



Laboratoire Central
des Ponts et Chaussées

techniques et méthodes
des laboratoires des ponts et chaussées



Guide technique

**Recommandations
pour l'inspection détaillée
des ouvrages en bois**

Recommandations pour l'inspection détaillée des ouvrages en bois

Guide technique

Avril 2008



Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
58, bd Lefebvre, F 75732 Paris Cedex 15

Ce document a été élaboré par un groupe de travail constitué de :

- Christophe AUBAGNAC (LRPC d'Autun),
- Vincent BARBIER (LRPC de Nancy, DRE Franche-Comté), animateur et rédacteur,
- Pierre CORFDIR (CETE de l'Est),
- Gilles DOIGNON (LRPC de Clermont-Ferrand),
- Jean-Yves JOINEAU (LRPC de Nancy),
- Robert LE ROY (ENPC – LAMI),
- Jean-Claude WENDLING (LRPC d'Autun).

Le groupe de travail remercie les membres du groupe de relecture pour les commentaires et observations :

- Jacques BERTHELLEMY (SETRA – CTOA),
- Dominique CALVI (Président de l'association des ingénieurs structures bois),
- Jean-Louis CHAZELAS (LCPC de Nantes),
- Patrick DANTEC (LRPC de Clermont-Ferrand),
- Bruno GODART (LCPC – DTOA),
- Thierry KRETZ (SETRA – CTOA),
- Serge LENEVE (FCBA),
- Jean RENARD (LROP),
- Pascal TRIBOULOT (ENSTIB).

Pour commander cet ouvrage :

**Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
DISTC-Diffusion des éditions**

58, boulevard Lefebvre
F-75732 PARIS CEDEX 15
Téléphone : 01 40 43 50 20
Télécopie : 01 40 43 54 95
Internet : <http://www.lcpc.fr>

Prix : 37 € HT

En couverture : Rupture d'un assemblage.

Ce document est propriété du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées et ne peut être reproduit, même partiellement, sans l'autorisation de son directeur général (ou de ses représentants autorisés).

© 2008 - LCPC
ISSN 1151-1516
ISBN 978-2-7208-2515-8

SOMMAIRE



1. Introduction	5
1.1. Objet du guide	5
1.2. Le bois dans le génie civil	5



2. Principales propriétés du bois à connaître	7
2.1. Bois massif et bois lamellé collé	7
2.2. Résineux et feuillus	7
2.3. Notions d'anatomie du bois	7
2.4. Performances mécaniques	9
2.5. Classement mécanique	10
2.6. Les assemblages	10
2.7. Humidité du bois et ses conséquences	11
2.8. Agresseurs	13
2.9. Classes d'emploi	13
2.10. Durabilité	14
2.11. Finitions	16
2.12. La typologie des ouvrages en bois	17
2.13. Résumé	17



3. Les pathologies	19
3.1. Déformations du bois	19
3.2. Les pathologies d'origine mécanique	21
3.3. Les pathologies d'origine biologique	29
3.4. Les pathologies sur métal	31
3.5. Les pathologies d'ordre esthétique	32
3.6. Résumé	33



4.	Les outils de l'inspecteur	35
4.1.	Les outils de base	35
4.2.	Les méthodes d'auscultations complémentaires	38
4.3.	Résumé.....	40



5.	Contenu, analyse et propositions d'une inspection détaillée	41
5.1.	Le contenu d'une inspection d'un ouvrage en bois	41
5.2.	Éléments pour l'analyse des désordres	42
5.3.	Propositions d'actions	42
5.4.	Résumé.....	45



Annexe	47
■ Recensement et classement des défauts	47
■ Lexique.....	63
■ Références normatives	67
<i>Autres documents utiles</i>	<i>71</i>

1. Introduction

1.1. OBJET DU GUIDE

L'objectif de ce guide est de donner aux inspecteurs ouvrages d'art les notions essentielles leur permettant de diagnostiquer correctement les pathologies des structures en bois. Les inspecteurs s'appuieront naturellement sur l'instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'Art (ITSEOA) de 1979, et notamment sur le fascicule 02 pour les règles générales de l'inspection détaillée, en considérant les ouvrages d'Art en bois comme des ouvrages non courants.

Ce guide présente d'abord un rappel des propriétés du matériau, puis aborde les défauts susceptibles d'être rencontrés par l'inspecteur ainsi que les outils nécessaires pour réaliser une inspection détaillée. Le contenu d'une inspection est précisé dans une dernière partie avec quelques recommandations : que faire avant d'aller sur site, que regarder sur place, quelles investigations mener, quelles conclusions en tirer ?

1.2. LE BOIS DANS LE GÉNIE CIVIL

Le bois est présent dans certains ouvrages de génie civil, dans des proportions plus ou moins importantes. Les utilisations les plus fréquentes sont les ouvrages ou parties d'ouvrages suivants :

1. Ponts routiers et passerelles (structures bois) ;
2. Platelages ;
3. Écrans acoustiques ;
4. Équipements de la route (glissières de sécurité, portique) ;
5. Murs de soutènement ;
6. Habillages (bardage).

Un recensement non exhaustif mené en 2006 a permis de dénombrer une dizaine de

Pont routier



Passerelle



Platelage



Écran acoustique



Portique



Mur de soutènement



ponts routiers à structure porteuse en bois en France, la plupart construits après 2000, et dont les longueurs pouvaient atteindre les 100 mètres. Ci-joint une liste de quelques ponts routiers français en bois :

- pont sur la Dore (1993 / Puy-de-Dôme),
- pont du Tognard (1996 - Remplacement prévu en 2008/Isère),
- pont du Bruyasset (1996 - remplacement prévu en 2008/Isère),
- pont de Merle (1999/Corrèze),
- pont des Fayettes (2000/Isère),
- pont de Vocance (2000/Ardèche),
- pont de l'aire de Chavanon (2001/Corrèze),
- pont de Crest (2001/Drôme),
- pont d'Avoudrey (2005/Doubs).



2. Principales propriétés du bois à connaître

Ce chapitre résume les principales propriétés du bois.

Pour plus de détails, le lecteur pourra se reporter au guide du SETRA paru en novembre 2006 « Les ponts en bois - Comment assurer leur durabilité ».

2.1. BOIS MASSIF ET BOIS LAMELLÉ COLLÉ

On distingue :

- le bois massif, débité généralement en section standardisée,
- les produits reconstitués, au rang desquels on peut citer notamment le bois lamellé collé, les panneaux de particules, les contreplaqués.

Mise à part le bois lamellé collé, les produits reconstitués, non utilisés dans la construction des ouvrages d'art 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.

Le bois lamellé collé est réalisé à partir de planches (appelées lamelles). Ces lamelles mesurant jusqu'à 5 mètres de longueur sont séchées (15 % d'humidité maximum pour permettre le collage) et purgées de leurs singularités les plus néfastes (certains nœuds non adhérents, flaches, etc.). Elles sont ensuite rabotées, puis raboutées et collées pour réaliser des lamelles continues. Le collage est réalisé sous pression (2 MPa minimum) sur des faces inclinées taillées en forme de peignes appelées entures. Les lamelles sont 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.

2.2. RÉSINEUX ET FEUILLUS

Dans les forêts, on rencontre deux grandes familles d'arbres : les résineux et les feuillus.

• Résineux

Les résineux sont très utilisés en construction en raison de leur faible coût, de leur grande disponibilité et de leurs bonnes propriétés mécaniques. Les essences couramment utilisées en génie civil sont le pin sylvestre, le pin maritime, le sapin, l'épicéa, le douglas, le mélèze.

Les résineux sont assez légers avec une densité comprise généralement entre 0,35 et 0,55 (à 12 % d'humidité).

• Feuillus

Le chêne et le châtaignier, ainsi que la plupart des essences exotiques (azobé, ipé, tatajuba, etc.) peuvent être utilisées en génie civil notamment en raison de leurs très bonnes caractéristiques mécaniques, mais un coût plus élevé et une disponibilité plus faible limitent leur emploi. En général, seuls les platelages sont réalisés avec des essences feuillues.

Les feuillus présentent une densité comprise généralement entre 0,4 et 0,8.

2.3. NOTIONS D'ANATOMIE DU BOIS

Le bois est un matériau mécaniquement adapté pour être la colonne vertébrale d'un arbre. Ses caractéristiques mécaniques en font également un matériau adapté pour une utilisation en génie civil.

