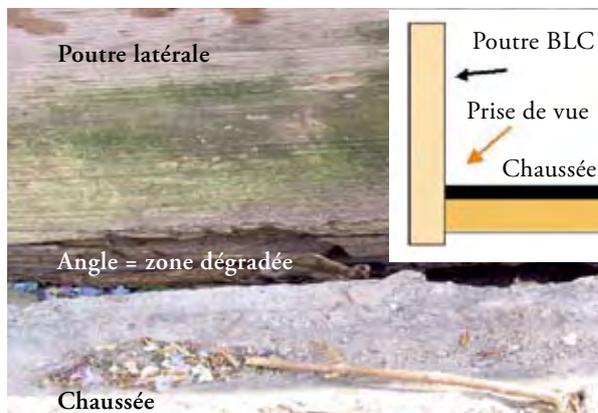


Photo 49 : liaison poutre tablier
Source : Vincent Barbier (CETE de l'Est - LRPC Nancy)

d'étanchéité visible). Les champignons ont commencé leur travail...

Assemblage piégeant l'eau

Une cause de mauvais drainage de l'eau est la conception d'assemblages piégeant l'eau. Il faut éviter de réaliser des assemblages bois sur bois (type tenon mortaise, embrèvement, etc.) qui forment des zones sensibles mal ventilées et mal drainées (voir photo 50).

Surface plane

Pour obtenir un bon drainage, il faut éviter toute surface plane car l'eau peut s'infiltrer dans le bois au niveau des gerces superficielles éventuelles.

Il ne s'agit pas pour autant d'incliner le bois sans réflexion. Sur la photo 52, la main courante est bien en pente, mais les raccords longitudinaux sont mal ventilés, ce qui entraîne l'attaque fongique. Sur la photo 51, la fixation de la main courante n'est pas suffisante aux vues de la forte section de la main courante.



Photo 51 : main courante mal fixée
Source : Vincent Barbier (CETE de l'Est - LRPC Nancy)



Photo 52 : attaque fongique sur la main courante
Source : Vincent Barbier (CETE de l'Est - LRPC Nancy)

4.2.2 - Agression solaire et gradient d'humidité

Les passerelles, notamment celles exposées au sud, subissent l'agression solaire, qui crée des fentes et détériore la finition. L'eau peut venir ensuite s'y accumuler pour devenir de véritables nids à champignons. La photo 53 témoigne de ce genre de réalité...

La passerelle représentée en photo 54 est constituée par deux poutres latérales en lamellé collé.

Les poutres se sont incurvées vers le côté sud à cause d'un gradient d'humidité, la face ensoleillée ayant subi un retrait plus important que l'autre.

La déviation relevée d'environ 80 mm est atteinte pour un gradient d'humidité d'environ 4 %. Des mesures ont montré que le gradient d'humidité variait entre 3 et 7 %.

Un bardage des poutres aurait constitué une solution efficace pour éviter ce genre de dégradations prématurées.



Photo 53 : dégradation de la lasure et du bois
Source : Vincent Barbier (CETE de l'Est - LRPC Nancy)



Photo 54 : poutres latérales déversées
Source : Vincent Barbier (CETE de l'Est - LRPC Nancy)

4.2.3 - Autres causes

Parmi les autres causes de désordres, on peut citer les problèmes structureux :

- mauvais collage du lamellé-collé : les joints s'ouvrent ou la colle ne convient pas pour l'usage (agressions chimiques, ...) ;
- mauvaise conception amenant des tractions perpendiculaires aux fibres du bois, soit par un assemblage sollicitant le lamellé-collé en traction par le travers, soit par flexion d'une poutre courbe, effet qui cause une poussée au vide sur les lamelles collées lorsque la flexion réduit la courbure de la poutre ;
- manque d'études spécialisées : assemblage, dénivellation d'appui... ;
- la mauvaise prise en compte des phénomènes de retrait et de gonflement du bois en fonction de son humidité.

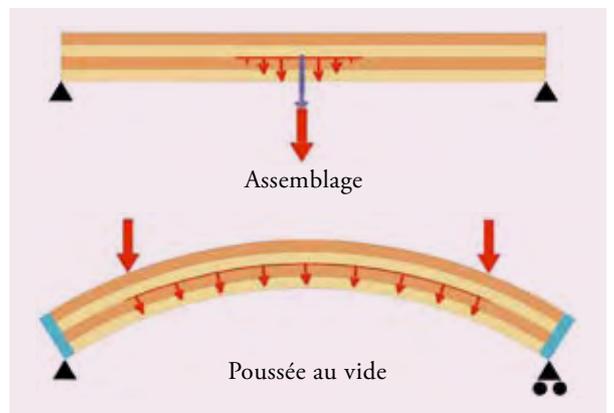


Figure 45 : exemples de causes possibles de dégradation



Photo 55 : accumulation de terre au contact du bois
Source : Vincent Barbier (CETE de l'Est - LRPC Nancy)

4.2.4 - L'entretien

Un entretien courant minimum est nécessaire pour assurer un bon fonctionnement des ouvrages en bois. Il faut veiller à ne pas laisser s'accumuler des matières organiques (terre végétale par exemple) au contact du bois.

Sur la photo 56, on s'aperçoit que cet entretien minimum n'a pas été fait : le développement des champignons est alors favorisé. Sur la photo 55, un apport extérieur de terre vient mettre en danger le bois.

4.3 - Dispositions constructives

Les dispositions constructives sont le premier moyen d'assurer une bonne durabilité à l'ouvrage. Elles doivent donc être étudiées précisément en regard des règles ci-après.



Photo 56 : accroissement de la végétation
Source : Vincent Barbier (CETE de l'Est - LRPC Nancy)



Photo 57 : exemple de pont couvert
Source : Vincent Barbier (CETE de l'Est - LRPC Nancy)

4.3.1 - Règles générales

Dans les chapitres précédents, il a été montré que l'humidité trop élevée du bois conduisait à l'apparition de champignons, qui sont la cause des désordres les plus graves. Les dégradations dues aux insectes restent mineures en France dans le domaine des ouvrages d'art. L'objectif premier de la conception est donc d'éviter que le bois s'humidifie.

Le principe de base pour obtenir une durabilité raisonnable est de conserver le bois sec.

Pour cela, il faut que :

- le minimum d'eau puisse venir au contact du bois, ce qui incite à le protéger ;
- l'eau puisse être évacuée le plus rapidement possible ;
- le bois soit bien ventilé.

Pour obtenir une bonne durabilité, la conception des détails est le point essentiel. Il intervient avant le choix des traitements chimiques de préservation des bois. Les traitements de préservation sont à étudier dans un second temps, pour ajuster si nécessaire le domaine d'emploi du bois à sa destination.

Dans la suite, plusieurs dispositions constructives sont examinées.

4.3.2 - Les ponts couverts

Parmi les ponts ou passerelles les plus durables, la grande majorité possède un toit, ce qui permet à la structure porteuse d'être protégée des intempéries (voir photo 57).

Un pont couvert demande un investissement initial un peu plus important mais offre des meilleures garanties de longévité de l'ouvrage.

Une poutre est considérée protégée des intempéries si le débord de toit permet à la poutre de rester sèche

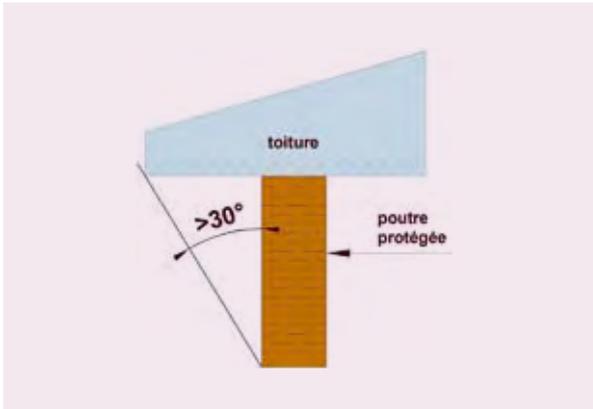


Figure 46 : angle à prévoir pour protéger la poutre

sous une pluie tombant avec un angle de moins de trente degrés par rapport à la verticale. Dans ce cas, la poutre peut être considérée en classe d'emploi 2, sauf s'il y a des risques de brumisation (dans ce cas, la classe d'emploi est la classe 3).

Pour les ponts à poutres sous chaussée, lorsque celle-ci est étanche à l'eau (dalle en béton armée protégée par une étanchéité), une bonne protection des poutres est assurée. Pour les poutres de rive, un débord de chaussée peut également protéger une poutre (voir photo 58).

4.3.3 - Bardage

Une solution pour éviter la venue d'eau sur les poutres porteuses est de recouvrir d'un bardage les faces latérales et d'une couverture (ou main courante) la surface horizontale.

Dispositions de bardage

Le bardage peut être un revêtement constitué de planches de bois, dont l'épaisseur est en général de



Photo 58 : poutres sous chaussée protégées des intempéries
Source : Vincent Barbier (CETE de l'Est - LRPC Nancy)



Photo 59 : bardage horizontal ventilé
Source : Vincent Barbier (CETE de l'Est - LRPC Nancy)

18 ou 27 mm et la largeur comprise entre 80 et 200 mm. Pour éviter les phénomènes de tuilage, le rapport entre la largeur et l'épaisseur ne doit pas excéder 7 (on admet un élancement de 7 car le bardage n'est pas structural. Pour les éléments de structure, l'élancement doit être limité à 5).

Ces planches peuvent être disposées horizontalement ou verticalement, en assurant une bonne ventilation entre le bardage et le bois protégé. Un exemple de bardage ventilé est donné sur la photo 59.

La disposition verticale permet un écoulement de l'eau plus rapide. Le plus simple est de réaliser un bardage à recouvrement. La lame de bardage en recouvrement est fixée par deux pointes en acier inoxydable austénitique (une seule pour une largeur inférieure à 100 mm), et les lames de bardage intérieures sont fixées par une seule pointe en inox. La longueur des pointes est de 2.5 fois l'épaisseur de la lame de bardage sans pénétrer moins de 35 mm dans le tasseau.

Remarque

Pour faciliter la maintenance du bardage, les pointes peuvent être remplacées par des vis.

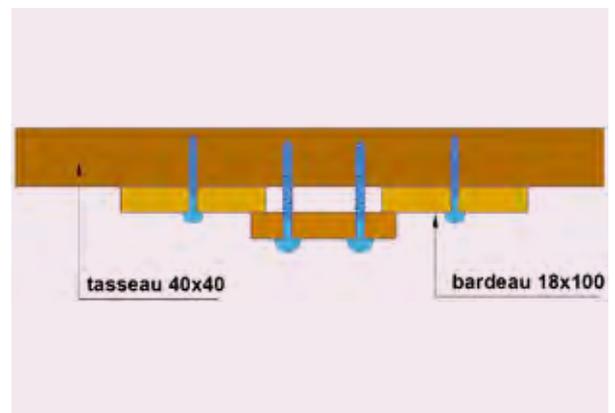
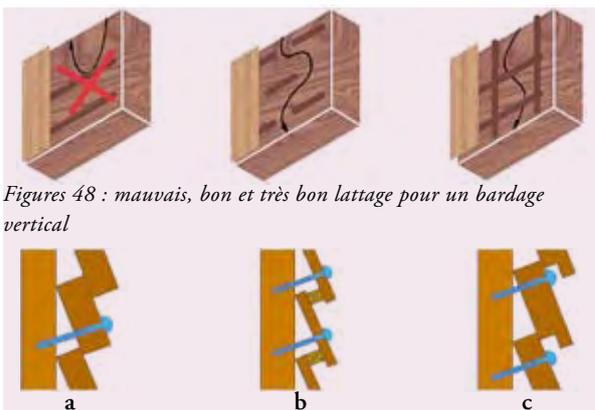


Figure 47 : bardage vertical à recouvrement



Figures 48 : mauvais, bon et très bon lattage pour un bardage vertical

Figure 49 : différentes dispositions de bardage

Pour assurer une bonne ventilation, on écarte le bardage par un réseau de lattes. La meilleure solution consiste à réaliser un double lattage (voir figures 48), qui permet une bonne circulation de l'air. Un lattage en diagonal peut également être envisagé.

Les lames verticales doivent être profilées en pied de manière à créer une goutte d'eau.

On peut envisager également un bardage constitué de planches disposées horizontalement. Parmi les trois types de pose de bardage horizontal représentés très schématiquement sur la figure 49, la solution représentée en (a) est la moins bonne car les planches sont en contact sur une largeur d'environ 10 % de la largeur de la planche. Dans cette zone le bois est mal ventilé. En outre, la planche ne possède pas de profil pour former une goutte d'eau : l'eau peut cheminer jusqu'à la zone de contact mal ventilée et induire une dégradation du bois.



Photo 60 : couvertines sur le pont de Thalkirchen

Source : Jacques Berthelémy (Sétra)

Dans les cas (b) et (c), les planches sont bien ventilées et la goutte d'eau peut se former. La solution (c) est préférable, car elle présente des fixations bien protégées de la pluie. La solution à languette couramment utilisée en bâtiment est également possible, ainsi que le bardage à clair voie, qui laisse apparaître la poutre principale en la protégeant des intempéries. Le bardage à clair voie a été utilisé pour la passerelle de Grigny (voir le chapitre 4.1.3).

Couvertine

Pour protéger les bois disposés horizontalement, ainsi que les bois de bout, des couvertines en acier inoxydable, en cuivre ou en aluminium peuvent être fixées, comme c'est le cas pour le pont du Thalkirchen sur l'Isar à Munich (voir photo 60). Ce pont en bois lamellé collé d'épicéa et en bois massif de mélèze



Photos 61 a et b : pont de l'Europe à Saint-Georgen – Source : Jacques Berthelémy (Sétra)



Photos 62 a et b : détails du pont de Merle – Source : Jean-Louis Michotey



de 1991 mesure 183 m par portée de 13 m, et offre 5,50 m de chaussée et 7 m de trottoir.

On évite d'utiliser des métaux différents en protection pour ne pas provoquer de corrosion par effet de pile.

Un autre exemple est la couverture de l'ensemble des arcs du pont de l'Europe dans la vallée de la Mur en Autriche près de Saint-Georgen (voir photos 61), construit en 1994, de 128 m de longueur et 45 m de portée principale. En revanche, les béquilles ne sont couvertes qu'en pied pour éviter le cheminement d'eau dans la liaison mécanique.

On retrouve le même type de détails au droit du nœud, et au pied des béquilles du pont de Merle (voir photos 62).

Protection du bois de bout

Le bout des planches ou des poutres (appelé bois de bout) doit être protégé pour éviter une infiltration d'eau dans les fibres du bois.

Différentes solutions existent :

- le traitement à la résine est à éviter car tôt ou tard la résine fissurera à cause de la dégradation solaire, des phénomènes de retrait gonflement du bois et ne remplira plus son rôle ;
- le bois doit être protégé par une couverture métallique ou du bois de bardage (comme sur la photo 63).

Remarque

Sur la photo 63, le bardage du bois de bout aurait pu être mieux ventilé à la liaison avec le bois de couverture supérieur...



Photo 63 : bois de bout protégé

Source : Vincent Barbier (CETE de l'Est - LRPC Nancy)

Main courante

Disposition pour protéger une poutre porteuse

La main courante peut dans certains cas, notamment pour les structures à poutres latérales, être utilisée comme protection contre les intempéries.

Sur la figure 50, la main courante protège la poutre principale. L'inclinaison de 5 % dans le sens transversal améliore l'évacuation de l'eau. Une inclinaison dans le sens longitudinal est également souhaitable.

La main courante présente des engravures pour permettre la création de gouttes d'eau. La ventilation de la main courante et de la poutre principale doit être assurée.

Enfin, le bardage vertical est ventilé grâce à un double lattage.

Dans la mesure du possible, les assemblages sont protégés des intempéries. Pour le cas de la figure 40, des équerres métalliques entre la main courante et le lattage peuvent être mises en place (avant la pose du bardage).

Cas des mains courantes indépendantes

Dans ce cas la main courante ne protège pas la structure. La main courante représentée en figure 51 est fixée à la cornière débordant du montant de garde corps. Le risque de dégradation des pointes est réduit et la face supérieure de la main courante ne présente alors pas de singularités susceptibles de piéger l'eau. En outre, la cornière est de dimensions plus faibles que celle de la main courante pour former une goutte d'eau.

Un soin particulier doit être apporté au niveau des joints longitudinaux. En effet, il faut ménager un espace minimal (2 cm) pour assurer la ventilation du bois. En outre le bois de bout du montant du garde corps doit être protégé par une plaque métallique, comme sur la photo 64.

La figure 52 présente une bonne disposition. Un double système de protection est mis en place.

Le joint permet d'assurer une première étanchéité, qui ne sera pas forcément durable. En cas de dégradation du joint, le chapeau métallique prend le relais : une goutte d'eau termine les parties de la main courante, et l'eau est évacuée dans un profil métallique.

Une autre solution possible consiste à recouvrir le joint par une couverture métallique ventilée.

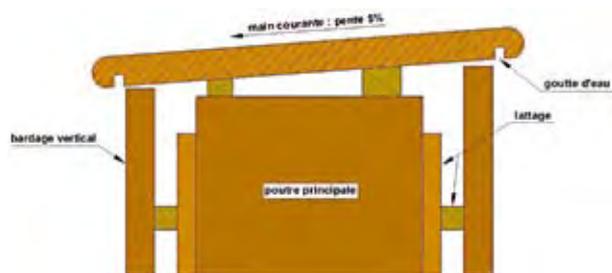


Figure 50 : main courante

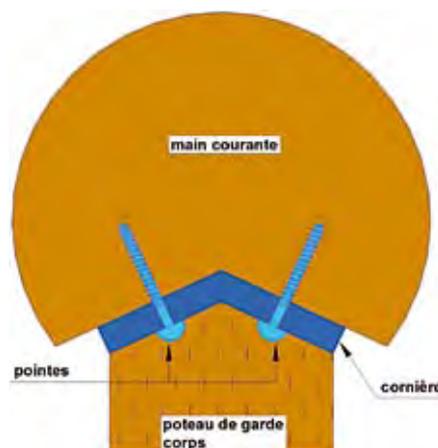


Figure 51 : assemblages protégés



Photo 64 : exemple de fixation de main courante

Source : Vincent Barbier (CETE de l'Est - LRPC Nancy)

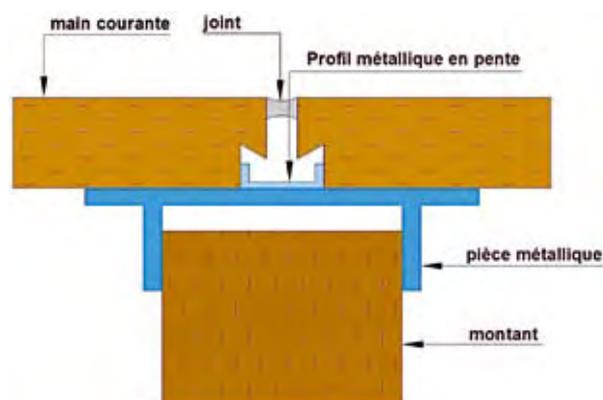


Figure 52 : raccord longitudinal de la main courante

4.3.4 - Les assemblages

Quelques règles sur les assemblages

Les assemblages traditionnels ou bois sur bois

Les assemblages traditionnels sont ceux qui ne font intervenir que du bois. Parmi les nombreux exemples, on peut citer les tenons - mortaises, les embrèvements, les traits de Jupiter, les queues d'arondes. Ces assemblages transmettent essentiellement des efforts de compression.