Le bois est un composé organique, fortement concentré en carbone (50 %) et en oxygène (43 %).

La croissance de l'arbre est un processus de transformation du dioxyde de carbone en chaîne carbonée. L'arbre puise dans le sol de l'eau chargée en sels minéraux, encore appelée sève brute, et l'achemine jusqu'aux feuilles. À ce niveau se produit une photosynthèse, permise par le rayonnement solaire, qui associe notamment l'eau avec le dioxyde de carbone environnant pour fabriquer la sève élaborée, c'est-à-dire des sucres (glucoses) qui sont consommés par la respiration de l'arbre et par la fabrication des cellules de bois (cellulose notamment).

Les cellules de bois peuvent être comparées à un matériau composite : elles se composent en effet d'une structure fibreuse (la cellulose) et d'un matériau de remplissage constituant la matrice (hémicellulose et lignine).

Les cellules de bois sont fortement orientées, la grande majorité l'étant dans le sens longitudinal, le sens du tronc. Quelques cellules sont orientées dans le sens radial et sont nommées rayons ligneux. Cette anisotropie du bois conduit à distinguer les différentes directions principales du tronc (Fig. 1).

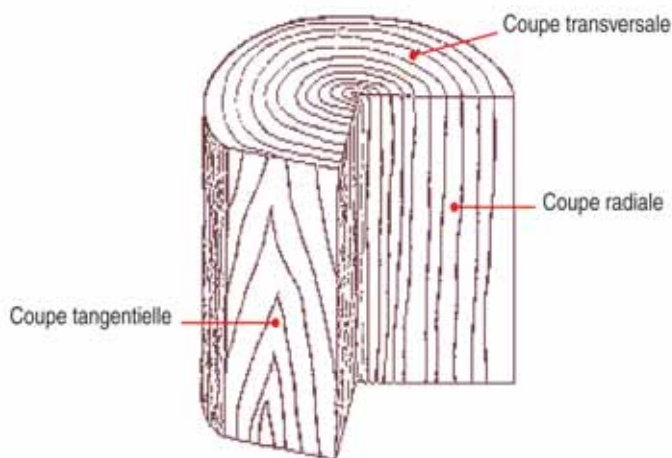


Figure 1 - Coupe d'une bille de bois et représentation des trois directions principales.

L'agencement des cellules (leurs formes, dimensions et organisation) est appelé le plan ligneux, qui est une véritable signature de l'essence.

Sur une coupe transversale d'une grume (tronc de l'arbre abattu, Fig. 2) on trouve différentes couches :

1. À l'extérieur, l'écorce externe (liège) sert de protection vis-à-vis des agressions extérieures.
2. Le liber (appelé aussi écorce interne) est une zone spongieuse dans laquelle circule la sève élaborée.
3. Le cambium est le moteur de la croissance de l'arbre : il est composé de cellules primaires qui se divisent à l'infini pour créer soit du bois* soit du liber.
4. L'aubier est la partie fonctionnelle du bois dans l'arbre : elle assure la conduction de la sève brute.
5. Le bois parfait est du bois « mort » : ce sont d'anciennes cellules d'aubier qui se sont étanchéifiées au cours du temps.

Seul l'aubier et le bois parfait sont utilisés en génie civil. Il est possible que l'aubier ait été purgé avant utilisation du bois car cette partie est naturellement peu durable, quelle que soit l'essence.

* Le bois = aubier + bois parfait.

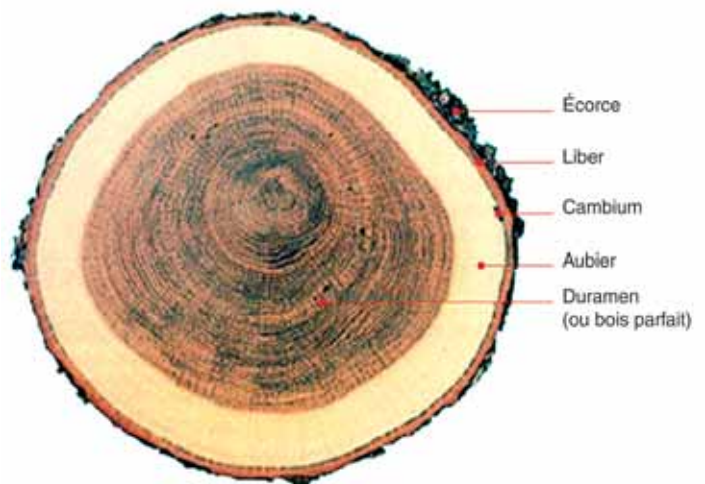


Figure 2 - Coupe transversale d'un chêne.

Le bois parfait (qui n'est pas forcément sans nœud!) peut être distingué de l'aubier par une couleur différente (on parle alors d'essence à aubier différencié), dont l'origine est un « traitement naturel » sous l'action de tanins notamment. Ce bois parfait est dans ce cas appelé duramen, et possède de meilleures propriétés de durabilité que du bois parfait non duraminisé.

On trouve par exemple du duramen dans le chêne, le châtaignier, le douglas, le mélèze, les pins maritime et sylvestre, contrairement au sapin et à l'épicéa qui n'ont pas d'aubier différencié.

2.4. PERFORMANCES MÉCANIQUES

Les cellules de bois étant fortement orientées, le bois est un matériau anisotrope. En effet, les propriétés mécaniques sont différentes selon les trois directions principales (cf. Fig.1).

Dans le sens longitudinal, les résistances moyennes à rupture sont excellentes (cf. Tableau I) : pour de l'épicéa, les valeurs moyennes de rupture se situent à environ 40 MPa en compression et 90 MPa en traction. Bien que les valeurs moyennes de rupture en traction soient plus importantes, le bois doit être utilisé préférentiellement en compression ; la rupture en compression est en effet ductile, contrairement à la rupture en traction qui est fragile.

Le bois est caractérisé par sa résistance mécanique et sa famille (résineux ou feuillus). Ces données sont codifiées par une lettre (C pour résineux et D pour feuillus, GL pour le lamellé collé, glue lam en anglais) et un nombre, représentant la valeur caractéristique en flexion.

Les valeurs dites caractéristiques prises en compte dans les calculs correspondent au fractile à 5 %, c'est-à-dire les valeurs telles que 95 % des échantillons d'une population aient une résistance supérieure à cette valeur. En pratique, pour un épicéa « classique », le classement C24 correspond à une contrainte caractéristique de 24 MPa en flexion, 21 MPa en compression et 14 MPa en traction. Quelques valeurs caractéristiques sont consignées dans le Tableau II.

Tableau I - Exemples de résistances moyennes à rupture de quelques essences (selon NF EN 338)

	ESSENCES			
	Sapin, épicéa	Pins, douglas, mélèze	Chêne	Iroko
Masse volumique moyenne à 12 % d'humidité	400 kg/m ³	450 kg/m ³	650 kg/m ³	650 kg/m ³
Classement mécanique aisément disponible en France	C18 - C24	D18-C24	D30-D40	D40
Compression axiale	35 à 45 MPa	40 à 50 MPa	50 à 80 MPa	40 à 60 MPa
Traction axiale	90 à 100 MPa	100 à 120 MPa	120 à 150 MPa	100 à 120 MPa
Flexion	50 à 70 MPa	80 à 90 MPa	100 à 150 MPa	80 à 130 MPa
Compression transversale	6 à 8 MPa	7 à 8 MPa	18 à 20 MPa	12 à 15 MPa
Traction transversale	1 à 1,5 MPa	1,5 à 2 MPa	3 à 4 MPa	3 à 4 MPa

Tableau II - Valeurs caractéristiques des résistances et modules en MPa (NF EN 338)

	C18	C24	C30	D40
Flexion	18	24	30	40
Traction axiale	11	14	18	24
Traction transversale	0,5	0,5	0,6	0,6
Compression transversale	2,2	2,5	2,7	8,8
Cisaillement	2	2,5	3	3,8
Module longitudinal moyen	9 000	11 000	12 000	11 000
Module longitudinal caractéristique	6 000	7 400	8 000	9 400
Module de cisaillement	560	690	750	700

Pour plus de précisions, on se reportera à la norme NF EN 338 : Bois de structures - Classes de résistances et à la norme NF EN 1194 : Structures en bois - Bois lamellé collé - Classes de résistance et détermination des valeurs caractéristiques.