Les performances de ces assemblages sont relativement limitées et ils sont à étudier soigneusement pour des structures en extérieur pour éviter les risques de pièges à eau (voir photo 50).

Les assemblages mixtes bois métal

Parmi ce type d'assemblage, on recense les assemblages cloués, les assemblages boulonnés, les assemblages brochés ainsi que les assemblages utilisant des anneaux crantés.

Les pointes (clous) peuvent être lisses, torsadées ou striées. Ce sont des organes de faibles diamètres et nécessitant un contingent important pour assurer une bonne capacité de l'assemblage.

Les broches sont des tiges lisses introduites en force dans un percement de diamètre légèrement inférieur à celui de la broche.



Figure 53 : assemblage par tenons et mortaises



Figure 54 : assemblages par embrèvement

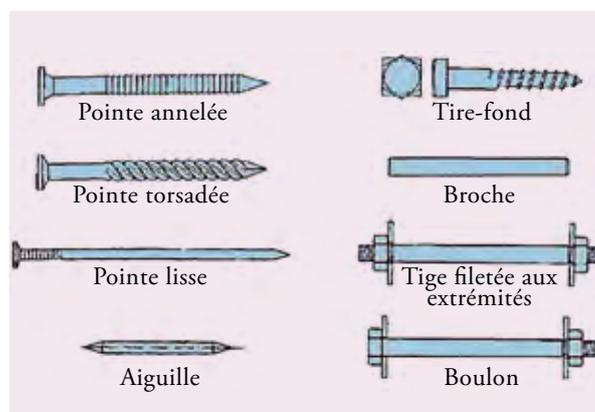


Figure 55 : quelques exemples d'organes métalliques d'assemblage



Figure 56 : assemblage par gousset et broche



Figure 57 : assemblage boulonné

Le principe de fonctionnement est basé sur le cisaillement des organes métalliques. Ces assemblages sont plus ou moins rigides (voir figure 58 qui montre les courbes efforts/déformations des différents assemblages), en fonction du type d'organe, du nombre et de la taille des organes métalliques.

Il est à noter que certains de ces assemblages présentent un jeu initial: avant de transmettre un effort, l'assemblage doit reprendre le jeu qui existe entre le boulon par exemple et le bois.

La disposition des organes de liaison a une influence sur la capacité de l'assemblage (écartement des pointes notamment).

Pour le choix d'un type d'assemblage, il convient d'avoir à l'esprit les points suivants :

- on préférera un assemblage multi-organe plus rigide plutôt qu'un assemblage mono-organe ;
- la capacité de l'assemblage ne croit pas linéairement avec le nombre d'organe: l'augmentation de capacité s'estompe progressivement et peut dans certains cas devenir néfaste ;
- les traitements de préservation (CCA notamment) accélèrent la corrosion des organes métalliques ;
- il faut vérifier la compatibilité chimique entre l'essence et le métal, et éviter d'utiliser des métaux différents.

Les assemblages collés et mécano-collés

Les assemblages collés sont utilisés notamment pour la réalisation de poutres en lamellé collé. Le collage

peut également être un complément à un assemblage mécanique par organes métalliques. Il existe ainsi des assemblages brochés collés dont les performances mécaniques sont excellentes (la rupture en traction se situe dans le métal, mais les résultats dépendent fortement du mode opératoire de mise en œuvre de l'assemblage et de la durée de chargement). Les assemblages collés sont très rigides et n'ont pas de jeu de mise en place.

Ces assemblages sont encore actuellement en développement et pour l'instant il est conseillé de ne les utiliser qu'en s'entourant d'avis techniques d'experts reconnus par les compagnies d'assurance, en particulier pour reprendre des efforts de traction permanente.

Les justifications des assemblages

Les calculs de justifications des assemblages sont à effectués selon l'eurocode EC5. Il s'agit de comparer les propriétés du bois en général avec des sollicitations transversales, ainsi que les performances de l'organe de liaison.

Ventilation du bois

Pour permettre au bois de sécher rapidement après humidification, il faut éviter d'accoler deux pièces de bois sur de grandes longueurs (voir figure 59).

Les bonnes solutions consistent à minimiser la surface de contact et à écarter suffisamment les pièces de bois.

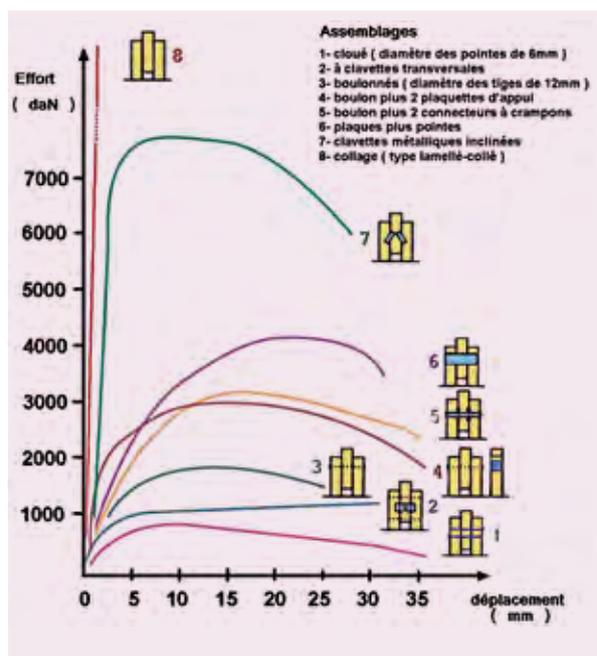


Figure 58 : rigidité des assemblages

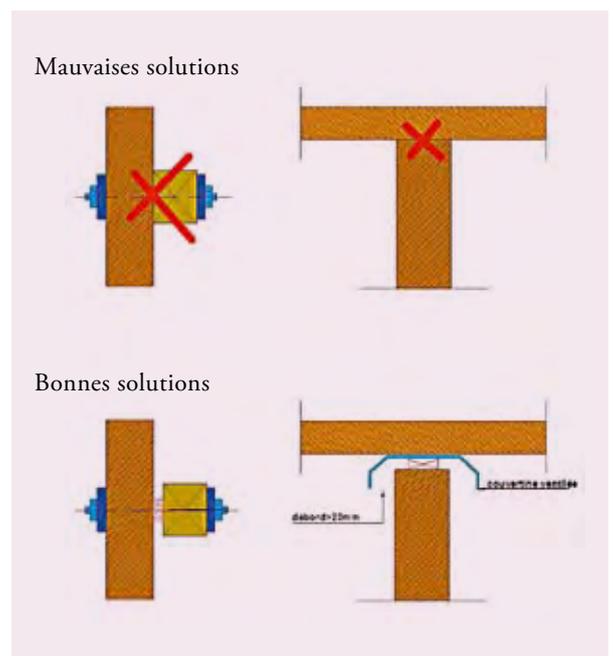


Figure 59 : ventilation dans les assemblages

Pour cela il est possible d'utiliser des rondelles larges (ou plusieurs rondelles superposées) qui présentent en outre l'avantage d'avoir une surface convexe évacuant facilement l'eau.

Dans les photos 65 et 66, les contacts ont été minimisés pour permettre une bonne ventilation du bois.

Remarque

À la place de sections carrées, des sections rondes sont préférables pour les écarteurs, pour assurer une meilleure évacuation de l'eau. Une autre amélioration consiste à incliner les sections carrées, pour ne pas avoir de surface horizontale.

Liaison avec les appuis

Le contact direct entre le bois et le béton est à éviter car le béton des appuis est un substrat humide ou susceptible de l'être, ce qui peut conduire à une humidification du bois. Celui-ci aura d'autant plus de mal à sécher qu'il n'est pas ventilé.

La solution consiste à éloigner le bois par l'intermédiaire d'un organe métallique : l'humidification par le béton n'est plus possible et le bois est ventilé. La platine

métallique supportant le poteau est de dimension plus faible (au moins 10 mm de chaque côté) pour éviter des pièges à eau par capillarité. La solution peut être encore améliorée en créant une goutte d'eau sous le pourtour du montant en bois (voir photo 67- exemple 2).

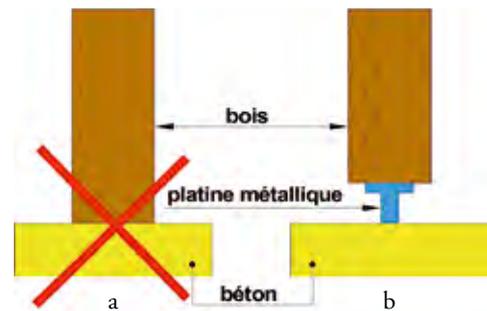


Figure 60 : liaison avec appui en béton. Mauvaise conception d'assemblage (solution a) et bonne conception d'assemblage (solution b)



Photos 65 : ventilation du bois sur toutes ses faces
Source : Vincent Barbier (CETE de l'Est - LRPC Nancy)



Photo 66 : minimisation des surfaces de contact
Source : Vincent Barbier (CETE de l'Est - LRPC Nancy)



Photos 67 : deux bons exemples de pieds de poteaux ventilés – Source : Vincent Barbier (CETE de l'Est - LRPC Nancy)



Pièges à eau

Dans les assemblages, il faut éviter toute accumulation d'eau. L'utilisation de sabots métalliques, qui induisent la formation de zones de rétention d'eau, est à proscrire s'ils ne sont pas complètement protégés des intempéries.

La solution (b) est préférable car le risque d'accumulation d'eau est réduit :

- des rondelles viennent écarter les écrous, permettant une meilleure évacuation de l'eau et une meilleure ventilation du bois ;
- des rondelles soudées à la plaque métallique écartent le bois de l'organe métallique moisé (i.e. pris en sandwich entre le bois), pour assurer la ventilation ; des engravures pourront être insérées en pied de poteau pour permettre la formation de goutte d'eau et pour éviter la pénétration d'eau dans le bois de bout.

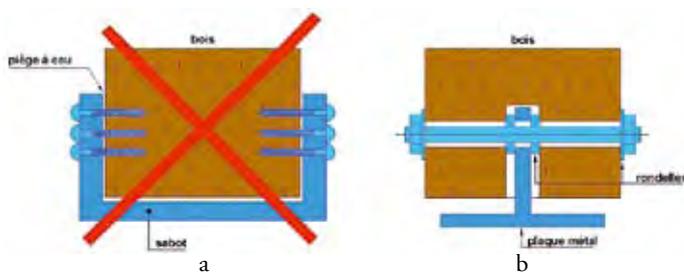


Figure 61 : mauvaise conception d'assemblage (solution a) et bonne conception d'assemblage (solution b)

4.3.5 - Les platelages

Plusieurs types de platelage peuvent être envisagés :

- le platelage en bois, notamment pour les passerelles piétons ;
- le platelage en bois recouvert d'une couche de roulement bitumée ;
- on peut également choisir de réaliser le tablier en béton (pont mixte bois/béton) et de le recouvrir d'une couche de roulement bitumée.

Platelage bois

Pour éviter d'avoir un revêtement trop glissant, le bois peut être entaillé dans le sens perpendiculaire à la marche. Un exemple de rainurage est donné dans la figure 62. Les dimensions sont données en millimètres. Les fixations peuvent être réalisées par des vis s'insérant dans certaines encoches.

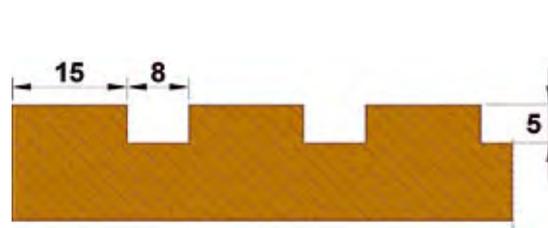


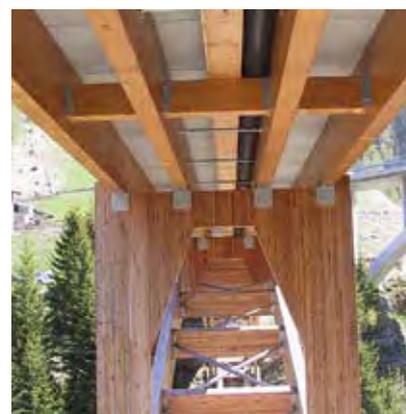
Figure 62 : bois rainuré pour platelage



Platelage bois



Revêtement bitumé



Pont mixte bois béton

Photos 68 : différents types de tablier – Source : Vincent Barbier (CETE de l'Est - LRPC Nancy)

Le platelage ajouré réserve des intervalles entre les planches de 8 à 12 mm pour tenir compte des phénomènes de retrait et gonflement du bois.

De la résine chargée de corindon peut être mise en place dans les rainures, mais ces produits sont coûteux. Enfin il existe des tapis antidérapant en matières plastiques, qui cachent alors le bois.

Pour protéger les poutres structurelles (entretoises et principales) d'éventuelles venues d'eau, on peut insérer une couverture. Pour être efficace, elle doit déborder d'au moins 20 mm et se terminer par exemple verticalement pour former une goutte d'eau (voir l'exemple donné dans la figure 59).

Les lames de bois devront être livrées dans un état proche de l'équilibre hygroscopique. Des fentes de décharges pourront être réalisées en sous faces pour maîtriser les fentes lors du séchage. Pour assurer un bon calage entre les éléments de platelage et les solives et pour diminuer le bruit, on pourra placer des rondelles en caoutchouc entre les éléments. Le rôle du caoutchouc serait aussi de reprendre les déformations de séchage, pour éviter l'apparition de jeu.

Une autre technique possible pour réaliser des platelages en bois est de disposer des planches sur leur chant, et les espacer de 10 mm environ, comme ce qui a été fait pour la passerelle de Grigny (voir le chapitre 4.1.3).

Platelage bitumé

Les revêtements bitumés assurent une bonne adhérence et sont à privilégier pour la circulation automobile et cycliste.

Il est important de maîtriser l'étanchéité pour éviter des désordres sur la structure. Pour cela, il faut éviter le contact du bitume avec le bois, en particulier avec les poutres principales.

La figure 63 propose de façon schématique l'utilisation d'un profil en aluminium pour assurer la fermeture latérale de la zone de chaussée et pour permettre une continuité de l'étanchéité.

Sur la figure 63, le bardage de la poutre principale ne descend pas jusqu'au niveau de la chaussée (hauteur de 10 cm minimum). Cet espace doit permettre de nettoyer facilement les salissures qui peuvent s'y insérer, mais le rôle de protection initial du bardage doit toujours resté assuré. Si l'espace laissé est trop restreint, il devient difficile - voire impossible - de nettoyer, ce qui nuit à la durabilité.

Pour l'arrêt longitudinal de la chaussée, on peut également utiliser un profil en T.

Enfin, pour améliorer l'étanchéité, un pare-pluie peut être tendu sur le premier lit de lattage du bardage, pour maintenir une bonne ventilation du bois de structure.

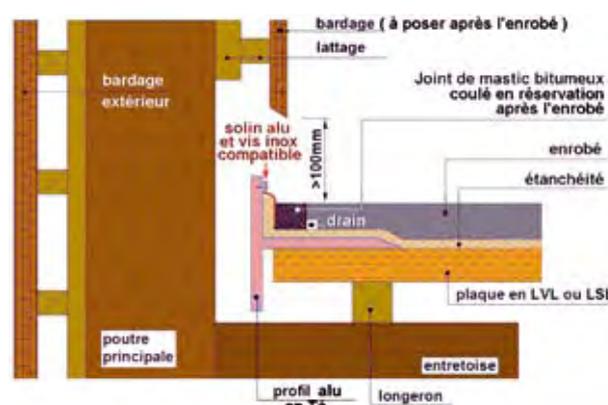


Figure 63 : détail d'étanchéité de chaussée



Photo 69 : profil métallique délimitant la zone bitumée
Source : Vincent Barbier (CETE de l'Est - LRPC Nancy)

4.4 - Choix des essences

4.4.1 - Bois en classe d'emploi 2

Parties concernées

Dans un ouvrage de franchissement, le bois peut être considéré en classe d'emploi 2 s'il est protégé des intempéries. Ceci est le cas pour :

- les ponts couverts : la charpente et tous les bois protégés de la pluie, sauf pour les poutres latérales des ponts routiers exposées au risque de brumisation lors du passage de véhicules ;
- les bois protégés par un bardage.

Essences utilisables

La plupart des essences peuvent convenir, mais en pratique les essences couramment utilisées sont le pin sylvestre et le douglas.

Ces essences sont facilement utilisables pour fabriquer du lamellé collé (la production de lamellé collé d'épicéa est la plus importante).

Traitements

Aucun traitement fongique n'est nécessaire. Les traitements insecticides sont conseillés, notamment contre les termites dans les zones infestées.

La mise en œuvre du traitement insecticide est le trempage court pour des faibles longueurs et le badigeonnage pour de fortes longueurs (lamellé collé).

4.4.2 - Bois en classe d'emploi 3

Remarque liminaire

La classe d'emploi 3 est divisée en deux : la sous-classe 3a correspondant à une faible exposition et la sous-classe 3b correspondant à une forte exposition.

Dans la pratique, seul le bardage peut être réellement considéré en classe d'emploi 3a, c'est pourquoi il est traité à part au chapitre 4.4.3).

Dans la suite, seule la classe d'emploi 3b est examinée.

Parties d'ouvrage concernées

Les parties concernées sont les poutres sous chaussées des ponts routiers, tous les bois non protégés mais permettant du fait de leur inclinaison une bonne évacuation des eaux.

Essences utilisables

Sans traitement fongique

Les essences suffisamment durables doivent être purgées de leur aubier. Les plus courantes sont :

- le douglas ;
- le mélèze ;
- le chêne et le châtaignier.

Les essences résineuses citées peuvent être utilisées pour la confection du lamellé collé.

Avec traitement fongique

Toutes les essences (non purgées d'aubier) suffisamment imprégnables peuvent convenir.

Le choix se portera principalement sur le douglas, le mélèze, les pins, le sapin et l'épicéa.

Le traitement est obligatoirement mis en œuvre par des sels métalliques, de la créosote ou des produits pétroliers.

Dans tous les cas (avec ou sans traitement fongique) un traitement insecticide est préférable.

4.4.3 - Cas particulier du bardage

Généralités

Le bois de bardage est considéré dans la classe d'emploi 3. Pour cet élément non structurel, la durée de vie normale peut être limitée à 25 ans, voire moins si l'on accepte son remplacement dans le cadre d'une maintenance régulière. Ceci permet d'utiliser une large gamme d'essence, sans avoir à recourir à des traitements de préservation lourds.