Les contraintes admissibles dépendent fortement de la direction des efforts appliqués par rapport aux fibres du bois. Aussi pour les contraintes perpendiculaires aux fibres, les résistances de rupture sont limitées à des valeurs respectives de 1 à 2MPa en traction, et de 6 à 8MPa en compression, ce qui explique pourquoi il est préférable de ne solliciter transversalement le bois qu'en compression.

Le bois présente des singularités, notamment les nœuds qui résultent de la présence de branches dans l'arbre. Ces nœuds diminuent la résistance en traction. Le classement des bois tient compte de ces singularités : les valeurs caractéristiques sont ainsi très éloignées des valeurs moyennes à rupture, notamment en traction.

2.5. CLASSEMENT MÉCANIQUE

Une spécificité du matériau bois est son caractère naturel ce qui implique une hétérogénéité importante et une dispersion assez large des propriétés mécaniques. Un

essai sur un échantillon ne représentera pas les propriétés mécaniques d'un lot, ainsi le classement du bois est généralement simplement visuel. Le classement visuel est défini grâce à la norme NF EN 518.

Un classement mécanique plus précis est également possible. Il consiste à mesurer le module de déformation du bois et d'en déduire les autres propriétés mécaniques. Ce classement dit « par machine » régi par la norme NF EN 519 est surtout utilisé dans les scieries à forte production, en particulier en Scandinavie.

2.6. LES ASSEMBLAGES

Les assemblages de pièces de bois sont pour les ponts généralement des assemblages mixtes bois métal, collés ou mécano-collés. L'utilisation d'assemblages traditionnels bois sur bois est rare.

• Assemblages traditionnels

Les assemblages traditionnels sont ceux qui ne font intervenir que du bois. Parmi les nombreux exemples, on peut citer les tenons – mortaises plus chevilles et les embrèvements. Ces assemblages aux performances relativement limitées transmettent essentiellement des efforts de compression (Fig. 3 et Fig. 4).

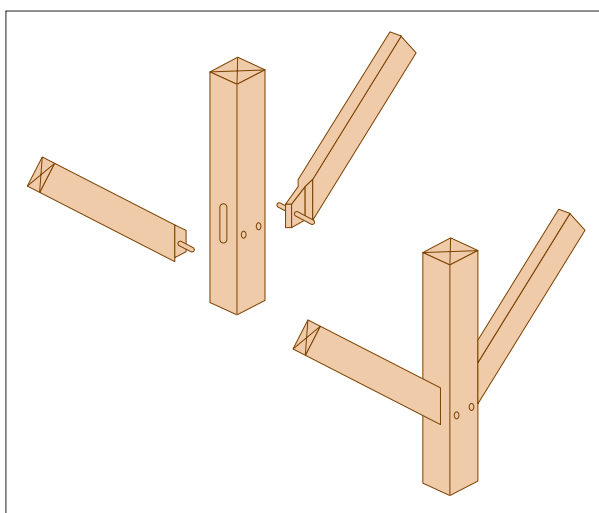


Figure 3 - Assemblage par tenons et mortaises.

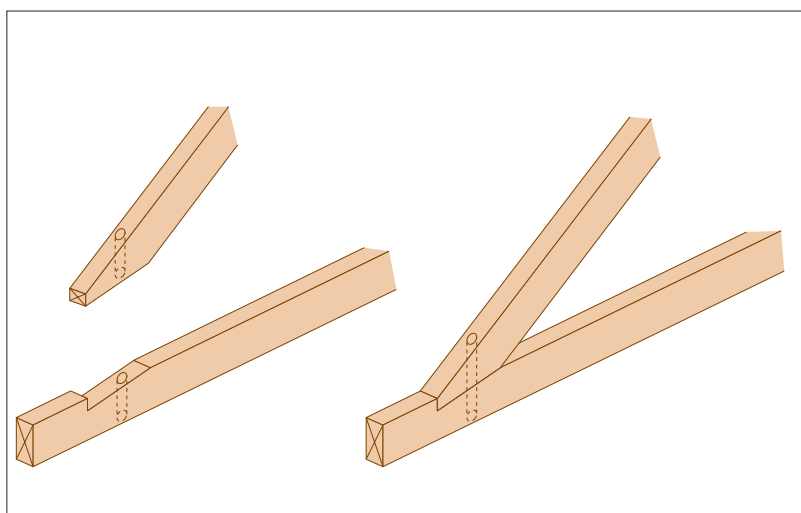


Figure 4 - Assemblages par embrèvement.

• 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, annelées, cannelées ou striées. Ce sont des organes de faibles diamètres et mis en grand nombre pour assurer une bonne capacité de l'assemblage. Les broches sont des tiges lisses introduites avec force dans un percement de diamètre légèrement inférieur (Fig. 5 et Fig. 6).

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

Différents modes de rupture des assemblages existent : soit l'élément métallique se plastifie (exemples 1 et 2 de la figure 20, page 23), soit l'élément métallique reste rigide et la ruine se traduit par un enfoncement dans le bois (exemple 3 de la figure 20).

• 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 pour renforcer l'assemblage.

2.7. HUMIDITÉ DU BOIS ET SES CONSÉQUENCES

Le bois contient de l'eau sous trois formes :

- L'eau de constitution faisant partie intégrante des chaînes de cellulose.
- L'eau libre, qui circule librement dans les trachéides ou les vaisseaux.
- L'eau liée, qui est intercalée entre les chaînes de cellulose.

L'humidité du bois est définie comme étant le rapport entre la masse d'eau présente dans le bois et la masse de bois anhydre.

Le séchage du bois consiste d'abord à évacuer toute l'eau libre (l'humidité naturelle du bois variant ainsi de 100% ou plus à 30% environ pour les essences européennes).

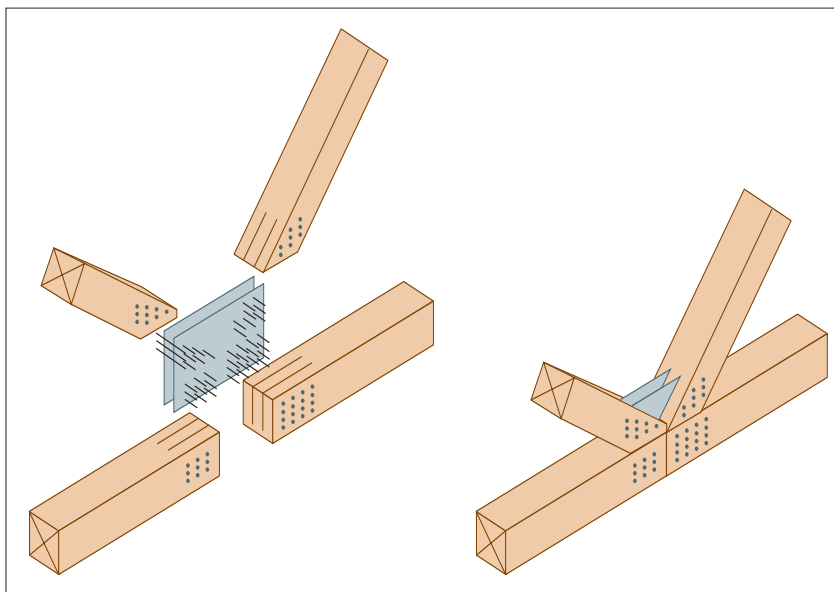


Figure 5 - Assemblage par gousset et broche métallique.

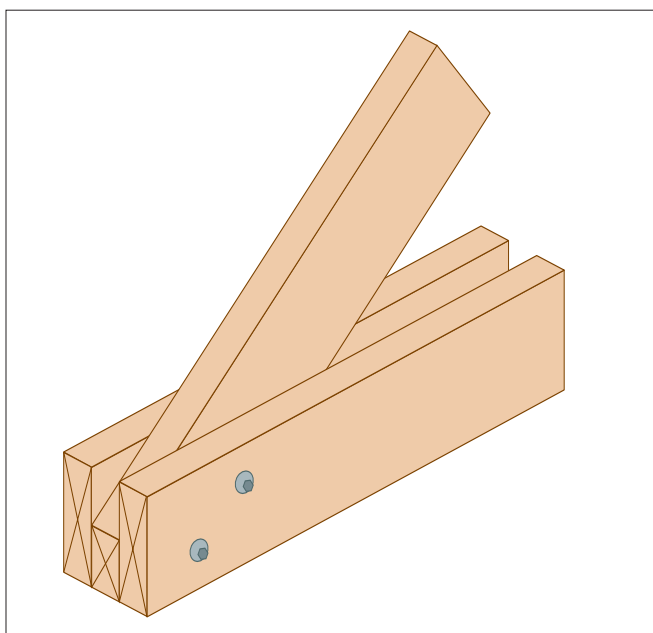


Figure 6 - Assemblage boulonné.