Les planches de bardage ont une largeur généralement comprise entre 120 et 150 mm pour une épaisseur de 18 à 27 mm.

Différents principes de bardage existent, le plus simple étant de réaliser un bardage vertical à recouvrement (voir figure 47).

Les pointes de fixations sont en acier inoxydable austénitique (sauf exceptions) et doivent pénétrer d'au moins 35 mm dans le liteau.

Essences ayant une durabilité naturelle suffisante

Pour être suffisamment durables, les bois devront être systématiquement purgés de leur aubier.

Parmi les essences suffisamment durables, le choix peut s'établir entre :

- Douglas ;
- Mélèze ;
- Western Red Cedar.

Le chêne et le châtaignier peuvent également être envisagés. Dans ce cas, les pointes sont obligatoirement en acier non galvanisé ou en acier inoxydable.

Durabilité conférée par traitement

Pour le bardage, toutes les essences peuvent convenir après traitement. Pour les bardages en contact avec le public on évite les traitements présentant un risque pour la santé.

Le mode de traitement le plus courant est l'autoclave. Le trempage court est suffisant, notamment pour un bardage disposé verticalement.

Le traitement à haute température est envisageable, mais des avant-trous devront être percés avant enfonçage des pointes (risque d'éclatement).

Les essences peuvent être utilisées avec leur aubier. Le choix se fera principalement parmi les essences suivantes : Douglas, Mélèze, Pins, Epicéa, Sapin.

4.4.4 - Bois en classe d'emploi 4 et 5

Parties concernées

La classe d'emploi 4 est atteinte pour les bois disposés horizontalement, au contact du béton, du sol ou de l'eau. La classe d'emploi 5 implique un contact avec l'eau de mer.

Les parties d'ouvrage concernées sont :

- tout bois disposé horizontalement et non protégé, notamment le platelage ;
- le solivage du platelage bois, s'il n'est pas protégé par une couverture ;
- les pieux et les pilotis (classe d'emploi 4 ou 5).

Essences utilisables

Sans traitement fongique

Parmi les essences indigènes européennes, seul le chêne et le châtaignier sont naturellement suffisamment durables en classe d'emploi 4. Pour la classe d'emploi 5 aucune essence européenne ne peut convenir sans traitement.

Parmi les bois tropicaux en revanche, de nombreuses essences sont naturellement suffisamment durables en classe d'emploi 4, et quelques-unes en classe d'emploi 5. L'iroko ne peut être utilisé que pour les platelages, le doussié couvre toute la classe d'emploi 4. L'azobé, le bilinga, l'ipé couvrent les classes d'emploi 4 et 5. Le bilinga, l'iroko et le doussié présentent la particularité de pouvoir être collés. Il est possible d'élargir la gamme des essences en prenant conseil auprès du CIRAD forêt.

Remarque

Demander sans plus de précision «un bois exotique» ne garantit pas la durabilité du bois : certaines essences (comme le Kondroti, le Koto, le Bahia...) sont en effet très peu durables.

Avec traitement fongique

En pratique le pin est la seule essence utilisable. Hormis pour le platelage, les bois ne sont pas équarris, car le duramen n'est quasiment pas imprégnable et n'est pas suffisamment durable pour de telles expositions.

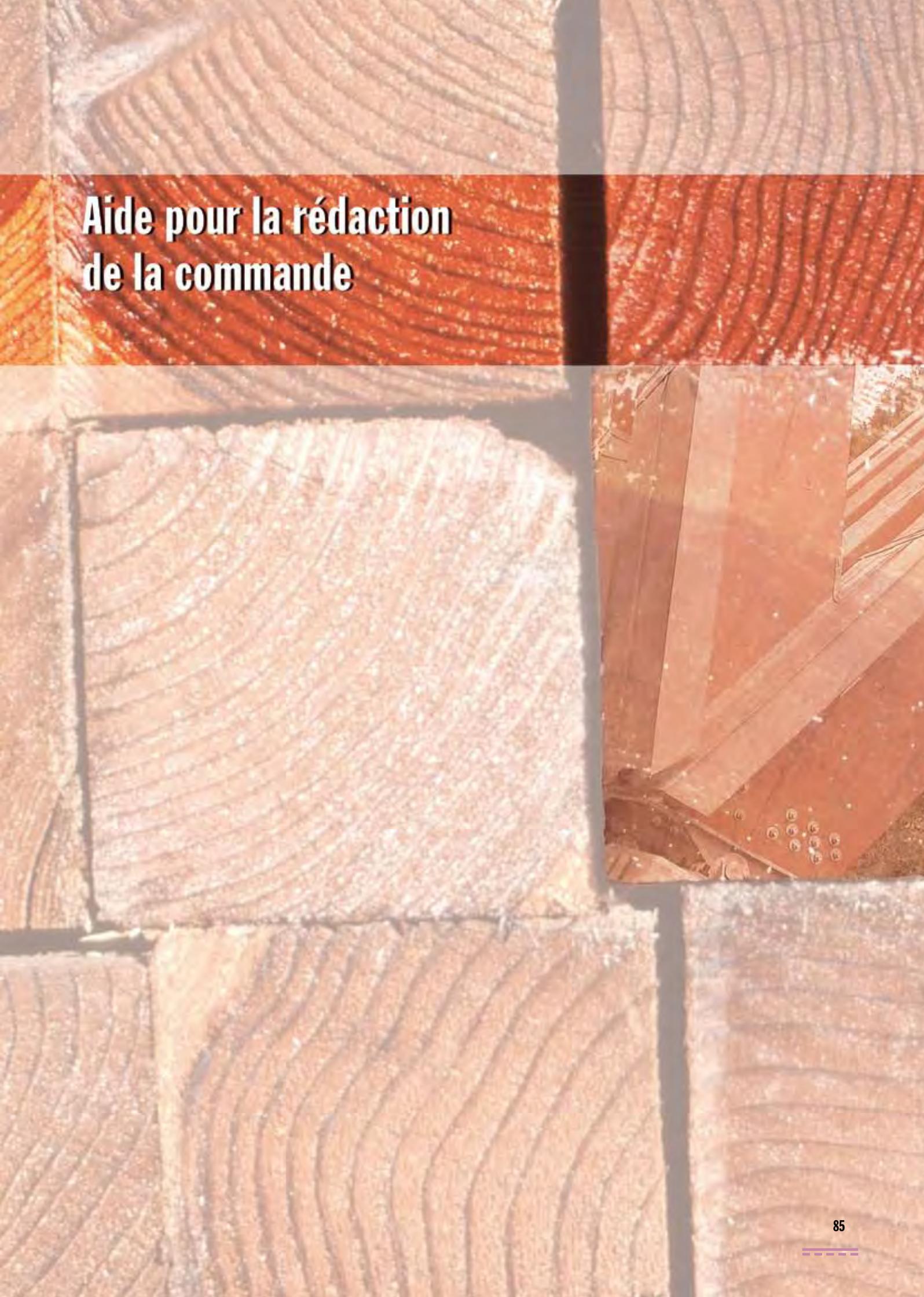
Le traitement est à base de sels métalliques ou de créosote. Il est obligatoirement mis en œuvre dans un autoclave. Le dosage est fonction de la classe d'emploi.

4.4.5 - Tableau récapitulatif pour choisir l'essence

Classe d'emploi	Zones de pont concernées	Essences possibles	Traitements	Profondeur du traitement	Risques sanitaires et pour l'environnement
2	Bois sous toiture	Sapin, Épicéa	Insecticide	Superficiel	Faibles
	Bois bardé et ventilé	Douglas, Pins, Chêne	Aucun si purgé d'aubier		Aucun
3.a	Bardage	Châtaigner, Mélèze, Douglas	Aucun si purgé d'aubier	Néant	Aucun
		Sapin, Épicéa	Insecticide + fongicide	Superficiel	Faibles
3.b	Bois sous chaussée étanche	Chêne, Châtaigner, Mélèze, Douglas	Aucun si purgé d'aubier	Néant	Aucun
	Bois non bardé ou couvert, incliné de 30° minimum	Pins, Sapin, Épicéa	Insecticide + fongicide	En profondeur	Forts : toxicité des produits, et en fin de vie
4	Platelage	Chêne, Iroko, Azobé, Bilinga	Aucun si purgé d'aubier	Néant	Aucun
	Bois sous chaussée non étanche	Pins, Sapin, Épicéa	Insecticide + fongicide	En profondeur	Forts : toxicité des produits, et en fin de vie
	Bois horizontaux ou faiblement inclinés (< 30°)				
5	Bois au contact de l'eau de mer	Azobé, Bilinga	Aucun si purger d'aubier	Aucun	Aucun
	Bois au contact de l'eau de mer	Pins	Insecticide + fongicide	En profondeur	Forts : toxicité des produits, et en fin de vie

Les solutions à retenir	
Possible, mais bien réfléchir à la conception	Possible, mais préférer d'autres essences
Précautions à prendre	

Tableau 14



Aide pour la rédaction de la commande

5.1 - Définition de la commande

5.1.1 - Le programme de l'ouvrage

Il est recommandé d'établir avant toute chose une étude préliminaire qui passe en revue les différentes solutions techniques et architecturales possibles. La solution retenue fait ensuite l'objet d'un avant-projet détaillé. Au cours de ces différentes phases de la gestation du projet, des études géotechniques, hydrauliques, d'évaluation des risques, ou autres sont par exemple lancées pour valider les choix divers qui concernent notamment les fondations et appuis et la structure elle-même.

Seuls les éléments spécifiques à la construction en bois sont abordés dans cette partie.

On se reportera pour plus de détails généraux aux autres guides du Sétra concernant l'organisation des études, et le suivi de l'exécution des ouvrages d'art, notamment :

- guide pour la commande et le pilotage des études d'ouvrages d'art, Sétra - novembre 1997. (annexe 6.11/27) ;
- guide pour une démarche d'Assurance Qualité - Études de conception et d'exécution d'ouvrages de Génie Civil : Sétra - SNCF, décembre 1997 (annexe 6.11/28) ;
- guide du Projeteur d'Ouvrages d'Art - Ponts courants, Sétra - janvier 1999 (annexe 6.11/29) ;
- le Bulletin Technique n° 8 du Sétra sur le montage des ponts métalliques peut donner des indications utiles pour étudier le montage d'un pont en bois. (annexe 6.11/30).

Le prescripteur précise dans sa commande la nature des travaux, en donnant notamment les principales caractéristiques géométriques et fonctionnelles de l'ouvrage : longueur, largeur, charges (piétons, VL, PL...). **Les charges piétonnes de l'Eurocode 1 sont les plus complètes**, et sont adaptées à des justifications de structures menées avec l'Eurocode 5. Des cas de charge transversalement dissymétriques sont en particulier à prévoir sur les ponts piétons en bois, du fait de la relative légèreté des charpentes.

Dans la commande la durée de vie envisagée pour l'ouvrage doit être précisée. En général, la durée de vie d'un Ouvrage d'Art peut être estimée à 50 ans au moins pour une passerelle, et à 100 ans pour un pont routier. Les éléments facilement remplaçables et clairement identifiés peuvent avoir une durée de vie réduite à 25 ans (bardage, platelage...).

Des prescriptions supplémentaires liées à l'environnement et à la fin de vie de l'ouvrage pourront être stipulées, en interdisant par exemple le recours à certains traitements chimiques de préservation.

Une hauteur libre suffisante doit être laissée sous l'ouvrage qui franchit une chaussée ouverte à la circulation routière. Les structures en bois sont sensibles aux chocs et considérées comme légères. Une revanche minimale de protection de 0,60 m, au sens de la circulaire du 17 octobre 1986 du ministère de l'Équipement est donc recommandée, comme précisé au début de la Partie 4, « conception ».

Enfin, d'une manière générale les recommandations du présent guide doivent être reformulées dans le marché, et adaptées au cas particulier à traiter, de façon à être ainsi rendues contractuelles, car il n'existe pas de fascicule du CCTG (Cahier des Clauses Techniques Générales) consacré spécifiquement à la construction en bois.

5.1.2 - Qualification de l'entreprise

Concernant le lamellé collé, il existe une certification ACERBOIS GLULAM pour garantir une fabrication dans les règles de l'art. Cette qualification et le marquage CE peuvent être exigés au marché.

Le bois lamellé collé reçoit la certification CE depuis fin 2004. Le marquage européen CE est obligatoire dès 2007.

5.1.3 - Maîtrise d'œuvre

Le maître d'œuvre définit pour chaque partie d'ouvrage :

- la durabilité qui est attendue ;
- la classe d'emploi ;
- l'essence ;
- les traitements éventuels ;
- la classe de service au sens de l'Eurocode 5 ;
- les principes de protection du bois.

5.1.4 - Contrôle extérieur

En outre, le maître d'ouvrage prévoit un contrôle extérieur de l'entreprise et de son bureau d'étude. Un bureau d'étude contrôle les études pour le compte du maître d'œuvre, et un laboratoire contrôle en parallèle les matériaux et les conditions de leur mise en œuvre sur chantier.

Ces contrôles comprennent au minimum les points suivants :

- la validation des dispositions constructives ;
- la validation du choix des essences et des traitements ;
- la vérification de la note de calculs ;
- la reconnaissance des essences (notamment dans le cas de bois tropicaux) ;
- le contrôle de la teneur en eau du bois ;
- le contrôle dimensionnel des différents éléments ;
- la réalisation d'essais mécaniques sur les matériaux ou le contrôle visuel des éléments livrés.

Certains de ces contrôles peuvent être vérifiés par sondage et ne se substituent en aucun cas aux contrôles propres à l'entreprise (interne ou externe). Les PV du contrôle de l'entreprise sur les points précédemment cités sont examinés par le contrôle extérieur.

5.2 - Préparation et organisation du chantier

5.2.1 - Documents à fournir par l'entrepreneur

Avant d'être admise à concourir à l'appel d'offres, l'entreprise présente ses références en termes de construction d'ouvrages d'art, ou à défaut démontre sa technicité dans la réalisation de structures de portées correspondant à celles du projet.

L'entreprise retenue fournit une note de calculs selon l'Eurocode 5. Elle précise la classe de service retenue (2 : humidité inférieure à 20 % ou 3 : humidité supérieure à 20 %) ainsi que les hypothèses retenues, notamment concernant les propriétés mécaniques des matériaux.

L'entreprise remet une liste des plans et procédures d'exécution et un échancier. En particulier les plans suivants sont fournis :

- plan de masse (implantation, vue en plan, élévation, repérage des éléments) ;
- coupes longitudinale et transversales (sur appui et en travée) ;
- détails constructifs : assemblages, liaisons avec les appuis, liaison avec la chaussée.

L'entreprise précise comment la durabilité de l'ouvrage est assurée et quels sont les entretiens à prévoir. Pour chaque partie d'ouvrage, l'entreprise rappellera la classe d'emploi, l'essence et le traitement éventuel (produit et mode de mise en œuvre).

Par ailleurs, l'entreprise établit une note à propos de la prise en compte des phénomènes de retrait et de gonflement du bois (efforts engendrés, solutions apportées aux phénomènes de tuilage pour les sections élancées, ...).

5.2.2 - Plan d'assurance qualité (PAQ)

L'entreprise propose un plan d'assurance qualité (PAQ) dans lequel sont mentionnés en particulier les points suivants :

- les moyens de l'entreprise (personnel et matériel) ;
- les sous traitants éventuels ;
- l'origine des produits, bois et éléments d'assemblages ;
- les certifications ;
- les méthodes de réalisations adaptées au chantier à réaliser ;
- l'organisation du contrôle interne ;
- le contrôle interne (humidité, reconnaissance de l'essence, validité du collage, ...) ;
- la gestion des déchets en usine et **sur chantier** ;
- les dispositions d'hygiène et de sécurité prises pour les ouvriers, en usine et **sur chantier**, en se reportant par exemple sur le **PPSPS** (Plan particulier de sécurité et de protection de la santé).

C'est donc un des objets du PAQ d'établir la **traçabilité du bois**, depuis l'abattage jusqu'à la réception de l'ouvrage. Les méthodes de réalisation, comme les dispositions diverses prises sur chantier doivent être spécifiquement adaptées au projet et il ne s'agit pas, par égard pour les forêts, de remettre systématiquement d'épais documents passe-partout.

Les points qui suivent font l'objet d'une attention particulière. Ils sont définis dans les pièces écrites de l'appel d'offre et rendus contractuels. Le RPAO (Règlement particulier de l'Appel d'Offre) est la pièce du marché la mieux adaptée à cette fonction. On distingue **les points critiques et les points d'arrêt** selon l'importance qu'ils revêtent pour la qualité de la construction. Afin d'éviter une dérive vers un simulacre de qualité à caractère bureaucratique, les points d'arrêt doivent être prévus en nombre limité : pas plus d'un par semaine en moyenne pour une entreprise ! L'entrepreneur complète le cas échéant cette liste en fonction de son organisation.

Les **points critiques** sont les points où il revêt une importance que l'exécutant pointe la vérification formelle d'une conformité.

Les **points d'arrêt** sont des points de passage où l'exécutant doit obtenir l'accord du contrôleur agissant pour le compte du Maître d'œuvre, parce qu'il est essentiel qu'un constat contradictoire ait lieu. C'est le client ou son représentant, souvent appelé en France « Maître d'œuvre », qui signe la levée du point d'arrêt.

Les **principaux points d'arrêts à prévoir dans le marché lors de la construction d'un pont en bois sont énumérés et soulignés ci-dessous**. Ils se décomposent le plus souvent en contrôles et vérifications élémentaires qui sont pour la plupart des points critiques dont on examine et contrôle alors les documents de suivi. Cependant certains de ces contrôles élémentaires, du fait de leur importance, constituent aussi des points d'arrêt :

- **Réception des bois par l'entreprise (Point d'arrêt)**
 - contrôle du **bordereau de livraison** indiquant notamment le nom et l'adresse du scieur, la méthode de classement, l'essence, le classement mécanique, la provenance du bois (**Point d'arrêt**) ;
 - contrôle des dimensions (Point critique) ;
 - contrôle des **humidités des bois (Point d'arrêt)** ;
 - contrôle de l'essence sur échantillon ou d'après bon de livraison (Point critique) ;
 - contrôle du traitement (vérification de l'attestation et éventuellement contrôle de conformité) (Point critique) ;
 - contrôle de résistance (visuel ou tests) (Point critique).
- **Contrôles avant collage (Point d'arrêt)**
 - contrôle des humidités des bois (Point critique) ;
 - vérification du certificat de la colle (Point critique).
- **Contrôles après collage (Point d'arrêt)**
 - contrôle des dimensions (Point critique) ;
 - essai de délamination ou de cisaillement du joint de colle (Point critique).
- **Finition en atelier (Point d'arrêt)**
 - contrôle du produit (origine, type) et des moyens de mise en œuvre (Point critique).
- **Montage à blanc en atelier : à exiger (Point d'arrêt)**
 - vérification des compatibilités géométriques (Point critique) ;
 - vérification des ferrures (origine, matériau, compatibilités chimiques et électro-chimiques) (Point critique).
- **Pendant le montage (Point d'arrêt)**
 - contrôle de la méthode de pose (Point critique) ;
 - contrôle de la pose de l'étanchéité (Point critique) ;
 - contrôle du produit de finition et des moyens de mise en œuvre (Point critique) ;
 - contrôle de la pose des éléments secondaires (Point critique).
- **Après le montage**
 - essai de chargement (Point d'arrêt) ;
 - contrôle des humidités (Point d'arrêt).