Ensuite l'eau liée est évacuée, ce qui permet le rapprochement des chaînes de celluloses et crée ainsi un phénomène de retrait.

Ce retrait est anisotrope, toujours en raison de la forte orientation des cellules, et peut induire des déformations indésirées, telles que le gauchissement ou le tuilage, en particulier pour les planches sur dosses (D) (Fig. 7).

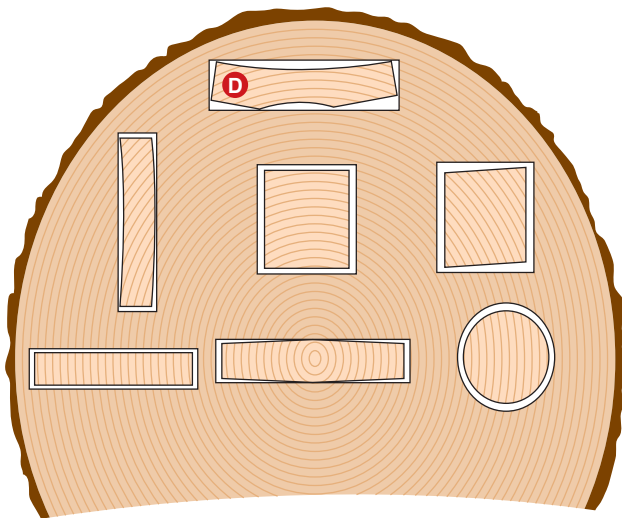


Figure 7 - Déformations du bois au cours du séchage, selon sa position dans le tronc.

Pour les ouvrages de génie civil, l'humidité du bois s'équilibre avec le milieu environnant dont l'humidité est variable selon les saisons et selon le lieu d'implantation géographique (Fig. 8).

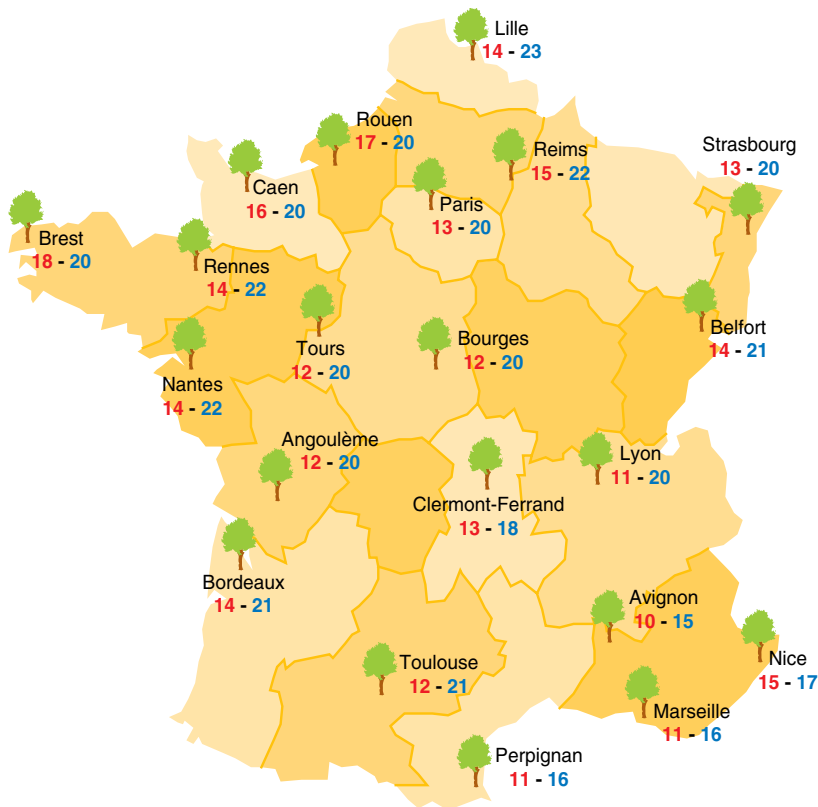


Figure 8 - Équilibre hygroscopique du bois en France, en extérieur abrité, source CTBA. La première valeur est l'humidité d'équilibre en été, la seconde en hiver. En profondeur (au-delà d'un centimètre environ), l'humidité du bois se stabilise à environ la moyenne de ces deux valeurs.

Au-delà de 1 cm de profondeur environ, l'humidité d'équilibre est stable, et vaut environ la moyenne des humidités du bois lors des différentes saisons.

Le retrait est proportionnel à la décroissance d'humidité : le coefficient liant les deux paramètres s'appelle la rétractabilité (Fig. 9).

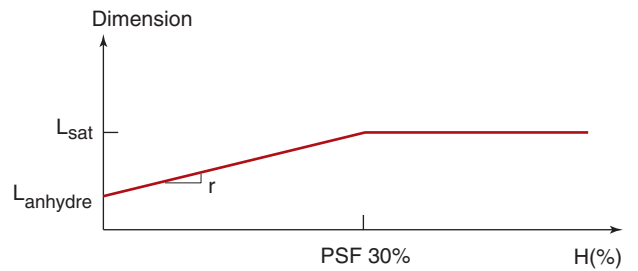


Figure 9 - Retrait du bois.

Chaque essence présente un retrait total et une rétractabilité spécifiques pour chacune des trois directions. Le tableau III donne des valeurs de rétractabilité en pourcentage par pourcentage 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%.

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

Tableau III - Coefficient de rétractabilité de quelques essences

Essences	Rétractabilité (% / %)	
	Radiale	Tangentielle
Azobé	0,31	0,40
Chêne	0,20	0,32
Douglas	0,17	0,27
Doussié	0,12	0,20
Épicéa	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

2.8. AGRESSEURS

Le bois, matériau naturel, possède des agresseurs biologiques cherchant à se nourrir soit des substances de réserve du bois (sucres), soit du bois lui-même.

2.8.1. Insectes

Les coléoptères à larves xylophages (notamment les capricornes ou les vrillettes) pondent des oeufs à la surface du bois. Les larves pénètrent dans le bois en creusant des galeries pour se nourrir des sucres. Avant leur mue pour devenir adulte, elles sortent du bois, créant ainsi des trous d'envol, de diamètre 1 à 3 mm selon les espèces. C'est donc seulement après leur envol que l'on s'aperçoit de leur présence. Dans ce cas, la probabilité d'avoir d'autres larves à l'intérieur est assez forte, ce qui implique en général le traitement curatif des bois concernés.

Les termites se nourrissent de la totalité du bois. En France, les termites sont souterrains, ils accèdent au bois en étant protégés de la lumière. Les moyens de lutte sont de réaliser des barrières (physique-chimique) ou/et de les intoxiquer (utilisation de pièges).

2.8.2. Champignons

En France, les champignons représentent le risque majeur pour le bois. Ils peuvent se développer sur tous les bois présentant une humidité comprise entre 20 % et 80 %. En dessous de 20 %, la quantité d'eau est insuffisante. Au-dessus de 80 % l'oxygène est trop rare.

Une attaque de champignons sur du bois en extérieur traduit une humidité anormalement élevée (due par exemple à un piège à eau), car en utilisation normale, le bois s'équilibre toujours à 20 % d'humidité en moyenne au maximum.

Il existe des champignons dits lignicoles qui ne se nourrissent que des sucres et n'induisent que des désordres esthétiques et des champignons dits lignivores, à l'origine de la pourriture, qui se nourrissent de la totalité du bois.

Pour se prémunir de ces attaques, une conception permettant au bois de rester sec

est à privilégier (humidité du bois inférieure à 20 %). Des traitements préventifs ou curatifs à base de fongicide (à base de cuivre par exemple) peuvent compléter la conception.