5.2.3 - Procédures d'exécution

L'entreprise doit communiquer les différentes procédures d'exécution nécessaire à la fabrication de l'ouvrage. Bien sûr, c'est encore au marché à le préciser.

Pour la partie fabrication en atelier :

- **description du mode de fabrication des poutres en lamellé collé**, avec indications sur les gabarits de montage, des pressions de serrage, des températures de collage, des durées d'applications du serrage, du type d'encollage (simple ou double face), de la quantité d'adhésif déposé, de la préparation des adhésifs ;
- **description du mode de débit**, avec indications sur le contrôle dimensionnel ;
- **description du séchage**, avec indications sur le contrôle de l'humidité ;
- **description du mode de traitement**, avec indications sur le contrôle de la profondeur de pénétration et de l'exigence de rétention ;
- **description du montage à blanc**.

Pour la partie montage sur site :

- l'article III.8 du fascicule 66 du CCTG (Cahier des Clauses Techniques Générales applicables aux marchés publics) peut être rendu contractuel pour la charpente en bois.

5.2.4 - Dispositions constructives

Le prescripteur insistera sur l'importance des détails de conception. Il rappellera que le minimum d'eau doit venir en contact avec le bois et que l'évacuation de l'eau et la ventilation du bois doivent être aisées.

Pour cela, il convient de respecter au mieux les principes suivants :

- protéger le bois par un toit, une couverture ou un bardage ;
- éviter le contact direct avec le sol ou du béton ;
- éviter d'exposer directement aux intempéries le bois de bout en le protégeant par une couverture ou par un bardage ;
- éviter le contact direct de deux surfaces de bois : des pièces métalliques sont à utiliser pour écarter les bois et permettre une bonne ventilation ;
- éviter de disposer le bois horizontalement. Sinon prévoir un profil transversal avec une pente de 5 % pour permettre une évacuation correcte de la pluie ;
- prévoir des débords et des engravures pour former des gouttes d'eau ;
- éviter les pièges à eau, en particulier dans les assemblages ;
- préférer des assemblages non exposés aux intempéries.

Parmi les autres principes d'une bonne conception, les points suivants sont à retenir :

- au-delà d'un élancement surfacique (rapport h/b) des pièces structurales en bois à 5, les phénomènes de tuilage sont à prendre en compte ;
- prévoir des butées (par exemple sous la forme de trottoirs) sur les ponts routiers pour éviter les chocs directs sur la structure. Leur hauteur est d'au moins 20 cm ;
- ne pas oublier de prendre en compte les phénomènes de retrait et de gonflement du bois.

5.2.5 - Textes réglementaires et règlements de calculs

Le CCTP doit préciser les textes réglementaires en vigueur. Pour les calculs, l'eurocode EC5 est appliqué.

Il convient également de faire référence explicite aux différentes normes concernant la préservation des bois (NF EN 335 -1 et 2, NF EN 350 - 1 et 2, NF EN 460 notamment), ainsi que toutes les normes précisant les critères d'acceptation géométrique. La liste des normes concernant le bois est jointe en annexe.

5.2.6 - Actions, sollicitations, justifications

Les actions sont définies dans l'eurocode EC1. Pour la structure en bois, il convient de prendre en compte l'effet d'une variation d'humidité du bois.

Les sollicitations et les justifications sont définies dans l'eurocode EC5.

L'entreprise précise et justifie les hypothèses de calculs retenues pour les matériaux en fonction des essais.

5.3 - Provenance, qualité et préparation des matériaux

5.3.1 - Matériau bois

Essences

En général les essences les plus couramment utilisées sont les essences résineuses.

Le prescripteur définit précisément l'essence de bois ou donne un critère d'équivalence (durabilité vis-à-vis

des champignons, densité, dureté, rétractabilité, ...) selon une référence précise (normes, atlas des bois tropicaux, ...).

Par exemple, le prescripteur peut demander :

L'essence pour le bardage est du mélèze ou du douglas, purgés d'aubier, ou à défaut une essence de durabilité naturelle vis-à-vis des champignons de classe 3-4 ou meilleure, selon la norme européenne EN 350-2.

Le prescripteur est invité à sélectionner l'essence parmi celles indiquées au chapitre 4.4 « Choix des essences ».

Humidité du bois

Le bois doit être mis en œuvre à l'humidité moyenne de service, qui dépend de la situation géographique, diminuée d'au moins un point. En tout état de cause l'humidité ne doit pas en moyenne excéder 18 %.

Le prescripteur indique l'humidité maximale d'une fraction du lot à partir de laquelle un lot de bois est refusé. Il indique également qui (maître d'œuvre ou contrôle extérieur) contrôle l'humidité des bois et selon quel échantillonnage.

Par exemple, le prescripteur peut demander :

Le lot est refusé si au moins 5 % des bois contrôlés présentent une humidité supérieure à 20 % ou si la moyenne de l'humidité des bois est supérieure à l'humidité moyenne en service plus 2 %.

Durant le stockage et le transport, le bois est protégé de manière à éviter les reprises d'humidité.

Classement mécanique

Le prescripteur indique le classement mécanique du bois, d'après la norme EN 518 (classement visuel) ou EN 519 (classement mécanique).

Les classements C18, C24 et C30 peuvent être demandés pour des résineux. Cependant le choix du classement C30 est déconseillé en raison du surcoût important. Son emploi est réservé à des ouvrages importants.

Par exemple, le prescripteur peut demander :

Le bois de structure est classé mécaniquement au minimum C24.

Pour le Douglas le classement C30 est obligatoirement réalisé par machine. Ceci vaut également pour tous les classements supérieurs à C30 quelle que soit l'essence.

Pour le lamellé collé, le choix est en pratique limité aux GL24 et GL28. Le GL32 est peu disponible en France.

Section des bois et tolérances

Pour les bois massifs, les sections sont choisies de préférence parmi les sections standards définies à l'annexe 6.9. Les dimensions sont données à 20 % d'humidité.

Pour le bois lamellé collé, au-delà d'un élanement surfacique de 5, une justification est apportée pour tenir compte des phénomènes de tuilage : la poutre est par exemple : soit protégée par un bardage, soit raidie par des pièces métalliques.

Le prescripteur indique les tolérances de précisions ou se référant à une norme.

A ce sujet, le DTU 31.1 (NF P 21-203) charpentes en bois indique par exemple des tolérances de + ou - 8 mm sur les longueurs de moins de 6 m, + 0 à - 5 mm sur les dimensions transversales de plus de 50 mm.

La norme NF EN 1313-1 dont l'emploi est appelé à se généraliser donne des tolérances différentes : - 2 à + 4 mm pour les dimensions transversales supérieures à 100 mm et - 1 à + 3 mm pour les dimensions transversales inférieures à 100 mm.

Adhésif

La colle utilisée pour la réalisation du lamellé-collé doit présenter un agrément extérieur (délivré par le CTBA). Les colles les plus courantes sont la résorcine, la mélamine urée formol et les colles polyuréthanes. Jusqu'en 2005 le lamelliste est certifié Acerbois Glulam, pour garantir le processus de fabrication.

Nous recommandons que le prescripteur demande en outre que le produit soit marqué CE.

*Par exemple, le prescripteur peut demander :
Le lamellé collé est marqué CE, et la colle utilisée est exclusivement de la résorcine.*

Bois tropicaux

Pour les bois tropicaux, le prescripteur doit imposer la traçabilité du bois. Il peut demander que le bois provienne d'une forêt gérée durablement, c'est à dire une certification PEFC ou équivalent, sans exiger toutefois des certifications FSC ou PAFC, ce qui serait excessif pour les raisons qui sont détaillées au début de l'ouvrage au chapitre 2.1.1.

Il convient de définir clairement l'essence ou les critères d'équivalence (densité, dureté, rétractabilité, ...) si la disponibilité de l'essence est faible.

Interaction chimique avec le métal

Certaines essences et traitements ne sont pas compatibles avec le matériau de certaines ferrures.

Avec le chêne et le châtaignier, seul l'acier inoxydable et le cuivre sont utilisés.

Avec le sapin et l'épicéa traité en classe d'emploi 3, ainsi qu'avec le pin traité en classe d'emploi 4, l'aluminium et le zinc sont à éviter.

D'une manière générale, l'entreprise s'assure qu'il n'existe pas d'incompatibilité entre l'essence et le métal retenu ou son éventuelle protection, par exemple par galvanisation. Le contrôle extérieur agissant pour le prescripteur vérifie ces compatibilités.

La galvanisation, peu durable en milieu agressif, est évitée pour assurer la compatibilité.

Réception

Le bois est neuf et brut de sciage.

Le maître d'œuvre, assisté de son contrôleur extérieur, valide la réception des bois après identification de l'essence, contrôle de l'humidité et validation de la classe de résistance soit visuellement, soit par essais mécaniques. Les essais sont menés par sondage ou de façon plus systématique selon le niveau de contrôle interne de l'entreprise.

Le prescripteur peut imposer que pour chaque bois différent (différentes essences, différents traitements), un échantillon représentant la section moyenne du lot soit prélevé pour effectuer des analyses : reconnaissance de l'essence, contrôle de conformité du traitement, essais de résistance mécanique...

5.3.2 - Traitements

Exigences, mise en œuvre

Le prescripteur définit le type de traitement, le mode d'application, la profondeur de pénétration et l'exigence de rétention.

Le terme « traité à cœur » est à proscrire, car c'est une expression incorrecte et peu claire.

*Par exemple, le prescripteur peut demander :
Le bois du platelage est du pin maritime traité conformément à NF B 50-105-3, en autoclave, R4P8, avec un produit certifié CTB P+ à base de sels métalliques conformes aux exigences prévues vis-à-vis de la santé et de l'environnement.*

Certificats, attestations

Le prescripteur demande une attestation de traitement, conformément au modèle indiqué dans la norme NF B 50-105-3.

Des échantillons sont prélevés par l'entrepreneur dans les bois supplémentaires prévus à cet effet, selon la norme d'échantillonnage EN 351-2. Le contrôle extérieur doit pouvoir vérifier la conformité du traitement (pénétration et rétention).

Le prescripteur peut demander que le bois soit certifié CTB B+, ce qui assure une certaine qualité de production. Le label CTB P+ garantit l'efficacité du produit selon le dosage pour une classe d'emploi donnée.

Finition

Le prescripteur peut exiger que les bois soient avec ou sans finition. Deux couches de lasure, ou d'un autre type de produit de protection ou de finition, appliquées en atelier sont recommandées, même si le bois est destiné à devenir gris.

La nature de la finition (lasure, peinture, etc.) est indiquée.

Le nombre de couches d'imprégnation à effectuer avant la pose, de préférence en atelier, et le nombre de couches de finition (après la pose) sont à préciser.

Enfin, la finition doit être obligatoirement pigmentée, de couleur moyenne de préférence (brun moyen). Pour le choix de la couleur initiale, il faut avoir à l'esprit que le bois teinté à une tendance naturelle à s'assombrir.

Par exemple, la demande peut être :

Le bardage est recouvert d'une lasure contenant des agents insecticides et fongicides.

Deux couches de lasure d'imprégnation pigmentée de couleur moyenne sont appliquées en atelier avant la pose, et une couche de lasure de finition pigmentée de couleur moyenne est appliquées après la pose.

Le DTU 59-1 (NF P 74-201-1) concernant les travaux de peinture des bâtiments précise les conditions de mise en œuvre.

5.4 - Exécution des travaux

5.4.1 - Exécution et montage des charpentes en bois

L'article III.8 concernant le montage du fascicule 66 du CCTG « exécution des ouvrages de génie civil à ossature en acier » peut être rendu contractuel pour le montage des structures en bois. L'ensemble du fascicule 66 peut être rendu contractuel pour l'exécution des assemblages métalliques.

Le CCTP doit préciser les normes de références concernant la fabrication et les tolérances dimensionnelles (NF EN 386,387,390 pour le lamellé collé par exemple).

Rappelons encore que les contrôles de suivi à mettre en œuvre par l'entreprise, dont le détail a été abordé plus haut, doivent être précisés par le CCTP.

5.4.2 - Épreuves de l'ouvrage

Les épreuves de l'ouvrages définies réglementairement par le fascicule 61 titre II sont obsolètes.

Il est souhaitable de se référer au guide du Sétra de mars 2004 : « Passerelles piétonnes - Épreuves de chargement des ponts routes et passerelles piétonnes » (annexe 6.11/32). Les clauses extraites de ce guide, qui sont pertinentes pour l'ouvrage, doivent alors être rendues contractuelles.

Si les charpentes sont légères, une attention particulière doit être apportée pour déceler d'éventuels soulèvements d'appuis. Des cas de charge transversalement dissymétriques d'épreuve sont aussi à prévoir sur les ponts piétons.

5.4.3 - Le contrôle interne

Le contrôle interne doit faire parvenir des « documents de suivi d'exécution » au maître d'œuvre et au contrôle extérieur à l'issue de chaque point critique. Un délai de fourniture de ces documents de suivi est à fixer.

Un journal d'atelier et de chantier est tenu, dans lequel sont consignés les conditions atmosphériques et les incidents de montage notamment.

5.4.4 - Le contrôle extérieur

L'exercice du contrôle extérieur, mené pour le compte du maître d'ouvrage et en liaison avec le maître d'œuvre, ne se substitue pas aux contrôles internes ou externes propres à l'entreprise.

Le contrôle extérieur examine les documents de suivi du contrôle interne et contrôle par sondage les opérations listées au PAQ dans les points critiques et point d'arrêt.

Pour les points d'arrêt, un délai de préavis et un délai de réponse sont précisés dans le marché au CCAP (Cahier des Clauses Administratives Générales).

5.5 - Le bordereau des prix unitaires et forfaitaires

Pour les parties d'ouvrages en bois, le BPUF doit être rédigé en rappelant les caractéristiques principales du matériau et de la partie d'ouvrage.

Ci-après figurent quelques exemples de rédaction du BPUF à adapter selon les cas (les éléments à modifier sont en gras). Certains prix peuvent être répétés plusieurs fois, en fonction de l'essence retenue par exemple.

Le bordereau des prix concerne le marché principal d'exécution. Le contrôle extérieur n'est donc pas évoqué puisqu'il n'est pas rémunéré dans le cadre de ce marché.

Quand au contrôle interne de l'entreprise, il est spécifique au PAQ de l'entreprise et n'est généralement pas rémunéré à part dans les marchés de Génie Civil : le prix de chaque prestation inclut donc alors dans ce cas la rémunération des contrôles internes correspondant.

Cependant, le contrôle interne peut aussi faire l'objet dans le bordereau d'un prix spécifique au forfait qui rémunère la fourniture d'un Plan d'Assurance Qualité et l'ensemble des prestations qui en découlent (contrôles géométriques, contrôles d'humidité, etc.). **Cette seconde organisation est préférable pour les marchés de charpente en bois, et elle permet par exemple de rémunérer des essais particuliers décrits par le CCTP sur des éléments témoins.**

Dans les deux cas, la consistance minimale du PAQ est décrite dans le CCTP, et le CCAP précise le mode de rémunération du contrôle interne.

5.5.1 - Prix charpente

Ce prix rémunère la fourniture à pied d'œuvre (livraison sur le site compris, montage exclu) de bois lamellé collé en **épicéa** de classe **GL28** de section comprise entre **200 x 400 mm** et **200 x 900 mm**.

Le prix rémunère également les découpes, les traitements de préservation définis au CCTP, la mise aux conditions hydriques (humidité moyenne en service moins un point), l'ensemble des opérations d'usinage, les assemblages définitifs montés en atelier.

Le prix est réglé en fraction : **20 %** à la réception des bois, **50 %** à la fin des opérations en atelier, **30 %** à la livraison. Le volume de bois rémunéré est celui obtenu après toutes les découpes.

- Le mètre cube de bois (après découpe et usinage) :

5.5.2 - Prix bardage

Ce prix rémunère la fourniture et la pose de bardeau verticaux en **douglas purgé d'aubier**, de section **18 x 120 mm**, de choix* 2 selon NF EN 1611-1, y compris toutes les sujétions qui y sont liées (fourniture et pose du lattage et contre-lattage en **douglas purgé d'aubier**).

- Le mètre carré de bardage :

5.5.3 - Prix de platelage piéton

Ce prix rémunère la fourniture et la pose du platelage et des lambourdes en **bilinga purgé d'aubier** d'épaisseur **75 mm** et de classement mécanique **D50**, y compris l'exécution du rainurage bouché au corindon, ainsi que toutes les sujétions de découpe.

- Le mètre carré de platelage (y compris vides entre les lames).

5.5.4 - Prix montage sur chantier

Ce prix rémunère au forfait l'ensemble des opérations nécessaires au montage en place de la charpente en bois définie au prix 5.5.1. Il comprend les études de montage, les études et l'exécution des ouvrages provisoires, les appareils de montage, les sujétions de manutention, de réglage, d'étalement, de contreventement provisoire et de repliement du matériel spécifique au montage.

Tous les appareils de montage sont agréés par un organisme de contrôle reconnu par la compagnie d'assurance de l'entreprise.

- Le forfait.

5.5.5 - Prix d'aciers pour assemblages

Ce prix rémunère la fourniture et la pose de l'ensemble des organes de liaison métalliques :

- Le kg d'acier S355 K2G3 (NF EN 10025) ;
- Le kg d'acier inoxydable X2CrNiMo 17-12-2 (NF EN 10088-1) ;
- Le kg d'acier inoxydable austénitique A4-70 pour visserie.

5.5.6 - Prix lasurage

Ce prix rémunère la fourniture et l'application de lasure, dont les caractéristiques sont définies au CCTP :

- Le m² appliqué en atelier ;
- Le m² appliqué sur chantier.

5.5.7 - Prix d'épreuves

Ce prix rémunère l'examen préalable de l'ouvrage, les notes d'hypothèses et de calcul, l'élaboration du programme des épreuves, la fourniture, l'amenée et le repli des charges d'épreuves, conformément aux indications définies au CCTP :

- Le forfait.

5.6 - Suivi de l'ouvrage

Un maître d'ouvrage avisé entretient son ouvrage. Il peut demander à l'entreprise dans le marché, au CCAP, d'avoir pris une assurance de responsabilité décennale.

Le **coordonnateur sécurité** et protection de la santé (**SPS**) établit le Dossier d'Interventions Ultérieures sur l'Ouvrage (**DIUO**) sous la responsabilité du maître d'ouvrage qui le missionne directement. Ce dossier rassemble tous les plans et notes techniques de nature à faciliter l'intervention ultérieure sur l'ouvrage (Loi n°93-1418 Art L.235-15, Décret n°94-1159 Art R.238-37 à 39).

Dans le cas d'un pont en bois le DIUO doit prévoir de :

- nettoyer périodiquement certaines parties d'ouvrage pour éviter le contact du bois avec des corps humides ;
- suivre l'état des lasures ;
- suivre l'état des bardages ;
- réaliser les opérations de maintenance, définies dès la conception, qui peuvent comprendre la remise en

peinture / lasure ou le remplacement d'éléments de bardage par exemple.

Pour assurer un suivi correct de l'ouvrage, des inspections détaillées de l'ouvrage devront être réalisées régulièrement, notamment dans les premières années. Les origines des désordres sont en effet généralement rapidement identifiables. Les visites semblables aux visites **IQA** sont menées tous les 3 ans, et les inspections détaillées tous les 6 ans.

Lors d'une inspection détaillée de l'ouvrage, les points suivants sont suivis avec un soin particulier :

- contrôle de l'humidité du bois en plusieurs points ;
- relevé des fentes et fissures ;
- consistance et humidité du bois dans les fentes ;
- état de la finition (si existante) ;
- état général des bois de structure, de protection ;
- état des fixations ;
- état du platelage ;
- présence de salissures.

Le rapport d'inspection conclut sur l'état global de l'ouvrage et propose un échéancier pour les opérations de maintenance.

En cas de désordres avérés, le maître d'œuvre doit prescrire si nécessaire le remplissage des fentes par des résines adaptées, ou le carottage d'échantillon, pour analyse du dosage résiduel de traitements et pour déterminer précisément l'agresseur. Ceci permet de répondre par un traitement adapté.

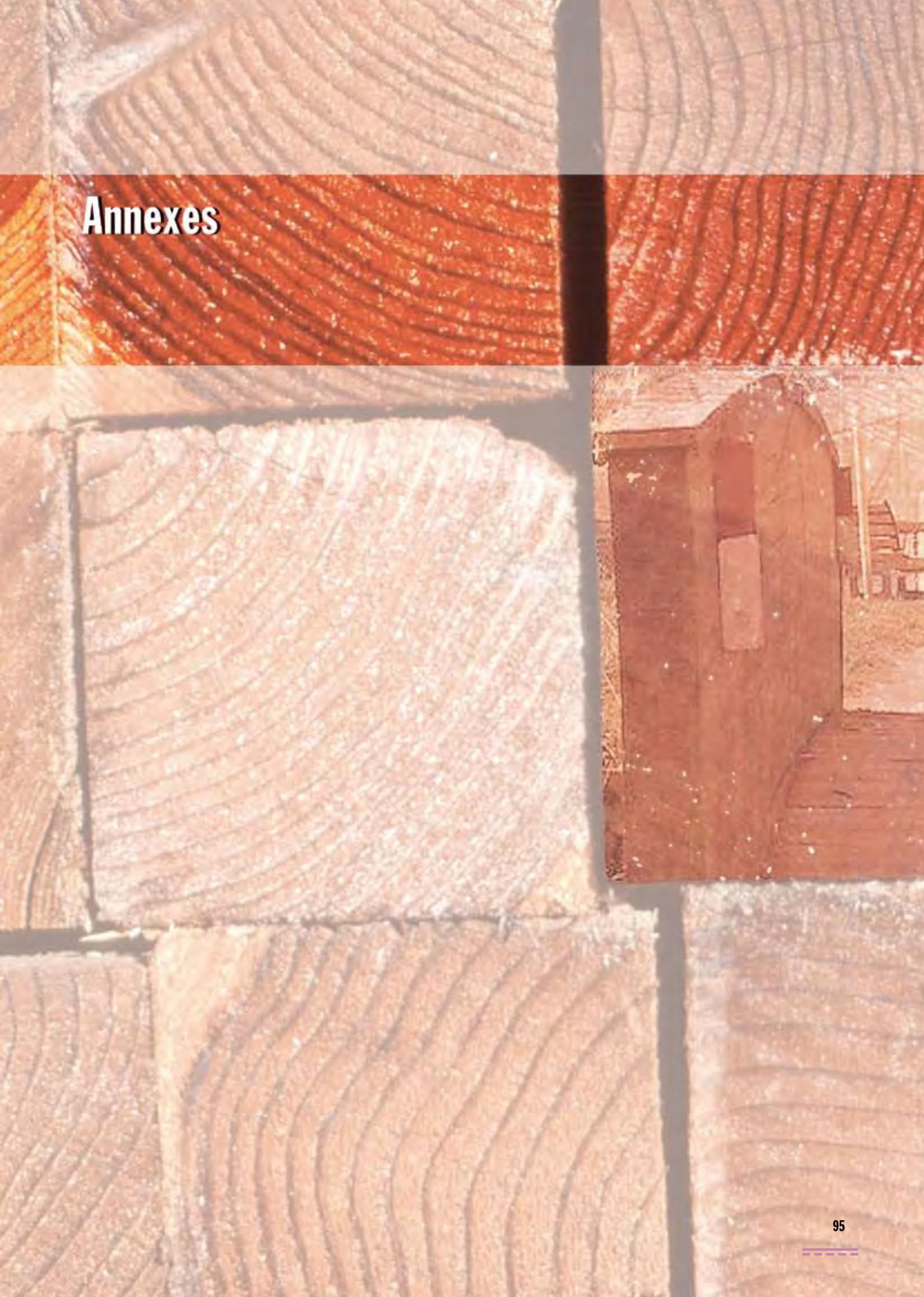
5.7 - Récapitulatif : qui fait quoi ?

Ce tableau récapitule pour chaque étape quel interlocuteur est concerné. Ces recommandations très schématiques sont purement indicatives.

Le contrôle extérieur est généralement constitué d'un **bureau d'études** spécialisé dans les ponts et le bois, et d'un **laboratoire de contrôle**. Les agents du contrôle extérieur agissent pour le compte du Maître d'Ouvrage qui les rémunère directement.

	Maitre d'ouvrage	Maitre d'oeuvre	Entreprise	Controle extérieur
Définition du programme de l'ouvrage	Décide des orientations	Impose dans le marché	S'engage dans le marché et dans son PAQ	
Définition des classes d'emploi, essences, Traitements par partie d'ouvrage	Sur proposition du Maître d'oeuvre, il décide des essences ou traitements autorisés et interdits	Impose dans le CCTP	Note les exigences dans les plans d'exécution	Le bureau d'études vérifie les plans
Certification des produits Références technique		Impose des qualités et vérifie	A fourni ses références lors de la candidature. Fournit certifications lors de la remise de l'offre.	Le laboratoire donne éventuellement un avis
Note de calcul (avec hypothèses) note sur la durabilité, plans et procédures, note sur le retrait du bois		Vise	Fournit, avec si nécessaire le concours d'un bureau d'études spécialisé	Le bureau d'études contrôle
PAQ		Contrôle lui-même et accepte	Rédige	Le bureau d'études et le laboratoire donnent leur avis au maître d'oeuvre
Définition des points critiques et des points d'arrêt		Impose dans CCTP	Note dans PAQ propose	Le bureau d'études et le laboratoire contrôlent
Réception des bois Traitement des bois Fabrication en atelier Montage à blanc Montage sur site	Réception finale	Lève les points d'arrêt	Contrôle interne	Examine les documents du suivi interne, contrôle par sondages, donne un avis sur la levée des points d'arrêt.

Tableau 15 : rôles indicatifs des intervenants



Annexes



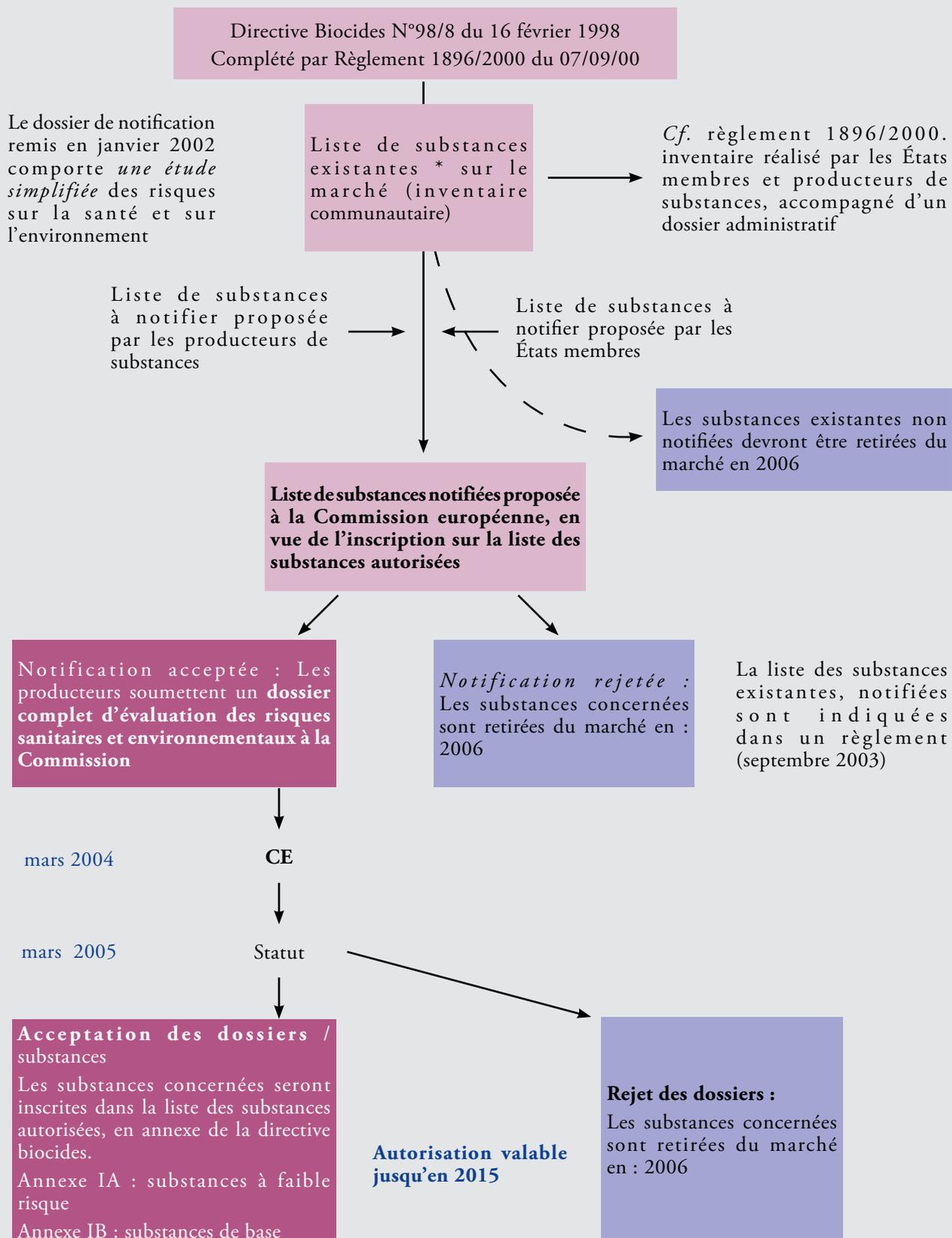
6.1 - Lexique

Aubier	Partie fonctionnelle du bois qui assure la conduction de la sève brute , correspondant aux cernes extérieurs les plus récemment formés
Aspersion	Procédé de traitement par pulvérisation d'un produit
Autoclave	Traitement en profondeur du bois dans une enceinte hermétique sous pression par saturation des cellules de bois par un produit de préservation chimique
Badigeonnage	Traitement superficiel du bois par application au pinceau du produit
Bardage	Protection en bois ou en métal autour d'un élément
Basting ou bastaing	Sciage rectangulaire de dimensions comprises entre 55 mm x 155 mm et 65 mm x 185 mm (par ex basting de 63 x 175)
Bois sec commercialement	Bois dont l' humidité est inférieure à 22 %
Bois de bout	Section d'extrémité d'un élément en bois
Bois parfait	Ensemble des cellules du bois entièrement lignifiées
Bois vert	Bois dont l' humidité est supérieure à celle du point de saturation des fibres
Brumisation	Saturation de l'air en fines gouttes d'eau
Cambium	Ensemble de cellules indifférenciées, qui génèrent du bois ou du liber
CCA	Acronyme de Chrome Cuivre Arsenic : produit de traitement de préservation chimique du bois contenant des sels métalliques à base chrome, cuivre et arsenic
CCB	Acronyme de Chrome Cuivre Bore : produit de traitement de préservation chimique du bois contenant des sels métalliques à base chrome, cuivre et bore
CCF	Acronyme de Chrome Cuivre Fluor : produit de traitement de préservation chimique du bois contenant des sels métalliques à base chrome, cuivre et fluor
Cerne	Augmentation de la quantité de bois en une année
Champignons lignicoles	Champignons qui se nourrissent des substances de réserve du bois, contenues dans l' aubier
Champignons lignivores	Champignons à l'origine de la pourriture qui se nourrissent des constituants du bois
Chevron	Sciage rectangulaire (quasiment carré) de coté compris entre 40mm et 120 mm
Classe d'emploi	Ensemble de risques biologiques de même gravité correspondant à un domaine d'emploi du bois
Classement structure	Classement des bois selon leurs propriétés mécaniques
Couvertine	Fine pièce métallique de protection du bois
Créosote	Produit de préservation issue de la distillation de la houille

CTBA	Acronyme de Centre Technique du Bois et de l'Ameublement
Durabilité naturelle	Aptitude d'un bois à résister naturellement à des agresseurs
Duramen	Bois parfait qui a subi une duraminisation
Duraminisation	Dépôts de sels minéraux et métalliques dans les cellules assurant une protection antiseptique naturelle du bois
Eau libre	Eau circulant librement à l'intérieur du bois, lorsque l' humidité du bois dépasse le point de saturation des fibres
Eau liée	Eau prisonnière entre les chaînes de cellulose, dont la variation de quantité est à l'origine des phénomènes de retrait et de gonflement du bois
Essence	Ensemble des arbres ayant le même plan ligneux, c'est-à-dire de même structure anatomique
Feuillus	Arbre de la famille des angiospermes, comme le chêne, le hêtre, la plupart des essences tropicales
Fongicide	Qualité d'une substance de tuer les champignons
Goutte d'eau	Dispositif permettant la concentration et l'évacuation de l'eau
Grisaillement	Coloration grisâtre du bois du fait de la dégradation de la lignine superficielle du bois par les UV
Haute température (traitement)	Traitement consistant à chauffer le bois entre 180° et 250°C pendant quelques heures en vue d'améliorer ses propriétés de durabilité
Humidité du bois	Rapport de la masse d'eau contenu dans le bois sur la masse sèche du bois
Imprégnabilité	Capacité du bois à être pénétré par un liquide (voir norme EN 350-2)
Imprégnable	Se dit d'une essence facilement imprégnable, ce qui correspond à la classe d'imprégnabilité 1
Insectes nuisibles	Insectes xylophages ou à larves xylophages (termites, capricorne, lyctus, vrillettes...)
Insecticide	Qualité d'une substance de tuer les insectes
Lamellé collé	Poutres de grandes dimensions constituées à partir de planches aboutées et collées
Lamelliste	Fabriquant de lamellé collé
Lasure	Produit de finition, transparente, pigmentée ou non, qui limite les échanges hygroscopiques et peut contenir des agents fongicide et insecticide
Lignification	Etanchéification des cellules de bois par de la lignine, composé chimique exclusif au bois
Liteau	Sciage rectangulaire de dimensions comprises entre 18 mm x 35 mm et 40 mm x 40 mm
Liber	Partie fonctionnelle de l'arbre, se situant entre l'écorce et le cambium , assurant la circulation de la sève élaborée
Madrier	Sciage rectangulaire de dimensions comprises entre 75 mm x 205 mm et 105 mm x 225 mm (par ex madrier de 75 x 225)
Orthotropie	Propriété d'un matériau d'avoir des caractéristiques physiques et mécaniques différentes dans trois plans perpendiculaires

Peinture	Produit de finition, pigmenté, qui crée un film étanche sur la surface, déconseillée pour le bois en extérieur, hormis les peintures micro poreuses
Pénétration (exigence)	Profondeur de pénétration minimale à obtenir pour satisfaire à une classe d'emploi
Pénétration (profondeur)	Profondeur jusqu'à laquelle le produit de préservation a pénétré
Photosynthèse	Processus alimenté en énergie solaire permettant à la sève brute de se transformer en sève élaborée
Planche	Sciage rectangulaire dont le rapport des cotés est supérieur ou égal à 4, et dont l'épaisseur est supérieure à 22 mm
Point de saturation des fibres	Humidité du bois en dessous de laquelle l' eau libre a totalement été évacuée et qui marque le début du retrait du bois
Pourriture	Modification de la composition chimique du bois résultant de l'action des champignons et entraînant une perte importante des propriétés mécaniques du bois
Préservation chimique	Ensemble des procédés chimiques visant à améliorer la résistance du bois contre la détérioration par les agents biologiques
Protection	Ensembles des actions de conception et de préservation visant à conserver le bois sain pour un emploi donné
Résineux	Arbres de la famille des gymnospermes, contenant les conifères comme le sapin, l'épicéa, le mélèze, les pins, le douglas
Réfractaire	Se dit d'une essence qui est peu ou pas imprégnable, ce qui correspond aux classes d'imprégnabilité 2,3 et 4
Rétention (exigence)	Quantité minimale de produit à retrouver dans un volume défini pour satisfaire aux conditions de la classe d'emploi envisagée
Retrait Gonflement	Variations dimensionnelles du bois dues à une modification des conditions hygroscopiques de l'air ambiant qui entraîne une variation de la quantité d'eau liée dans le bois
Sève brute	Ensemble d'eau et de sels minéraux que l'arbre puise dans le sol
Sève élaborée	Sucres obtenus après photosynthèse de la sève brute destinés à la croissance et à la respiration de l'arbre
Térébrants marins	Mollusques (comme le taret) ou crustacés (dont le limnoria) qui détruisent le bois
Texture	Rapport entre la largeur du bois final (bois d'été) et la largeur du cerne d'accroissement
Traité à cœur	Expression familière pour désigner un bois traité en autoclave
Trempage court	Immersion complète du bois dans un bac rempli de produit de préservation pendant une durée minimale de 3 minutes
Vernis	Produit de finition filmogène transparent, à ne pas utiliser en extérieur
Valeur critique	Concentration minimale de produit de préservation nécessaire pour être efficace par rapport à une classe d'emploi donnée

6.2 - Procédure de classement des substances autorisées



6.3 - Réglementation européenne et française : santé, environnement et directive biocides