2.8.3. Térébrants marins

Certains crustacés (taret) et mollusques (limnoria) attaquent le bois immergé en mer. Un choix pertinent d'essences exotiques (comme le doussié, le bilinga ou l'azobé) permet de parer ces attaques.

2.8.4. Soleil

Les ultraviolets induisent une décoloration du bois vers une couleur grise à noire selon l'exposition et selon l'essence. Ce phénomène appelé « grisaillement » n'a pas de conséquence autre qu'esthétique (Fig. 10).



Figure 10 - Exemple de grisaillement du bois.

Les infrarouges échauffent le bois, qui localement va se rétracter en créant des fentes qui ne se refermeront pas totalement lors d'une réhumidification et qui deviendront alors des pièges à eau éventuels permettant le développement fongique.

2.9. CLASSES D'EMPLOI

Le risque fongique est prédominant pour les ouvrages de génie civil. Ce risque est bien entendu plus faible pour les bois abrités que pour le bois en contact en permanence avec de l'eau. La norme NF EN 335 distingue cinq classes d'emploi du bois, selon l'exposition à l'humidité. Le bois en contact avec l'eau de mer présente des

risques sévères de dégradation en raison des térébrants marins qui attaquent le bois. Un ouvrage de génie civil bien conçu ne devrait présenter que des zones en classe d'emploi 2 et 3 (Tableau IV).

2.10. DURABILITÉ

2.10.1. Durabilité naturelle

Face aux risques d'agressions, les essences de bois n'ont pas les mêmes défenses naturelles. Les essences comme le chêne, le châtaignier ou encore le doussié, l'azobé ont une bonne durabilité naturelle contrairement au sapin, épicéa ou certaines essences exotiques. Il convient de noter que l'aubier est une zone non durable quelle que soit l'essence : il est donc à purger pour les essences naturellement durables (pour les autres essences, la durabilité de l'aubier équivaut à celle du bois parfait, ce qui autorise l'usage de l'aubier dans les mêmes conditions que le bois parfait).

Le bois présente une bonne résistance aux chlorures et aux sulfates, et ne pose pas de problèmes de pathologies vis-à-vis des sels de déverglaçage ou des sols contenant des sulfates.

La durabilité des duramens par rapport aux champignons comprend, au sens de la norme NF EN 350-2, cinq 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 particulier 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 sensible (S).

Le durabilité naturelle de quelques essences vis-à-vis de trois agresseurs particuliers, à savoir les champignons, les capricornes (coléoptères à larves xylophages) et les termites est donné dans le Tableau V.

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, plus large sera le domaine d'emploi.

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

Tableau IV - Définition des classes d'emploi selon NF EN 335

Classes	Situation en service	Exemples	Zone sensible	Risques biologiques
1	Bois sec, humidité <i>toujours inférieure à 20 %</i>	Menuiseries intérieures, sans objet pour les ouvrages en extérieur	2 mm de profondeur	- Insectes - Termites
2	Bois sec, dont l'humidité peut <i>occasionnellement dépasser 20 %</i>	Charpentes, parties d'ouvrages sous toiture ou protégées	2 mm de profondeur	- Insectes - Termites - Champignons de surface
3	Bois dont l'humidité est <i>fréquemment supérieure à 20 %</i>	Constructions extérieures verticales : bardages	Toute la partie humidifiable de la zone non durable naturellement	- Pourriture - Insectes - Termites
4	Bois dont l'humidité est <i>toujours supérieure à 20 %</i>	Bois extérieurs horizontaux (lisse de garde corps, platelage, etc.) et en contact avec le sol	Toute la zone non durable naturellement	- Pourriture - Insectes - Termites
5	Bois en contact permanent avec <i>l'eau de mer</i>	Pontons, etc.	Toute la zone non durable naturellement	- Pourriture - Insectes - Térébrants marins

Tableau V - Durabilité naturelle de quelques essences (NF EN 350-2)

Essences	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
Pin sylvestre	3 à 4	S	S
Sapin	4	SH	S

Tableau VI - Relation entre durabilité naturelle et classe d'emploi (NF EN 460)

Classes d'emploi	Classe de durabilité				
	1	2	3	4	5
1	o	o	o	o	o
2	o	o	o	(o)	(o)
3	o	o	(o)	(o)-(x)	(o)-(x)
4	o	(o)	(x)	x	x
5	o	(x)	(x)	x	x
o	Durabilité naturelle suffisante				
(o)	Durabilité naturelle normalement suffisante, mais pour certains emplois un traitement de préservation peut être recommandé				
(o)-(x)	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				
(x)	Un traitement de préservation est recommandé, mais pour certains emplois la durabilité naturelle peut être suffisante				
x	Traitement de préservation nécessaire				

• Quelques exemples

- Un traitement de préservation peut être nécessaire pour le hêtre, le sapin, l'épicéa et tous les aubiers dès la classe d'emploi 2 (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 ou de l'azobé peut être utilisable jusqu'en classe d'emploi 4 sans traitement de préservation.

2.10.2 Imprégnabilité

Les essences non ou peu durables, ainsi que tous les aubiers, sont en général facilement imprégnables par un produit chimique de préservation (insecticide et fongicide).

Les traitements de préservation conduisent cependant à certains problèmes de toxicité et de gestion des bois en fin de vie. Le bois traité peut éventuellement être classé comme déchets dangereux selon le type du produit et le dosage.

Toutefois, les traitements de préservation peuvent être intéressants, notamment dans le cadre de la maintenance des ouvrages.

La norme EN 350-2 définit quatre classes d'imprégnabilité et donne les profondeurs de pénétration latérale associées (Tableau VII) :

Tableau VII - Classes d'imprégnabilité (NF EN 350-2)

Classe d'imprégnabilité	Appellation	Description	Exemples
1	Imprégnable	Facile à traiter (pénétration complète)	Tilleul, hêtre
2	Moyennement imprégnable	Assez facile à traiter (pénétration > 6 mm)	Orme, sapin
3	Peu imprégnable	Difficile à traiter (pénétration 3 à 6 mm)	Epicéa
4	Non imprégnable	Quasiment impossible à traiter	Douglas, chêne, châtaignier

2.10.3. Produits et modes de traitements

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. Par exemple le cuivre est couramment utilisé comme fongicide.

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 notamment), soit par collage (résines qui fixent les substances de synthèse).

Il existe trois grandes familles de produits:

- les produits hydrosolubles, à base de sels métalliques, riches en cuivre (fongicide) ;
- les produits de synthèse;
- la créosote, produit issu de la distillation de la houille.

Deux modes de mise en œuvre existent :

- l'application en surface (trempage court, aspersion ou badigeonnage) qui assure un traitement léger;
- l'application en profondeur (dans un autoclave pressurisé) qui permet une pénétration du produit plus importante et assure une durabilité plus importante. Le bois traité en profondeur, limitée à quelques centimètres seulement, est souvent défini par abus de langage comme du bois « traité à cœur ».

2.10.4. Traitement des bois et environnement

Utiliser un traitement de préservation du bois (préventif ou curatif) n'est pas neutre sur l'environnement.

En cas de traitement déjà présent sur les pièces de bois, en fin de vie, une quantification des substances toxiques devra être réalisée en vue de classer le déchet. En cas de classement en déchet dangereux (en

fonction de la quantité résiduelle de produits toxiques, nocifs ou cancérigènes par exemple), une incinération dans un centre spécifique devra être envisagée, ce qui induit un coût.

En cas de traitement curatif du bois en place, il conviendra d'utiliser un produit autorisé au regard de la directive européenne dite « biocide », qui autorisera la mise sur le marché des produits de traitement du bois après une évaluation toxicologique et écotoxicologique.

2.11. FINITIONS

Le rôle d'une finition est de protéger le bois contre les échanges hygroscopiques (elle permet donc de limiter le retrait du bois) et d'assurer une fonction esthétique. En particulier une finition permet à l'eau de s'évacuer plus rapidement en diminuant l'adhérence superficielle par une diminution de la tension de surface.

Parmi les produits courants, on distingue les lasures, les vernis et les peintures.

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.

2.11.1. 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 ». Les lasures peuvent être teintées ou non, et peuvent contenir des biocides contre le bleuissement (décoloration du bois en surface observée surtout en scierie) en service. Elles sont véhiculées soit en phase solvant, la polymérisation intervenant par oxydation, soit en phase aqueuse, la finition se formant par évaporation et coalescence.

Ce sont des produits non filmogènes, c'est-à-dire qu'ils ne forment pas une surface totalement étanche et fermée à la surface du bois, ce qui permet de le laisser « respirer ». Leur durée de vie est variable selon les

expositions, généralement entre 4 et 6 ans. Elles 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.

2.11.2. 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 à proscrire 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 « microporeuses » sont utilisées en extérieur pour permettre les échanges de vapeur. *A contrario*, les peintures brillantes (de type glycérophthalique) sont filmogènes, donc plus durables mais présentent des risques de rétention d'eau (comme le vernis) et sont donc à éviter en extérieur.

L'écaillage de la 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, une solution consiste à utiliser des pigments

foncés, mais elle 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.

2.12. LA TYPOLOGIE DES OUVRAGES EN BOIS

Parmi les différents types de structures possibles, il est préférable de retenir celles qui font travailler le bois préférentiellement en compression ou en flexion.

Les structures de ponts en bois sont principalement :

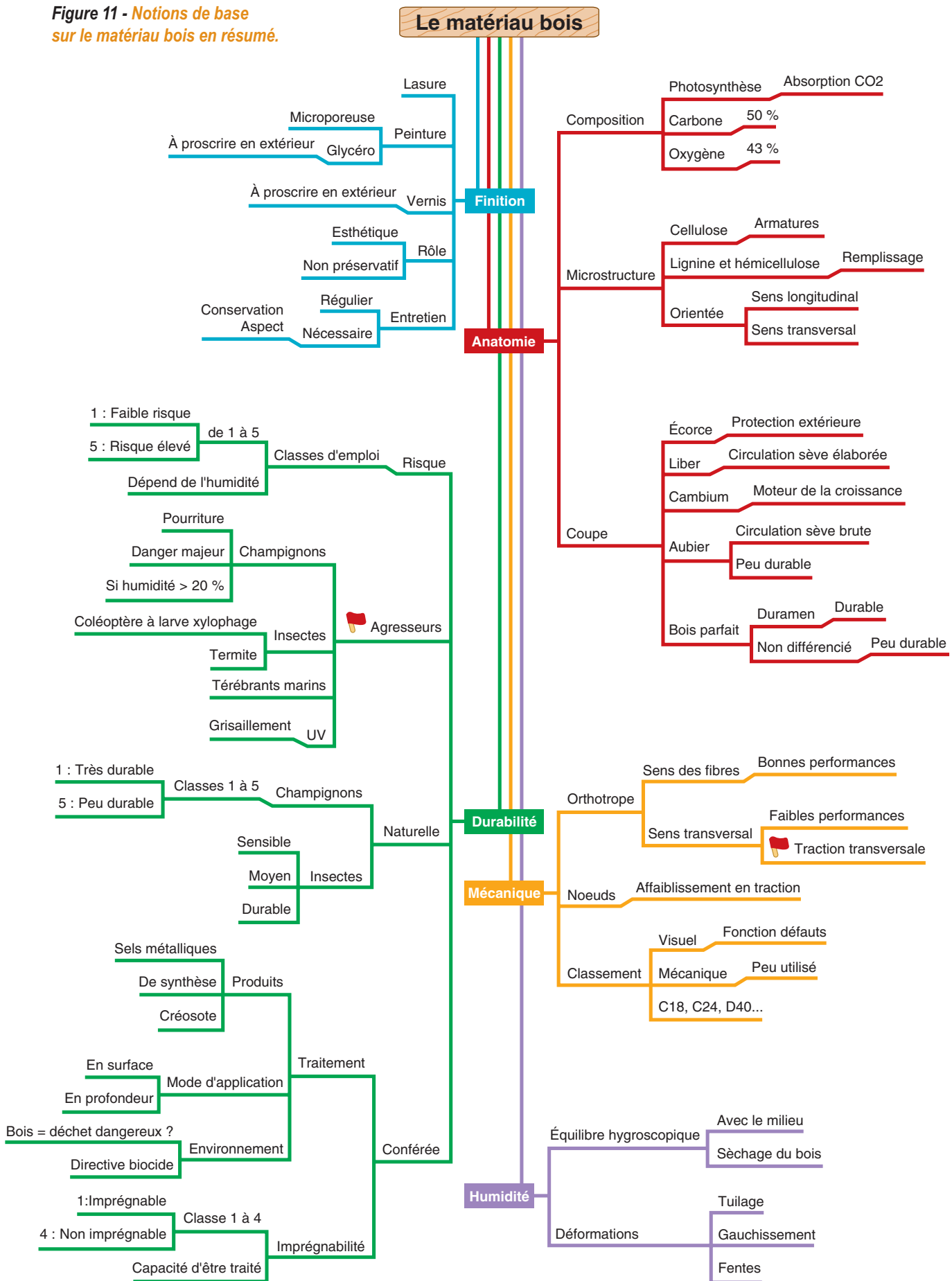
- en arc,
- en treillis, qui peut être couvert,
- à poutres sous chaussée, avec éventuellement des béquilles,
- à poutres latérales pleines,
- à fermes,
- mixtes bois et béton.

Le bois utilisé se présente généralement sous forme de bois lamellé collé. Quelques exemples en bois massif, rond ou équarri, existent également, principalement pour les passerelles.

2.13. RÉSUMÉ

La figure 11 ci-après dresse un résumé de ce chapitre.

Figure 11 - Notions de base sur le matériau bois en résumé.



3. Les pathologies

Les pathologies rencontrées sur les ouvrages en bois peuvent être classées en différentes familles :

1. les pathologies dues au retrait ou au gonflement du bois,
2. les pathologies d'origine mécanique,
3. les pathologies d'origine biologique,
4. les pathologies dues au vandalisme ou aux incendies,
5. les pathologies des organes d'assemblages,
6. les « pathologies » d'ordre esthétique.

3.1. DÉFORMATIONS DU BOIS

3.1.1. Déformations du bois dues au retrait

Le retrait du bois est anisotrope, ce qui conduit à des déformations non homogènes du bois.

En particulier, les planches de bardage peuvent se déformer par tuilage (déformations de la planche en forme de tuile ronde) ou se gauchir. Ces déformations sont le plus souvent seulement inesthétiques, mais peuvent parfois engendrer des défaillances des fixations (déclouage par exemple).

Les poutres d'une passerelle peuvent aussi se déformer suite à un retrait du bois différent selon les faces exposées différemment au soleil. La passerelle représentée sur la figure 12 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.



Figure 12 - Poutres latérales déversées. La face ensoleillée côté sud se rétracte.

Ce phénomène est amplifié lorsque le rapport entre la hauteur de la poutre et son épaisseur est élevé. Pour limiter au maximum ces effets indésirables, il est préconisé dans le guide du SETRA une valeur maximale de 5 pour ce rapport.

Ce désordre conduit principalement à une gêne visuelle. En cas de déformations importantes, la stabilité générale de la structure devra être vérifiée vis-à-vis des instabilités élastiques (flambement et déversement). Un bardage des poutres aurait constitué une solution efficace pour éviter ce genre de dégradations prématurées.

3.1.2. Retrait et fentes

Lorsque le retrait du bois est empêché par des assemblages, le bois a tendance à se fendre. Les fentes de retrait peuvent être soit



Figure 13 - Fente très ouverte due au retrait du bois et induisant une humidité localement élevée.



Figure 15 - Fentes de retrait sur les lisses d'un garde-corps, créant ainsi des pièges à eau.



Figure 14 - Bois rond fendu. Le bois rond est très sensible au retrait.



Figure 16 - Bois fendu sous chaussée.

réparties et de petite taille, soit singulières avec des ouvertures et des profondeurs assez élevées. Le problème majeur de ces fentes de retrait réside dans la création de pièges à eau qui favorisent ensuite le développement fongique. En cas d'humidification possible par la pluie, il est recommandé de reboucher ces fentes avec un mastic élastique de classe F25E (25% de déformation élastique), de préférence agréé par le syndicat national des joints de façade (SNJF). En cas de profondeur importante, plus de 20% de la largeur de la pièce de bois, un affaiblissement mécanique du bois est à craindre.