Thème	Texte	Idée clé
	Directive 67/548/CEE du 27/06/1967 mod. (rapprochement des dispositions relatives à la classification, l'emballage et l'étiquetage des subs. Dangereuses).	Fournit la liste de substances cancérigènes et mutagènes. Toute substance figurant à l'annexe de cette présente directive ne peut se prévaloir de figurer dans l'annexe 1A de la directive biocides (substances autorisées à l'emploi)
	Directive 76/769/CEE modifiée (annexe 1) relative à l'élimination de la mise sur le marché et de l'emploi de substances dangereuses	Annexe 1 : liste des substances cancérigènes et/ou mutagènes (*) telles que (trioxydes de chrome, pentoxyde d'arsenic, composés du CCA ; goudrons de houille, huile de créosote, benzo(a)pyrène(*)...) Mod. Par directive 94/60/CE pour la créosote, distillats de goudrons et assimilés, et préparations avec Benzo-a-pyrène ou phénols. (restriction d'utilisation du PCP, sauf pour pays à façade océanique) Depuis janv.2003 : interdiction de l'utilisation de l'arsenic dans le traitement du bois à compter du 30 juin 2004 / risques (sauf pour ponts et ouvrages d'art)
	Directive CE n°89/677 du 21/12/1989 , mod. la directive n°76/769 relative à l'élimination de la mise sur le marché et de l'emploi de substances dangereuses	Les composés de mercure sont interdits pour les traitements de protection du bois. Restrictions d'utilisation de composés d'arsenic
Traitements du bois et produits dangereux	Décret n°92-1074 du 2 octobre 1992 relatif à la mise sur le marché, à l'utilisation et à l'élimination de certaines substances et préparations dangereuses	Interdiction de mise sur le marché (vente, cession gratuite), d'utilisation de produits de protection du bois contenant du mercure ou de l'arsenic. Sauf : ICPE qui mettent en oeuvre des procédés sous vide ou par imprégnation du CCA
	Directive 93/67/CEE établissant les principes d'évaluation des risques pour l'homme et pour l'environnement des substances notifiées conformément à la directive 67/548/CEE	(démarche d'évaluation des risques incomplète / Directive Biocide car ne prend pas les risques liés aux utilisateurs non professionnels et le grand public)
	Règlement CE n° 793/93 du 23/03/1993 concernant l'évaluation et le contrôle des risques présentés par les substances existantes (biocides...)	Edicte les paramètres à étudier pour les produits potentiellement toxiques (évaluation des risques sur la santé, l'environnement...)
	Règlement CE n° 1488/94 du 28/06/1994 établissant le principe d'évaluation des risques pour l'homme et pour l'environnement présentés par les substances existantes conformément au Règlement CE n° 793/93	Principe d'évaluation des risques pour l'homme et pour l'environnement présentés par les substances existantes

Thème	Texte	Idée clé
	Arrêté du 07/08/1997 du ministère de la santé (mod. en 98)	Liste de substances interdites (distillats de goudron, créosote, benzène...)
	Directive CEE 98/8 du 16/02/1998 dite Directive Biocides (concernant la mise sur le marché de produits biocides) - 2 lettres d'avertissement et de mise en demeure ont été adressées par la CE à la France notamment, pour défaut de transposition dans le droit français (14/05/00 et 19/02/01)	Elaboration de listes positives (annexe IA et IB) de produits admis (suivant ERS évaluation de risques sanitaires, VTR...) sur une période de 10 ans à compter de la date d'adoption dans les états membres. (produits de protection du bois = biocides du groupe 2, type 8) Actuellement, une liste de 84 substances actives serait autorisée jusqu'en 2006 (voir projet de règlement européen septembre 2003) Annexe 1A : liste des substances actives dans les biocides à faible risque Annexe 1b : liste des substances de base
Traitements du bois et produits dangereux	Règlement CE n° 1896-2000 du 07/09/2000 concernant la 1ère phase du programme visé à l'art.16 - par.2 de la Directive Biocides - Loi n° 2001-1 du 03/01/01 concernant l'habilitation du gouvernement à transposer des Directives par Ordonnances (dont la Directive biocides). Ordonnance n°2001-321 du 11/04/2001 pour transposition et mise en œuvre de certaines dispositions du droit communautaire dans le domaine de l'environnement (art. 5 et 12 de du Règlement CE n° 1896-20)	« jusqu'à la publication de la liste communautaire des substances présentées sur le marché au 14 mai 2000, la preuve de la présence d'une substance active sur le marché à cette date peut être apportée par tout moyen ». - Attente du décret d'application pour que la transposition de la Directive soit effective (après définition des structures nationales qui évalueront les dossiers : AFSSE ?)
	Directive 1999/45/CE (rapprochement des dispositions législatives, administratives et réglementaires des états membres / classification, emballage et étiquetage des substances dangereuses)	- Définitions « substances dangereuses », effets sur la santé ou environnement et - Critères de classification - Dénomination des substances en familles génériques (composés du bore, du cuivre, arsenic, fluor, chrome...)
	Directive 1999/51/CE du 26/05/1999 (/Décret 94-647 du 27/07/1994 relatif à la limitation de la mise sur le marché et de l'emploi du PCP (pentachlorophénol), du cadmium et de leurs composés)	Interdiction de l'emploi du PCP car toxique et ecotoxique. Dérogação jusqu'en 2008 pour : Les installations industrielles / préservation du bois, en extérieur et si couverture d'un vernis.
	Directive CEE n° 2001/59 du 06/08/2001 portant sur la 28ème adaptation au progrès technique de la directive 67/548 du Conseil.	
	Directive 2001/90/EC du 26/10/1990 relative à l'annexe 1 de la directive 76/769	La créosote est interdite comme traitement, dans les terrains de jeux, parcs, jardins, lieux récréatifs de plein air, mobilier urbain en raison du risque lié à un contact cutané.
	Avis du CSHF du 13 juin 2000	Recommandation de limitation de l'emploi des bois traités au CCA

Thème	Texte	Idée clé
Traitements du bois et produits dangereux	Règlement CE n° 1687/2002 du 25/09/2002 prévoyant un délai supplémentaire à l'art. 4 du règlement n°1896/2000 pour la notification de certaines substances actives destinées à être utilisées dans les produits biocides, qui se trouvent déjà sur le marché ;	
	Directive 2003/2/CE du 6 janvier 2003 sur l'interdiction de la mise sur le marché et l'emploi de certains composés de l'arsenic	L'utilisation du CCA pour le traitement du bois présente des risques pour la santé (enfants et terrains de jeu). Interdiction de l'utilisation de l'arsenic dans le traitement du bois à compter du 30 juin 2004 / risques (complète l'annexe 1 de la Dir. 76/769) - <i>par dérogation, le CCA pourra être utilisé pour les ponts et OA en bois (...) sous certaines conditions dont usage professionnel et industriel et bois « stabilisé »...</i> (point 20 de l'annexe 1 de la dir. 76/769 mod.)
	Règlement CE n° 304/2003 du 28/01/03 concernant les exportations et importations de produits chimiques dangereux	
	Avis du parlement européen du 27/03/2003 sur la proposition de la directive 76/7769/CEE	Interdire la mise sur le marché de substances classées cancérogènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction (CMR). La commission doit dresser la liste des produits en vue de compléter l'annexe 1 de la Directive 76/769 (points 29,30 et 31).
	Avis du CSHPF (projet septembre 2003)	Restrictions supplémentaires pour l'utilisation du CCA en France
	Règlement européen concernant la 2 ^{ème} phase du programme de la Directive Biocides (projet septembre 2003)	Fournit la liste <ul style="list-style-type: none"> • des substances existantes sur le marché au 14 mai 2003 • des substances à retirer du marché en 2006 • des substances « notifiées » qui seront évaluées pour inscription dans l'annexe 1 de la directive biocides (substances autorisées par périodes de 10 ans)
Risques et Environnement	Loi n°76-663 du 19 juillet 1976 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement	
	Loi n° 95-101 du 2 février 1995 dite loi Barnier relative au renforcement de la protection de l'environnement	

6.4 - Principaux produits utilisés pour la préservation du bois en France et réglementation

	1976	1989	1992	1994	1997	1998	1999
Mercur		Dir. 89/677 du 21/12/89 Les composés du mercure sont interdits	Décret 92/1074 Interdiction du mercure				
CCA	Dir. 76/769 Annexe I Substances cancérigènes : Trioxydes de chrome, Pentoxyde d'arsenic (pas de vente au grand public)	Dir. 89/677 du 21/12/89 Restrictions d'utilisation des composés d'arsenic	Décret 92/1074 Restrictions pour l'arsenic (dérogations / CCA dans conditions contrôlées)			Directive Biocides 98/8 du 16/02/1998 (voir II.1.3.C)	
CCB						Directive Biocides 98/8 du 16/02/1998 (voir II.1.3.C)	
CCF						Directive Biocides 98/8 du 16/02/1998 (voir II.1.3.C)	
PCP	Dir. 76/769 Annexe I Substances cancérigènes : Phénols (dioxines...)		Décret 94/647 Interdiction d'utilisation du PCP (toxicité-écotoxicité) Dérogation jusqu'en 2008 pour industriels de la préservation du bois, utilisation en extérieur avec vernis			Directive Biocides 98/8 du 16/02/1998 (voir II.1.3.C)	Directive 99/51 du 26/05/99 (cf décret 94/647 / limitation et conditions d'emploi
Créosote	Dir. 76/769 Annexe I Substances cancérigènes : Goudrons de houille, créosote, benzo(a)pyrène (dioxines...)				Arrêté du 07/08/97 du ministère de la santé. Limitations d'utilisation de distillats de goudron, créosote, benzène...	Directive Biocides 98/8 du 16/02/1998 (voir II.1.3.C)	

2000 | 2001 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2006 à 2015

réglementation européenne

réglementation française

	<p>Directive 2003/2 du 06/01/2003 CCA = risques sanitaires. Interdiction d'utilisation dès le 30/06/2004 (dérogations pour ponts et O.A.)</p>	<p>Avis du parlement du 27/03/2003 Interdiction de la mise sur le marché de substances cancérigènes ou mutagènes (complète l'annexe I de la dir. 76/769)</p>	<p>Règlement CE dir. Biocides en projet sept. 2003 Substances notifiées : - Diarsenic pentaoxyde - Trioxyde de chrome</p>	<p>Dossier de risques évalués par la Commission entre mars 2004 et mars 2005</p>	<p>Dossier accepté : autorisation pour 10 ans</p>
<p>Avis du CSHF du 13/06/2000 Limitation de l'emploi de bois traité au CCA</p>		<p>Avis du CSHPF avec demande de restrictions d'utilisation supplémentaires pour la France (09/2003)</p>			<p>Sinon, retrait du marché en 2006</p>
		<p>Avis du parlement du 27/03/2003</p>	<p>Règlement CE dir. biocides en projet sept. 2003 Substance notifiée : trioxyde de bore</p>	<p>Dossier de risques évalués par la Commission entre mars 2004 et mars 2005</p>	<p>Dossier accepté : autorisation pour 10 ans Sinon, retrait du marché en 2006</p>
		<p>Avis du parlement du 27/03/2003</p>	<p>Règlement CE dir. biocides en projet sept. 2003 Substance notifiée : sulfuryl difluoride</p>	<p>Dossier de risques évalués par la Commission entre mars 2004 et mars 2005</p>	<p>Dossier accepté : autorisation pour 10 ans Sinon, retrait du marché en 2006</p>
		<p>Avis du parlement du 27/03/2003</p>	<p>Règlement CE dir. biocides en projet sept. 2003 Substance NON notifiée PCP et Bore</p>		
					<p>Retrait du marché en 2006</p>
<p>Dir. 2001/90 du 26/10/2001 Interdiction d'utilisation du bois dans terrains de jeux, parcs, jardins, mobilier urbain / contact cutané)</p>		<p>Avis du parlement du 27/03/2003</p>	<p>Règlement CE dir. biocides en projet sept. 2003 Substance notifiée : créosote</p>	<p>Dossier de risques évalués par la Commission entre mars 2004 et mars 2005</p>	<p>Dossier accepté : autorisation pour 10 ans Sinon, retrait du marché en 2006</p>

6.5 - Procédure de classement des déchets

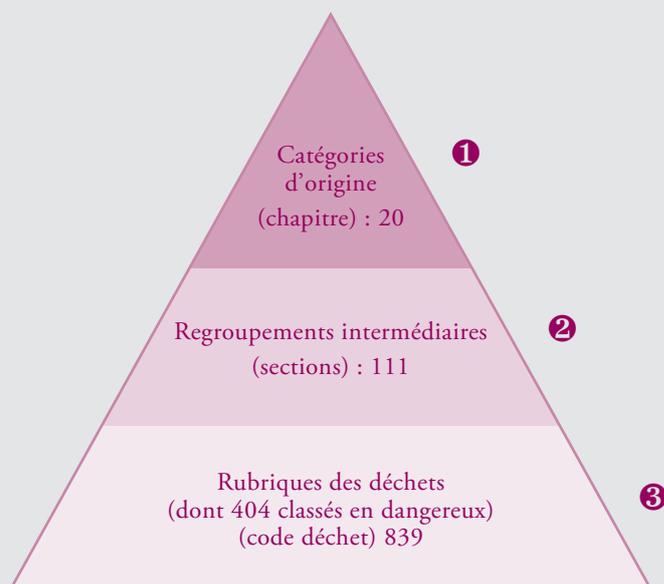
La classification des déchets sert à désigner les déchets afin que les différents partenaires concernés par la production et l'élimination de déchets parlent un langage commun au sein de la communauté européenne. Elle se traduit par une **liste unique regroupant les déchets dangereux et non dangereux** (elle relève de la décision de la Commission n° 2000/532/CE du 3 mai 2000 qui a fusionné en une liste unique l'ancien catalogue européen des déchets et la liste des déchets dangereux). **La classification des déchets n'est pas une liste exhaustive mais évolutive.**

Ce chapitre présente donc l'architecture de la classification, ce qui permettra de guider le maître d'ouvrage dans le temps, en vue de vérifier si les déchets de bois dont il dispose ont fait l'objet d'une évolution en terme de nomenclature en raison de leur dangerosité.

Le Décret n° 2002-540 du 18 avril 2002 intègre en droit français cette classification. **Ce décret établit une liste unique de déchets dangereux et non dangereux conformément à la décision européenne et conserve la notion de Déchets Industriels spéciaux (DIS)**, inscrite par ailleurs dans le code de l'environnement. La notion de DIS est une notion franco-française et ne figure pas dans la liste communautaire des déchets. Cette notion a pour vocation d'assurer une continuité des textes. En effet, le code de l'environnement et certains textes nationaux y font référence, tels que les textes relatifs à la planification de la gestion des déchets (plans régionaux d'élimination des déchets industriels spéciaux, à la taxe généralisée sur les activités polluantes (TGAP)...etc.

Les DIS sont définis à l'article 2 du décret comme étant les déchets dangereux autres que les déchets d'emballage municipaux mentionnés à la section 15 01 (*emballages et déchets d'emballages (y compris les déchets d'emballages municipaux) collectés séparément*) et les déchets municipaux mentionnés au chapitre 20 de la liste.

Structure de la classification des déchets



La codification des déchets est organisée par catégorie d'origine, regroupement intermédiaire de déchets et désignations de déchets.

Les **catégories d'origine** sont au nombre de 20 et sont indiquées par un code à 2 chiffres. Elles correspondent à la provenance du déchet en identifiant soit :

①

- Un secteur d'activité

Ex : **code 17** Déchets de construction et de démolition
(y compris déblais provenant de sites contaminés)

- Un procédé qui a produit le déchet

Ex : **code 03** Déchets provenant de la transformation du bois, de la production de papier, de carton, de pâte à papier, de panneaux et de meubles

- Les déchets produits par les ménages

Ex : **code 20** Déchets municipaux (déchets ménagers et déchets assimilés provenant des commerces, des industries et de l'administration), y compris les fractions collectées séparément

Les chapitres 03, 17 et 20 sont les trois catégories d'origine dans lesquelles les déchets de bois traité peuvent être trouvés

2

Les sections ou « **catégories de déchets identifiées par leur nature** » sont au nombre total de 111 et sont indiquées par un code à 4 chiffres.

Ex : la section **17 02** « Bois verre et plastique »

Les déchets de bois traité peuvent être regroupés dans les trois sections suivantes :

03 02 Déchets des produits de protection du bois

17 02 Déchets de bois, verre ou plastique

20 01 Fractions collectées séparément (sauf section 15 01)

3

La **désignation complète du déchet**. Il existe plus de 600 désignations de déchets. Les déchets sont identifiés par un code à 6 chiffres, dont les deux premiers sont ceux de la catégorie d'origine et les deux suivants sont ceux du regroupement intermédiaire auquel appartient le déchet considéré.

Les déchets de bois traités peuvent donc couvrir les dénominations complètes ci-dessous :

03 Déchets provenant de la transformation du bois, de la production de papier, de carton, de pâte à papier, de panneaux et de meubles

03 02 Déchets des produits de protection du bois

03 02 01 *	composés organiques non halogénés de protection du bois
03 02 02 *	composés organochlorés de protection du bois
03 02 03 *	composés organométalliques de protection du bois
03 02 04 *	composés inorganiques de protection du bois
03 02 05 *	autres produits de protection du bois contenant des substances dangereuses
03 02 99	produits de protection du bois non spécifiés ailleurs

17 Déchets de construction et de démolition (y compris déblais provenant de sites contaminés)

17 02 Déchets de bois, verre ou plastique

17 02 01	bois
17 02 04 *	bois, verre, et matières plastiques contenant des substances dangereuses ou contaminées par de telles substances

20 Déchets municipaux (déchets ménagers et déchets assimilés provenant des commerces, des industries et de l'administration), y compris les fractions collectées séparément

20 01 Fractions collectées séparément (sauf section 15 01)

20 01 37 *	bois contenant des substances dangereuses
20 01 38	bois autres que ceux visés à la rubrique 20 01 37

6.6 - Déchets dangereux

Constituants qui rendent les déchets dangereux

Annexe II de la directive 91/689/CEE

Composés inorganiques	Composés organiques
Le béryllium et ses composés	Les PCB (polychlorobiphényles)
Les composés du vanadium	Les PCT (polychlorotriphényles)
Les composés du chrome hexavalent (bois actuel /CCA)	Les composés pharmaceutiques ou vétérinaires
Les composés du cobalt	Les biocides et les substances phytopharmaceutiques
Les composés du nickel	Les substances infectieuses
Les composés du cuivre (CCA)	Les créosotes (bois anciens et actuels)
Les composés du zinc	Les isocyanates et les composés phénolés
L'arsenic et les composés de l'arsenic (CCA)	Les solvants halogénés
Le sélénium et les composés du sélénium	Les solvants organiques
Les composés de l'argent	Les composés halogénés (sauf polymères inertes)
Le cadmium et les composés (Bois récents - avant 1994)	Les composés aromatiques
Les composés de l'étain	Les composés organiques polycycliques et hétérocycliques
L'antimoine et les composés de l'antimoine	Les amines aliphatiques
Le tellure et les composés du tellure	Les amines aromatiques
Les composés du baryum (sauf le sulfate de baryum)	Les éthers
Le mercure et les composés du mercure (bois récents)	Les substances à caractère explosif
Le thallium et les composés du thallium	Les composés organiques du soufre
Le plomb et les composés du plomb (bois anciens à récents, peints)	Les PCDF (famille des dibenzofuranes polychlorés) (Bois récents /PCP)
Les sulfures inorganiques	Les PCDD (famille des dibenzo para-dioxines polychlorés) (Bois récents /PCP)
Les composés inorganiques du fluor (sauf le fluorure de calcium) (CCF)	Les hydrocarbures et leurs composés oxygénés, azotés et/ou sulfurés non spécifiquement repris dans l'annexe
Les cyanures inorganiques	
Les métaux : lithium, sodium, potassium, calcium, magnésium	
Les solutions acides ou les acides sous forme solide	
Les solutions basiques ou les bases sous forme solide	
L'amiante (poussières et fibres)	
le phosphore et ses composées (sauf les phosphates minéraux)	
Les métaux carbonyles	
Les peroxydes	
Les chlorates	
Les perchlorates	
Les azotures	

Propriétés qui rendent les déchets dangereux

(Extrait de l'Annexe 1 décret 18/04/2002)

Ces propriétés sont celles qui ont été retenues pour la classification des déchets des déchets dangereux, et potentiellement pour le classement du bois traité.