Le bois rond aura tendance naturellement à se fendre plus facilement en raison du retrait. Pour éviter l'apparition de fentes irrégulières, des fentes de décharge sont souvent créées artificiellement par incision, à l'aide d'une scie circulaire par exemple, jusqu'au tiers du diamètre environ afin de permettre au bois une liberté de mouvement.

Les figures 13, 14, 15 et 16 montrent des exemples de fentes sur des ouvrages en bois. Les fentes de retrait gêné vont se créer principalement entre deux organes d'assemblages, notamment entre deux boulons. Les fentes (dues à l'action du retrait) se distinguent assez difficilement des fissures (ayant pour origine une contrainte mécanique trop élevée). Elles sont cependant toujours orientées dans le sens des fibres du bois.

3.2. LES PATHOLOGIES D'ORIGINE MÉCANIQUE

Ces pathologies sont en général le reflet d'erreurs initiales au niveau des études (conception ou calcul). Le bois étant un matériau anisotrope, certaines vérifications sont parfois oubliées notamment la justification des tractions transversales.

Les défauts mécaniques ont classiquement pour origine une insuffisance au niveau d'un assemblage, un excès de taux de travail du bois ou encore des dispositions constructives inadaptées.

3.2.1. Assemblages insuffisants ou mal conçus

Les assemblages sont des points très sensibles des structures en bois. Les insuffisances mécaniques peuvent entraîner la ruine de l'assemblage et une mauvaise conception vis-à-vis des efforts de traction transversale, ou du retrait du bois, peut entraîner une fissuration conséquente. La figure 17 montre deux exemples de conception pour la transmission d'efforts. Le premier système permet une meilleure diffusion des efforts.

Les fissures mécaniques peuvent avoir pour origine un organe métallique dans le cas d'un cisaillement excessif (Fig.18 et 20) ou une réduction brutale de section (Fig.26).

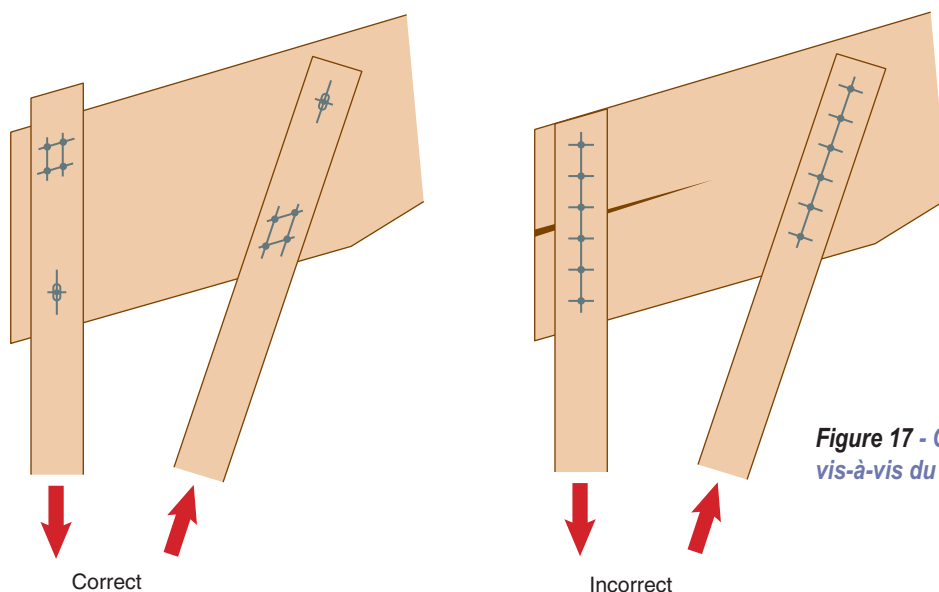


Figure 17 - Conception d'assemblage vis-à-vis du retrait du bois.

D'autres défauts d'assemblages peuvent avoir pour origine un mauvais positionnement des organes métalliques, notamment s'ils sont placés trop au bord ou s'ils sont trop proches les uns des autres (pinces trop faibles). Pour les valeurs à prendre en compte, on se reportera à l'eurocode 5, partie 1-1 qui présente différents cas de figure en fonction du type d'assemblages notamment.

Enfin, les assemblages peuvent présenter des déplacements importants (Fig. 19), qui peuvent être annonciateurs d'une rupture.

Ces pathologies peuvent aller jusqu'à la ruine partielle ou totale de l'ouvrage en raison d'une mauvaise conception ou d'un sous dimensionnement d'un assemblage.

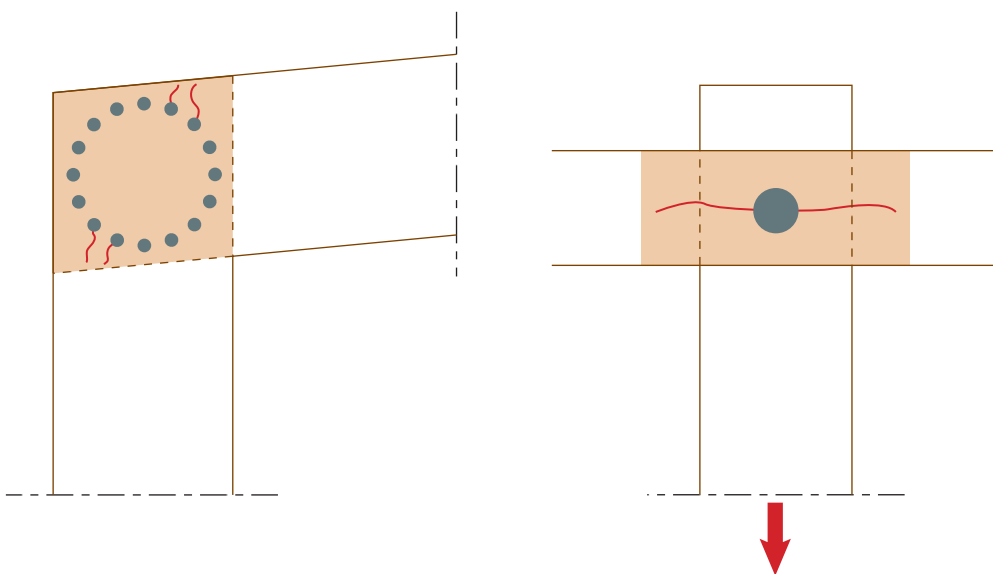


Figure 18 - Exemples de fissuration mécanique du bois.



Figure 19 - Déplacement du boulon d'assemblage.