H 3-A Facilement inflammable : substances et préparations :

- qui, à l'état solide, peuvent s'enflammer facilement par une brève action d'une source d'inflammation et qui continuent à brûler ou à se consumer après l'éloignement de la source d'inflammation,

ou

- qui, au contact de l'eau ou de l'air humide, produisent des gaz facilement inflammables en quantités dangereuses.

H 3-B Inflammable : substances et préparations liquides, dont le point d'éclair est égal ou supérieur à 21 °C et inférieur ou égal à 55 °C.

H 4 Irritant : substances et préparations non corrosives qui, par contact immédiat, prolongé ou répété avec la peau et les muqueuses, peuvent provoquer une réaction inflammatoire.

H 5 Nocif : substances et préparations qui, par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée, peuvent entraîner des risques de gravité limitée.

H 6 Toxique : substances et préparations (y compris les substances et préparations très toxiques) qui, par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée, peuvent entraîner des risques graves, aigus ou chroniques, voire la mort.

H 7 Cancérogène : substances et préparations qui, par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée, peuvent produire le cancer ou en augmenter la fréquence.

H 8 Corrosif : substances et préparations qui, en contact avec des tissus vivants, peuvent exercer une action destructrice sur ces derniers.

H 9 Infectieux : matière contenant des micro-organismes viables ou leurs toxines, dont on sait ou dont on a de bonnes raisons de croire qu'ils causent la maladie chez l'homme ou chez d'autres organismes vivants.

H 10 Toxique pour la reproduction : substances et préparations qui, par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée, peuvent produire ou augmenter la fréquence d'effets indésirables non héréditaires dans la progéniture ou porter atteinte aux fonctions ou capacités reproductives.

H 11 Mutagène : substances et préparations qui, par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée, peuvent produire des défauts génétiques héréditaires ou en augmenter la fréquence.

H 12 Substances et préparations qui, au contact de l'eau, de l'air ou d'un acide, dégagent un gaz toxique ou très toxique.

H 13 Substances et préparations susceptibles, après élimination, de donner naissance, par quelque moyen que ce soit, à une autre substance, par exemple un produit de lixiviation, qui possède l'une des caractéristiques énumérées ci-avant.

H 14 Éco-toxique : substances et préparations qui présentent ou peuvent présenter des risques immédiats ou différés pour une ou plusieurs composantes de l'environnement.

Les valeurs et seuils de calcul des concentrations se réfèrent à ceux fixés par l'arrêté du 21 février 1990 (JO du 24 mars 1990) définissant les critères de classification et conditions d'étiquetage et d'emballage des préparations dangereuses (annexe 1)

L'article 3 du décret 2002-540 du 18 avril 2002 indique les concentrations suivantes pour la définition des déchets dangereux :

« En ce qui concerne les propriétés H 3 à H 8, H 10 et H 11, sont, en tout état de cause, considérés comme dangereux les déchets présentant une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- leur point d'éclair est inférieur ou égal à 55 °C ;

- ils contiennent une ou plusieurs substances classées comme très toxiques à une concentration totale égale ou

- supérieure à 0,1 % ;
- ils contiennent une ou plusieurs substances classées comme toxiques à une concentration totale égale ou supérieure à 3 % ;
 - ils contiennent une ou plusieurs substances classées comme nocives à une concentration totale égale ou supérieure à 25 % ;
 - ils contiennent une ou plusieurs substances corrosives de la classe R 35 à une concentration totale égale ou supérieure à 1 % ;
 - ils contiennent une ou plusieurs substances corrosives de la classe R 34 à une concentration totale égale ou supérieure à 5 % ;
 - ils contiennent une ou plusieurs substances irritantes de la classe R 41 à une concentration totale égale ou supérieure à 10 % ;
 - ils contiennent une ou plusieurs substances irritantes des classes R 36, R 37, R 38 à une concentration totale égale ou supérieure à 20 % ;
 - ils contiennent une substance reconnue comme étant cancérigène, des catégories 1 ou 2, à une concentration égale ou supérieure à 0,1 % ;
 - ils contiennent une substance reconnue comme étant cancérigène, de la catégorie 3, à une concentration égale ou supérieure à 1 % ;
 - ils contiennent une substance toxique pour la reproduction, des catégories 1 ou 2, des classes R 60, R 61 à une concentration égale ou supérieure à 0,5 % ;
 - ils contiennent une substance toxique pour la reproduction, de la catégorie 3, des classes R 62, R 63 à une concentration égale ou supérieure à 5 % ;
 - ils contiennent une substance mutagène, des catégories 1 ou 2, de la classe R 46 à une concentration égale ou supérieure à 0,1 % ;
 - ils contiennent une substance mutagène de la catégorie 3 de la classe R 40 à une concentration égale ou supérieure à 1 %. (...)

6.7 - Comment remplir un bordereau de suivi de déchets industriels (BSDI)

Ministère chargé de l'Environnement
République Française
Arrêté du 4-1-85 (J.O. du 16-2-85)

BORDEREAU DE SUIVI DE DÉCHETS INDUSTRIELS
REGROUPEMENT - PRÉ-TRAITEMENT

1 EXPLOITANT DE L'INSTALLATION DE REGROUPEMENT OU DE PRÉ-TRAITEMENT		N° SÉRIÉ	
DÉNOMINATION		RESPONSABLE	
ADRESSE, TÉLÉPHONE, FAX			
DÉSIGNATION DU DÉCHET		CODE NOMENCLATURE C A	AU TITRE DU RTMD MATIÈRE D'ASSIMILATION N° DE GROUPE
TRANSPORT <input type="checkbox"/> FÛTS <input type="checkbox"/> NÈRE <input type="checkbox"/> CITERNE <input type="checkbox"/> BENNE		CONSISTANCE DU DÉCHET <input type="checkbox"/> SOLIDE <input type="checkbox"/> BOUES <input type="checkbox"/> LIQUIDE	
IDENTITÉ DES DÉCHETS MÉLANGÉS - SI LE NOMBRE DE DÉCHETS MÉLANGÉS EST SUPÉRIEUR À 3 UTILISER DES BORDEREAUX SUPPLÉMENTAIRES			
DÉCHET N° 1 PRIS EN CHARGE LE		DÉCHET N° 2 PRIS EN CHARGE LE	
PRODUCTEUR ADRESSE C A QUANTITÉ TONNE		PRODUCTEUR ADRESSE C A QUANTITÉ TONNE	
MODE D'ÉLIMINATION FINALE INSTALLATION ADRESSE - TÉLÉPHONE		N° DE CERTIFICAT D'ACCEPTATION PRÉALABLE	
Arister l'exactitude des renseignements ci-dessus, que les matières sont admises au transport selon les dispositions du règlement pour le transport des matières dangereuses du 15.04.65, et que notamment les conditions exigées pour le conditionnement et l'emballage ont été remplies.		DATE DE REMISE AU TRANSPORT	
Signature		QUANTITÉ REMISE AU TRANSPORT TONNE	

Les indications données sur le BSDI engagent le producteur et doivent donc être remplies par une personne compétente.

1. Indiquer les coordonnées précises du producteur. Si l'adresse de facturation est différente, à préciser.
2. Le code nomenclature est le code à 6 chiffres du décret n° 2002-540 du 18 avril 2002. (ne pas tenir compte des lettres C et A qui font références à l'ancien code de la nomenclature).
3. La partie « au titre du RTMD » sur le bordereau de suivi concerne l'identification du déchet en tant que dangereux pour le transport. Le RTMD n'étant plus en vigueur, les termes « matière d'assimilation » et « n° de groupe » sont obsolètes. De façon à être conforme avec l'ADR, il est conseillé :
 - Dans la case matière d'assimilation, d'indiquer le n° d'identification (ou n° ONU) ainsi que la désignation exacte pour le transport (intitulé exact de la rubrique n.s.a par exemple)
 - Dans la case n° de groupe, d'indiquer la classe, le chiffre et la lettre de l'énumération suivis du sigle ADR.

Si le déchet n'est pas considéré comme matière dangereuse pour le transport, il est alors conseillé d'indiquer (non soumis à l'ADR).

S'il s'agit d'une expédition de déchets conditionnés, il faut préciser le nombre et la description de tous les « colis » y compris l'identification des produits. Une annexe est alors souvent nécessaire.

4. La désignation du déchet est le nom usuel du déchet, tel que facilement répertorié par le producteur de celui-ci.
5. Le numéro de certificat d'acceptation préalable (CAP) est obligatoire. Il permet d'associer les déchets concernés à une filière d'élimination. Ce certificat est délivré par la société de traitement de déchets chargée de l'élimination de ceux-ci.
6. Indiquer la destination finale des déchets. Préciser le mode d'élimination final : centre de stockage, incinération, traitement physico-chimique....
7. La signature est obligatoire. Son absence entraîne une non conformité à l'arrivée. Le cas échéant, cette signature vaut aussi de déclaration du producteur au titre de l'ADR (engagement à respecter la réglementation sur le transport de matières dangereuses).

6.8 - Réglementation relative aux déchets

Texte	Idée clé
Loi de n°75-633 du 15 juillet 1975 relative à l'élimination des déchets et à la récupération des matériaux	Loi cadre pour les déchets : définitions, risques environnementaux et bases de la gestion des déchets
Décret n°77-974 du 19 août 1977 relatif aux informations à fournir au sujet des déchets générateurs de nuisances	
Arrêté du 4 janvier 1985 relatif au contrôle des circuits d'élimination de déchets générateurs de nuisances (complément du décret n°77-794 du 19 août 1977)	BSDI
Arrêté du 21 février 1990 définissant les critères de classification et les conditions d'étiquetage et d'emballage des préparations dangereuses	Critères de classification des déchets dangereux
Directive n° 91/689/CEE du conseil relative aux déchets dangereux (liste établie par la Décision 94/904/CE du Conseil le 22/12/94)	Les déchets de bois traités par des agents composés de Cuivre, Chrome et Arsenic sont des déchets classés dangereux dont l'élimination doit satisfaire aux exigences de la présente directive. Ne comprends pas le bois imprégné provenant d'activités de construction et de démolition.
Directive du 3 mai 2000	Établit la procédure de la liste des déchets
Loi n° 92-646 du 13 juillet 1992 relative à l'élimination des déchets ainsi qu'aux installations classées pour la protection de l'environnement	Mise en place des plans départementaux d'élimination des déchets ménagers et assimilés et des plans régionaux des déchets spéciaux (ou toxiques) – voir décrets n° 96-1008 et 96-1009 du 18 novembre 1996
Arrêté du 20 avril 1994 relatif à la déclaration, la classification, l'emballage et l'étiquetage des substances	Critères de classification des déchets dangereux
Circulaire DPPR/SRPD n° 97-0807 du 27 juin 1997 relative aux plans régionaux d'élimination des DIS	
Circulaire du 28 avril 1998 relative à la gestion des déchets, plans départementaux et renforcement des objectifs de valorisation matière	Renforcement des objectifs de valorisation matière
Directive 1999/31/CE du conseil du 26 avril 1999 sur la mise en décharge des déchets	Texte de référence pour l'exploitation des centres de stockage
Circulaire du 15 février	
Décision CEE n°2001/118/CE de la Commission du 16 janvier 2001, décision n°2001/119/CE de la Commission du 22 janvier 2001, décision n°2001/573/CE du Conseil du 23 juillet 2001, modifiant la décision de la Commission 2000/532/CE du 3 mai 2000	Nomenclature et liste des déchets dangereux - Fusionne l'ancien catalogue européen des déchets avec la liste européenne des déchets dangereux - Intègre le bois de démolition dans les déchets dangereux - Intègre le bois provenant des collectivités (avec désignation dédiée pour bois « dangereux »
Décret n°2002/540 du 18 avril 2002 relatif à la classification des déchets et Circulaire du 3 octobre 2002 relative à la mise en œuvre du décret n° 2002-540 du 18 avril 2002 relatif à la classification des déchets	Transposition dans le droit français des décisions européennes 2000 et 2001
Arrêté du 20/09/2002 relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets dangereux	Définit le mode d'exploitation des installations
Circulaire du 03/10/2002 relative à la mise en œuvre du décret n° 2002-540 du 18/04/2002 relatif à la classification des déchets (non publiée au JO)	

6.9 - Sections en standard

Le tableau suivant fournit les dimensions des principales sections en standard.

Type	e (mm)	l (mm)
Poutre	100	100
	100	150
	100	200
	100	250
	100	300
	150	150
	180	180
	200	200
	250	250
Madrier	75	200
	75	225
	75	250
Bastaing	63	150
	63	160
	63	175
	50	150
Demi-bastaing	32	150
	32	160
	32	175
Solivettes	38	150
	38	160
	38	175
	38	200
	38	225

Type	e (mm)	l (mm)
Chevrons	60	80
	63	75
	75	75
	40	60
	50	75
Planches	25/27	100
	25/27	150
	25/27	160
	25/27	175
	25/27	200
Petits débits	25/27	225
	40	40
	40	60
	18	108
	12	105
Liteaux	14	105
	27	60
	27	40
	27	32
	27	27
	18	40
12	40	

6.10 - Références bibliographiques

Principales normes

Vocabulaire

EN 844	Bois ronds et bois sciés - Terminologie
NF B 50-001	Bois - Nomenclature
NF B 50-002	Bois - Vocabulaire
NF B 50-003	Bois - Vocabulaire
NF X 40-001	Protection - Terminologie
NF X 40-002	Préservation - Vocabulaire

Préservation des bois

EN 20-1:1992	Produits de préservation du bois - Détermination de l'efficacité protectrice vis-à-vis de <i>Lyctus Brunneus</i> (Stephens) - Partie 1 : Application par traitement de surface (Méthode de laboratoire)
EN 20-2:1993	Produits de préservation du bois - Détermination de l'efficacité protectrice vis-à-vis de <i>Lyctus brunneus</i> (Stephens) - Partie 2 : Application par traitement en profondeur (Méthode de laboratoire)
EN 22:1974	Produits de préservation des bois - Détermination de l'action curative contre les larves d' <i>Hylotrupes bajulus</i> (Linnaeus) (Méthode de laboratoire)
EN 46:1988	Produits de préservation des bois - Détermination de l'efficacité préventive contre les larves récemment écloses d' <i>Hylotrupes bajulus</i> (Linnaeus) (Méthode de laboratoire)
EN 47:1988	Produits de préservation des bois - Détermination du seuil d'efficacité contre les larves d' <i>Hylotrupes bajulus</i> (Linnaeus) (Méthode de laboratoire)
EN 48:1988	Produits de préservation des bois - Détermination de l'efficacité curative contre les larves d' <i>Anobium punctatum</i> (De Geer) (Méthode de laboratoire)
EN 49-1:1992	Produits de préservation du bois - Détermination de l'efficacité protectrice vis-à-vis d' <i>Anobium punctatum</i> (De Geer) par l'observation de la ponte et du taux de survie des larves - Partie 1 : Application par traitement de surface (Méthode de laboratoire)
EN 49-2:1992	Produits de préservation du bois - Détermination de l'efficacité protectrice vis-à-vis d' <i>Anobium punctatum</i> (De Geer) par l'observation de la ponte et du taux de survie des larves - Partie 2 : Application par traitement en profondeur (Méthode de laboratoire)

EN 73:1988	Produits de préservation des bois - Epreuves de vieillissement accéléré des bois traités avant essais biologiques - Epreuve d'évaporation
EN 84:1997	Produits de préservation du bois - Epreuves de vieillissement accéléré des bois traités avant essais biologiques - Epreuve de délavage
EN 113:1996	Produits de préservation du bois - Méthode d'essai pour déterminer l'efficacité protectrice vis-à-vis des champignons basidiomycètes lignivores - Détermination du seuil d'efficacité
EN 117:1989	Produit de préservation des bois - Détermination du seuil d'efficacité contre <i>Reticulitermes santonensis</i> de Feytaud (Méthode de laboratoire)
EN 118:1990	Produits de préservation des bois - Détermination de l'efficacité préventive contre <i>Reticulitermes santonensis</i> de Feytaud (Méthode de laboratoire)
EN 152-1:1988	Méthodes d'essais des produits de préservation des bois - Méthode de laboratoire pour déterminer l'efficacité préventive d'un traitement de protection du bois ouvré contre le bleuissement fongique - Partie 1 : Application par brossage
EN 152-2:1988	Méthodes d'essais des produits de préservation des bois - Méthode de laboratoire pour déterminer l'efficacité préventive d'un traitement de protection du bois ouvré contre le bleuissement fongique - Partie 2 : Application par des méthodes autres que le brossage
EN 212:1986	Produits de préservation des bois - Guide pour l'échantillonnage et la préparation des produits de préservation du bois traité pour analyse
EN 252:1989	Essai de champ pour déterminer l'efficacité protectrice d'un produit de préservation du bois en contact avec le sol
EN 273:1992	Produits de préservation du bois - Détermination de l'action curative contre le <i>Lyctus Brunneus</i> (Stephens) (Méthode de laboratoire)
EN 275:1992	Produits de préservation du bois - Détermination de l'efficacité protectrice vis-à-vis des organismes térébrants marins
EN 330:1993	Produits de préservation du bois - Essais de champ pour déterminer l'efficacité protectrice d'un produit de préservation du bois pour emploi sous un revêtement et hors de contact avec le sol : méthode avec un assemblage en L
EN 335-1:1992	Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois - Définition des classes de risque d'attaque biologique - Partie 1 : Généralités
EN 335-2:1992	Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois - Définition des classes de risque d'attaque biologique - Partie 2 : Application au bois massif
EN 335-3:1995	Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois - Définition des classes de risque d'attaque biologique - Partie 3 : Application aux panneaux à base de bois
EN 350-1:1994	Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois - Durabilité naturelle du bois massif - Partie 1 : Guide des principes d'essai et de classification de la durabilité naturelle du bois
EN 350-2:1994	Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois - Durabilité naturelle du bois massif - Partie 2 : Guide de la durabilité naturelle du bois et de l'imprégnabilité d'essences de bois choisies pour leur importance en Europe

EN 351-1:1995	Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois - Bois massif traité avec produit de préservation - Partie 1 : Classification des pénétrations et rétentions des produits de préservation
EN 351-2:1995	Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois - Bois massif traité avec produit de préservation - Partie 2 : Guide d'échantillonnage pour l'analyse du bois traité avec un produit de préservation
NF B 50-105-3:1998	Bois traité avec produit de préservation - Partie 3 : Performances de préservation des bois et attestation de traitement - Adaptation à la France métropolitaine
EN 370:1993	Produits de préservation du bois - Détermination de l'efficacité curative contre l'émergence d' <i>Anobium punctatum</i> (De Geer)
EN 460:1994	Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois - Durabilité naturelle du bois massif - Guide d'exigences de durabilité du bois pour son utilisation selon les classes de risque
EN 599-1:1996	Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois - Performances des produits préventifs de préservation du bois établies par des essais biologiques - Partie 1 : Spécifications par classe d'emploi
EN 599-2:1995	Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois - Performances des produits préventifs de préservation du bois établies par des essais biologiques - Partie 2 : Classification et étiquetage
EN 1014-1:1995	Produits de préservation du bois - Créosote et bois créosoté - Méthodes d'échantillonnage et d'analyse - Partie 1 : Procédure d'échantillonnage de la créosote
EN 1014-2:1995	Produits de préservation du bois - Créosote et bois créosoté - Méthodes d'échantillonnage et d'analyse - Partie 2 : Procédure pour obtenir un échantillon de créosote du bois créosoté à soumettre à une analyse ultérieure
EN 1014-3:1997	Produits de préservation du bois - Créosote et bois créosoté - Méthodes d'échantillonnage et d'analyse - Partie 3 : Détermination de la teneur en benzo(a)pyrène dans la créosote
EN 1014-4:1995	Produits de préservation du bois - Créosote et bois créosoté - Méthodes d'échantillonnage et d'analyse - Partie 4 : Détermination de la teneur en phénols extractibles à l'eau de la créosote
EN 12490:1998	Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois - Bois massif traité avec produit de préservation - Détermination des pénétrations et rétentions des créosotes dans le bois traité
ENV 807:2001	Produits de préservation du bois - Détermination de l'efficacité vis-à-vis des micro-organismes de pourriture molle et d'autres micro-organismes du sol
ENV 839:1993	Produits de préservation du bois - Détermination de l'efficacité préventive vis-à-vis des champignons lignivores basidiomycètes
ENV 1250-1:1994	Produits de préservation du bois - Mesurage des pertes de matières actives et d'autres composants du produit de préservation à partir de bois traité - Partie 1 : Méthode de laboratoire pour obtenir des échantillons pour analyse pour mesurer les pertes par évaporation à l'air
ENV 1250-2:1994	Produits de préservation du bois - Mesurage des pertes de matières actives et d'autres composants du produit de préservation à partir de bois traité - Partie 2 : Méthode de laboratoire pour obtenir des échantillons pour analyse pour mesurer les pertes après délavage à l'eau ou à l'eau de mer synthétique

ENV 1390:1994	Produits de préservation du bois - Détermination de l'action curative contre les larves d'Hylotrupes bajulus (Linnaeus) - Méthode de laboratoire
ENV 12037:1996	Produits de préservation du bois - Essais de champ pour déterminer l'efficacité protectrice d'un produit de préservation du bois hors de contact avec le sol - Méthode avec un assemblage à joint superposé
ENV 12038:1996	Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois - Panneaux à base de bois - Méthode d'essai pour déterminer la résistance aux champignons basidiomycètes lignivores
ENV 12404:1997	Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois - Evaluation de l'efficacité d'un fongicide de maçonnerie pour empêcher le développement dans le bois de la mērule Serpula lacrymans (Schumacher ex Fries) S.F. Gray - Méthode de laboratoire
HD 1001:1984	Document général d'introduction aux méthodes d'essais européennes (ou CEN) des produits de préservation du bois

Classement

EN 338	Bois de structure - Classes de résistance
EN 518	Bois de structure - Classement - Exigences pour les normes de classement visuel de résistance
EN 519	Bois de structure - Classement - Spécifications pour les bois classés par machine pour sa résistance et les machines à classer
EN 844	Bois ronds et bois sciés - Terminologie
EN 975	Bois sciés - Classement d'aspect des bois feuillus
EN 1194	Structures en bois - Bois lamellé collé - Classe de résistance et détermination de valeurs caractéristiques
EN 1310	Bois ronds et bois sciés - Méthode de mesure des singularités
EN 1315	Classement dimensionnel - Bois ronds feuillus et résineux
EN 1316	Bois ronds résineux - Classement qualitatif
EN 1611-1	Bois sciés - Classement d'aspect des bois résineux
EN 1912	Structures en bois - Classes de résistance - Affectation des classes visuelles et des essences
EN 1927	Bois ronds résineux - Classement qualitatif
NF B 52-001	Règles d'utilisation du bois dans les constructions - Classement visuel pour l'emploi en structure des principales essences résineuses et feuillues
NF B 53-520	Bois - Sciages des bois résineux - Classement d'aspect - Définition des choix
NF P 21 - 400	Bois de structure et produits à base de bois - Classe de résistance et contraintes admissibles associées

Fabrication et tolérances

EN 336	Bois de structure résineux et peuplier - Dimensions, écarts admissibles
EN 385	Aboutages à entures multiples dans les bois de construction - Prescriptions de performances et prescriptions minimales de fabrication
EN 386	Bois lamellé collé - Prescriptions des performances et prescriptions minimales de fabrication
EN 387	Bois lamellé collé - Aboutages de grandes dimensions - Exigences de performance et prescriptions minimales de fabrication
EN 390	Bois lamellé collé - Dimensions, écarts admissibles
EN 1313	Bois ronds et bois sciés - Ecart admissible et dimensions préférentielles
PR EN 14080	Structure en bois - Bois lamellé collé - Exigences
ISO 8903	Sciage des bois feuillus - Dimensions nominales

Assemblages

EN 383	Structures en bois - Méthodes d'essais - Détermination de la valeur de résistance des scellements et des valeurs d'encastrement des assembleurs de type broche
EN 409	Structures en bois - Détermination du moment de rupture des assembleurs de type tige pointes
EN 912	Éléments de fixation - Spécifications des connecteurs pour structures en bois
EN 1075	Structures en bois - Méthodes d'essais - Assemblages par connecteurs métalliques
EN 1380	Structures en bois - Méthodes d'essais - Chargement des assemblages cloués
EN 1381	Structures en bois - Méthodes d'essais - Chargement des assemblages agrafés
EN 1382	Structures en bois - Méthodes d'essais - Essais d'arrachement des assemblages bois
EN 1383	Structures en bois - Méthodes d'essais - Essais de comportement des assemblages bois
EN 12512	Structures en bois - Méthodes d'essais - Essais cycliques d'assemblages réalisés par organes métalliques
EN 13271	Éléments de fixation du bois - Valeurs caractéristiques de résistance et du module de glissement des assembleurs mécaniques du bois
EN 26891	Structures en bois - Assemblages réalisés avec des éléments mécaniques de fixation - Principes généraux pour la détermination des caractéristiques de résistance et de déformation
EN 28970	Structures en bois - Essais d'assemblages réalisés avec des éléments mécaniques de fixation - Exigences de masse volumique du bois

Adhésifs

EN 204	Classification des colles pour usage non structuraux pour l'assemblage des bois et matériaux dérivés
EN 301	Adhésifs de nature phénolique et aminoplaste, pour structure portante en bois - Classification et exigences de rétention
EN 302	Adhésifs pour structures portantes en bois : méthodes d'essais
EN 391	Bois lamellé collé - Essai de délamination du joint de collage
EN 392	Bois lamellé collé - Essai de cisaillement des joints de collage
EN 923	Adhésifs - Termes et définitions
NF T 76-011	Adhésifs : Classification des principaux adhésifs
ISO 6237	Adhésifs : Joints collés, de bois à bois: détermination de la résistance au cisaillement par effort de traction
ISO 6238	Adhésifs : Joints collés, de bois à bois: détermination de la résistance au cisaillement par effort de compression

Essais et mesures

EN 380	Structures en bois - Méthodes d'essais - Principes généraux pour les essais de charges statiques
EN 408	Structures en bois - Bois massif et bois lamellé collé - Détermination de certaines propriétés physiques et mécaniques
EN 1193	Structures en bois - Bois massif et bois lamellé collé - Détermination de la résistance au cisaillement et des propriétés mécaniques perpendiculaires aux fibres
EN 3130	Bois - Détermination de la teneur en humidité pour les essais physiques et mécaniques
EN 3131	Bois - Détermination de la densité pour les essais physiques et mécaniques
EN 384	Bois de structure - Détermination des valeurs caractéristiques des propriétés mécaniques et de la masse volumique
NFB51-001 à 032	Différentes normes sur les essais du bois
ISO 3346	Bois - Détermination de la contrainte de rupture en traction perpendiculaire au fil
ISO 3347	Bois - Détermination de la contrainte de rupture en cisaillement parallèle au fil
ISO 3350	Bois - Détermination de la dureté statique
Pr EN14358	Bois de structure : calcul de la valeur caractéristique correspondant au fractile à 5%

Pr EN 14251	Bois de structure rond : méthodes d'essais
EN 1309	Bois ronds et bois sciés : méthode de mesure des dimensions
EN 1310	Bois ronds et bois sciés : méthode de mesure des singularités
EN 1311	Bois ronds et bois sciés : méthode de mesure des altérations biologiques
EN 13183	Bois ronds et bois sciés - Méthode de mesure de l'humidité

Revêtements de surface

T 72-086	Produits de protection du bois - Lasures - Essais de vieillissement climatique naturel
NF T34-202	Peinture et vernis - Système de peinture pour la protection des surfaces du bois : lasures
EN 927	Peinture et vernis - Produit de peinture et système de peinture pour le bois en extérieur

Panneaux

EN 300	Panneaux avec lamelles orientées (OSB)
EN 314	Contreplaqué - Qualité du collage
EN 636	Contreplaqué - Spécifications : utilisation en milieu sec, humide ou extérieur
EN 789	Structures en bois - Essais de panneaux dérivés du bois pour la détermination des propriétés mécaniques pour leur utilisation en structure
EN 635	Contreplaqué - Classification selon l'aspect des faces
EN 315	Contreplaqué - Tolérances sur dimensions
EN 309	Panneaux de particules - Définition et classification
EN 1058	Panneaux dérivés du bois - Détermination de valeurs caractéristiques de propriétés mécaniques et de masse volumique
EN 313	Contreplaqué - Classification et terminologie
EN 12369	Panneaux à base de bois - Valeurs caractéristiques pour produits établis
EN 316	Panneaux de fibres de bois - Définitions, classification et symboles
EN 324	Panneaux à base de bois - Détermination des dimensions des panneaux

DTU

DTU 31.1	Charpentes et escaliers en bois
NF P 21-203	
DTU 31.3	Charpentes en bois assemblées par connecteurs métalliques ou goussets
NF P 21-205	
DTU 41.2	Revêtements extérieurs en bois
NF P 65-210	
DTU 59.1	Peinture - Travaux de peinture des bâtiments
NF P 74-201-1	

Règlements sur les déchets

- décret 2002-540 du 18 avril 2002 relatif à la classification des déchets ;
- décret 97-517 du 15 mai 1997 relatif à la classification des déchets dangereux ;
- décision de la commission européenne 2000/532/CE du 3 mai 2000 modifiée.

6.11 - Guides et autres documents techniques

1. 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.
2. Sheila Rimal Duwadi & Michael A.Ritter. « Timber bridges in the United States ». <http://www.tfhr.gov/pubrds/winter97/p97wi32.htm>. 1997, 11p.
3. Graeme P Walter. « Timber Bridges in Australia ». Paper presented at the National conference on wood transportation structures, Madison, USA, October 1996, 4p.
4. Vocabulaire du bois, Norme NF B 50-002, août 1961.
5. STEP 2 « Timber Engineering », The Netherlands, 1995, § E17.
6. STEP 1 « Structures en bois aux états limites : introduction à l'Eurocode 5 », Eyrolles, 1996, § III-1.
7. Calvi D. « Les ponts en bois », JCBE 1998 p117-159, Epinal.
8. Dirol D & Deglise X. « Durabilité des bois », Hermès sciences Europe Ltd, Paris, 2001,415p.
9. Rayzal M. « Guide de la préservation du bois », CTBA, Paris, 1998, 165p.
10. 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.

11. Götz, Hoor, Möhler, Natterer. « Construire en bois », presses polytechniques et universitaires romandes, 1987, 283p.
12. Natterer, Herzog, Volz. « Construire en bois 2 », presses polytechniques et universitaires romandes, 1991, 338p.
13. CTBA, « Finitions des ouvrages en bois dans le bâtiment », 1994,121p.
14. CTBA, « L'essentiel sur le bois », 1998, 184p. (forêt française et mondiale, props mécas, finitions, ...).
15. Sandoz JL, Natterer J. « Construire en bois : notions de base », cours EPFL, 1997, 150p.
16. ATIBT, Association technique internationale des bois tropicaux « Atlas des bois tropicaux ».
17. Centre technique forestier tropical « Présentation graphique des caractères technologiques des principaux bois tropicaux », 11 tomes.
18. CIRAD «bois des DOM TOM ».
19. CTBA « Le bois traité à haute température : bilan technico-économique, perspectives de développement », 1999, 64p.
20. Programme des Nations Unies pour l'environnement « Aspects environnementaux de la préservation industrielle du bois », rapport technique n°20, 1994, 179p.
21. Aléon D, Chanrion P, Négrié G, Perez J, Snieg O. « Séchage du bois guide pratique », CTBA, 1990, 103p.
22. CTBA, « Le traitement curatif des bois dans la construction », éditions Eyrolles, 1996,140p.
23. Informationsdienst Holz Brücken- Planung, Konstruktion, Berechnung, holzbau handbuch Reihe 1 Teil 9 Folge 1, 2000, 44p.
24. Informationsdienst Holz, Details für Holzbrücken, holzbau handbuch Reihe 1 Teil 9 Folge 2, 2001,32p.
25. CTBA, Les assemblages dans la construction en bois, 2001, 129p.
26. B. Marrey, Les ponts modernes, Picard Éditeur.

Guides du Sétra

27. Guide pour la commande et le pilotage des études d'ouvrages d'art - Sétra - novembre 1997. Référence : F 9761 - Prix de vente : 15 €.
28. Guide pour une démarche d'Assurance Qualité. Études de conception et d'exécution d'ouvrages de Génie Civil - Sétra - SNCF - décembre - Référence : F 9775 - Prix de vente : 25 €.
29. Guide du projeteur d'ouvrages d'art - Ponts courants - Sétra - janvier 1999 - Référence : F 9850 - Prix de vente : 45 €.
30. Le Bulletin Technique n° 8 du Sétra sur le montage des ponts métalliques peut donner des indications utiles pour étudier le montage d'un pont en bois. (Épuisé dans l'édition originale, il est toujours disponible à la demande au CTOA du Sétra).
31. Ponts métalliques et mixtes - Résistance à la fatigue - Guide de conception et de justification - Sétra - Cticm - SNCF - mai 1996. Référence : F 9611 - Prix de vente : 25 €.
32. Épreuves de chargement des ponts routes et passerelles - Guide technique - Sétra - mars 2004 Référence 0404 - Prix de vente : 14 €.
33. Passerelles piétonnes - Évaluation du comportement vibratoire sous l'action des piétons - Guide méthodologique - Sétra - ARGC - mars 2006 - Référence : 0611 - Prix de vente : 20 €.

6.12 - Adresses utiles hors du Sétra



Réseau Scientifique et Technique de l'Équipement
Centre d'Études Technique de l'Équipement de l'Est
Laboratoire des Ponts et Chaussées de Nancy
71, avenue de la grande Haie
54510 Tomblaine
Tél. : 03 83 18 41 41 - Fax : 03 83 18 41 00
Mél. : D6.CETE.Est@Equipement.gouv.fr



Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
CIRAD Forêt, département Bois
TA 10/16, avenue Agropolis
34398 Montpellier Cedex 5
Tél : 04 67 61 65 25 - Fax : 04 67 61 65 60
Site internet : www.cirad.fr



Centre National pour le Développement du Bois
6, avenue de Saint Mandé
75012 Paris
Tél : 01 53 17 19 60
Site internet : www.bois-construction.org



Centre Technique du Bois et de l'Ameublement
6, avenue de Saint Mandé
75012 Paris
Tél : 01 40 19 49 19 - Fax : 01 44 74 65 24
site internet : www.ctba.fr



École Nationale Supérieure des Technologies et Industries du Bois
27, rue du Merle Blanc
BP 1041
88051 Épinal cedex 9
Tél : 03 29 29 61 00 - Fax : 03 29 29 61 38
Mél. : enstib@enstib.uhp-nancy.fr



PEFC - France
6, Avenue de Saint Mandé
75012 Paris
Tél : 01 43 46 57 15



Syndicat National des Constructeurs de Charpentes en Bois Lamellé Collé (SNCCBLC)
6, avenue de Saint-Mandé
75012 Paris
Tél : 01 43 45 53 43 - Fax : 01 43 45 52 42
Mél. : snccblc@magic.fr - site internet : www.glulam.org



Avec les préoccupations environnementales, les maîtres d'ouvrages redécouvrent le bois et son aspect chaleureux.

Par ailleurs, les ponts en bois sont légers et faciles à monter : ils possèdent ainsi un fort potentiel de développement, en particulier les ponts pour piétons.

Cependant, la pérennité de ces structures repose d'abord sur le choix de bonnes dispositions constructives pour protéger le bois. Elle repose aussi sur la qualité de l'entretien. En outre, en cas de démolition d'un pont dont les bois ont été traités, les maîtres d'ouvrage sont responsables des déchets produits.

Ce guide, après un historique des ponts en bois :

- rappelle les notions essentielles sur l'anatomie et les propriétés mécaniques et physiques de ce matériau ;
- présente les agresseurs et les méthodes de préservation du bois, en soulignant les inconvénients de certaines méthodes chimiques de préservation ;
- expose les principales dispositions constructives à adopter pour assurer la conservation du bois ;
- fournit des conseils aux maîtres d'œuvre pour formaliser une bonne prescription des essences, choisir les traitements de préservation et les exigences constructives.

Document disponible au bureau de vente du Sétra
46 avenue Aristide Briand - BP 100 - 92225 Bagneux Cedex - France
téléphone : 33 (0)1 46 11 31 53 - télécopie : 33 (0)1 46 11 33 55
Référence : **0647** - Prix de vente : **21 €**

*Couverture - crédit photos : Jacques Berthelémy (Sétra) ; Brumaire ; DDE de Haute Garonne
Conception graphique - mise en page : Eric Rillardon (Sétra)
Impression : Caractère - 2, rue Monge - BP 224 - 15002 Aurillac Cedex
L'autorisation du Sétra est indispensable pour la reproduction, même partielle, de ce document
© 2006 Sétra - Dépôt légal : 4^{ème} trimestre 2006 - ISBN : 2-11-094655-5*



Ce document participe à la protection de l'environnement.
Il est imprimé avec des encres à base végétale sur du papier écolabélisé PEFC.
CTBA/06-00743

Le Sétra appartient
au Réseau Scientifique
et Technique
de l'Équipement