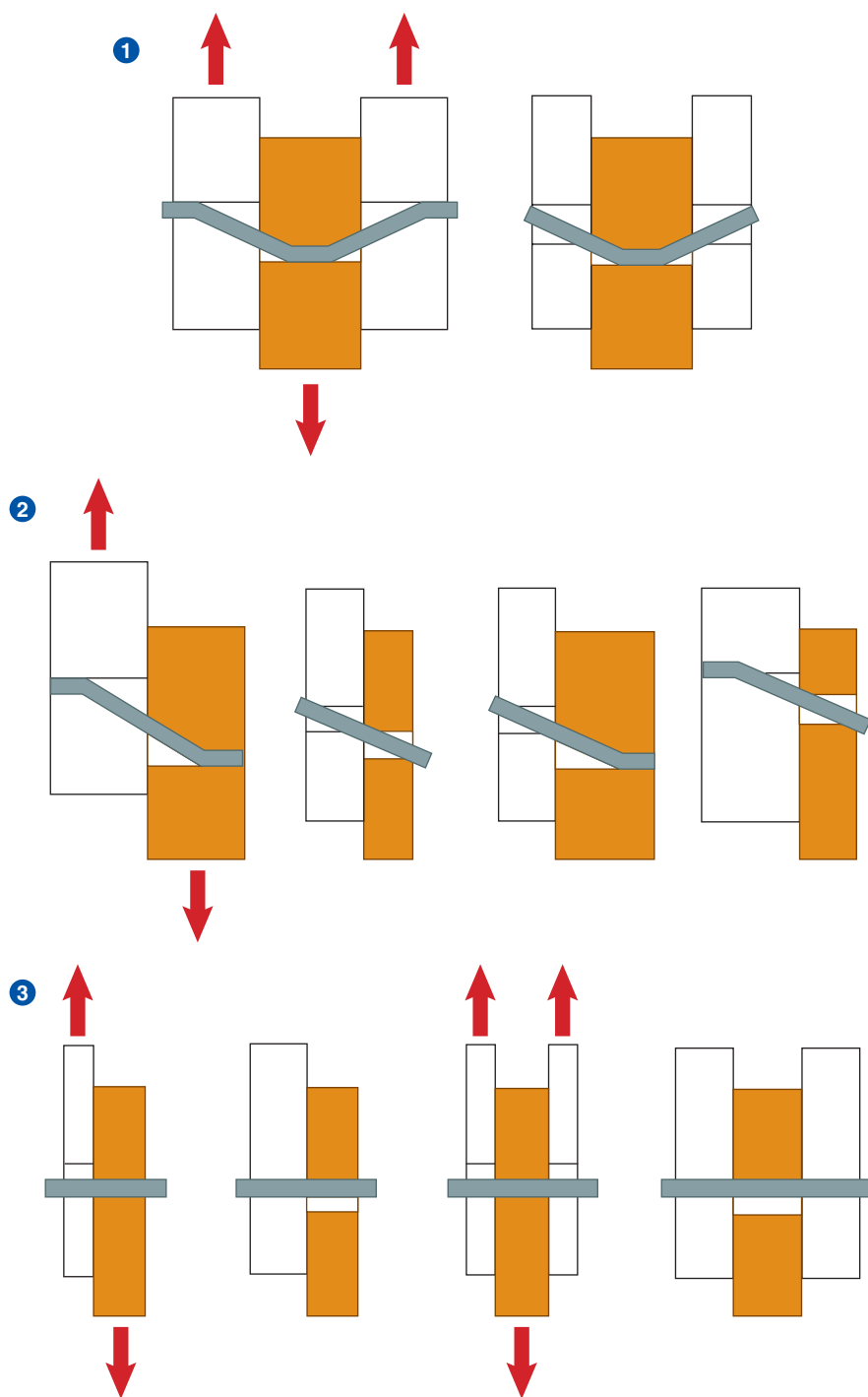


Figure 20 - Mode de rupture des assemblages en cisaillement :
 1. Double cisaillement par plastification de l'acier.
 2. Simple cisaillement avec plastification de l'acier.
 3. Rupture par enfoncement dans le bois.

Sur la figure 21, l'assemblage entre un arbalétrier et une contrefiche a rompu en raison d'un assemblage inadapté. La conception était prévue pour un assemblage travaillant en compression, alors que les sollicitations principales étaient en traction.



Figure 21 - Rupture d'un assemblage.

Sur les figures 22 et 23, les assemblages entre les pièces de bois sont réalisés par une simple pointe, qui ne reprend pas suffisamment les efforts. Dans le coin, un système d'assemblage plus robuste aurait pu être mis en place (cornières métalliques, profilés de raccord, etc.).



Figure 22 - Désorganisation d'un mur de soutènement



Figure 23 - Mauvaise conception du coin.

Sur la figure 24 apparaît un phénomène courant sur les platelages cloués : suite aux vibrations du trafic (piétons ou automobile), les pointes ressortent. Pour éviter cela, les pointes doivent être clouées en biais par paires, ou mieux, le platelage sera vissé ou boulonné.



Figure 24 - Déclouement du platelage suite aux vibrations.

Sur la figure 25, l'assemblage entre la main courante et le montant a été sous dimensionné.

L'effet du retrait du bois a sans doute suffi au déboîtement de l'assemblage.



Figure 25 - Attache de la main courante sous-dimensionnée.

3.2.2 Travail excessif du bois

Le travail excessif du bois peut résulter d'une insuffisance de dimensionnement, d'un chargement excessif ou d'une mauvaise transmission des efforts. Ces pathologies sont généralement observables sous forme de fissure (souvent accompagnées de fentes de retrait) et éventuellement sous forme de déformations excessives (Fig. 26).

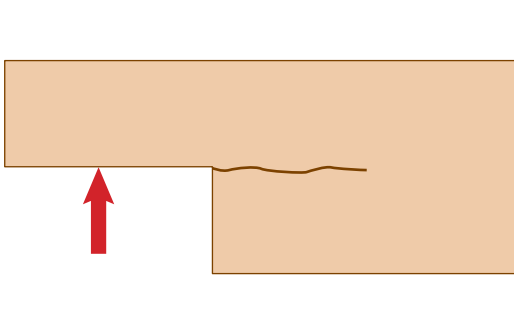
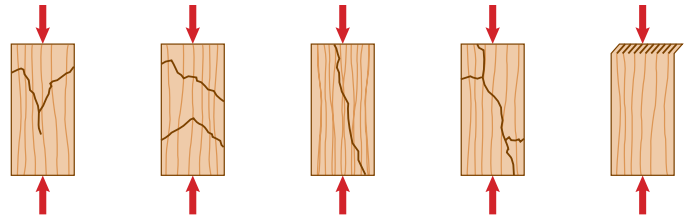


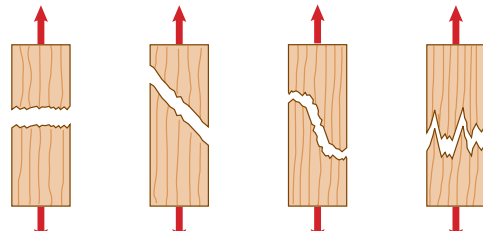
Figure 26 - Fissure mécanique par excès de traction.

Les mécanismes de rupture dans le bois sont multiples comme le montrent les figures suivantes (Fig. 27a, b, c) même pour le bois exempt de singularités.

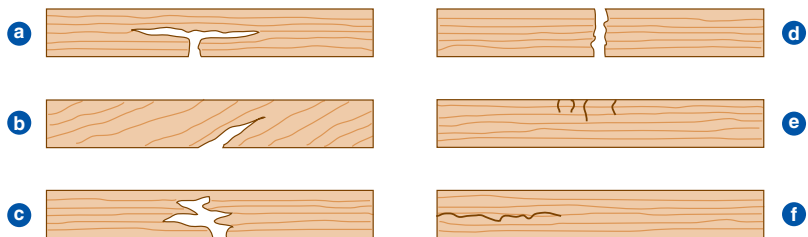
Figure 27 - Différents modes de rupture



a - EN COMPRESSION. De gauche à droite, fendage en coin, en cisaillement, par fendage, par écrasement et fendage, par flambement cellulaire.



b - EN TRACTION. De gauche à droite, rupture fragile en traction, en cisaillement, combinaison traction cisaillement, fendage en traction.



c - EN FLEXION d'un échantillon de bois exempt de singularités avec leurs causes probables.

- 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.

- **Excès de traction transversale**

Sur les figures 28 et 29, la pièce de bois a rompu par traction transversale et cisaillement en raison d'une découpe de la pièce abrupte et d'une ruine d'un autre assemblage qui a provoqué un report des efforts. Sur la figure 30, la rupture par traction a été également consécutive à un report d'effort trop important.



Figure 28 - Rupture du bois par traction transversale.

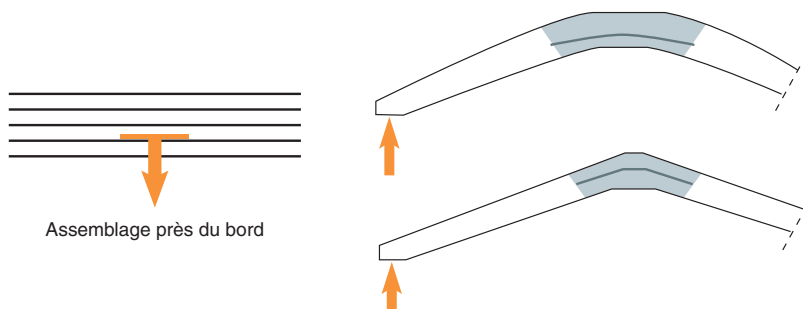


Figure 29 - Traction transversale, due à une courbure importante ou à un assemblage près du bord, pouvant induire une fissuration.

- **Excès de traction axiale**



Figure 30 - Rupture du bois par traction (arrachement des fibres).

- **Excès de compression transversale**

Sur la figure 31, le bois rond est fendu en raison du retrait et la forte compression tend à ouvrir les fentes.



Figure 31 - Surcompression du bois rond et fente due au séchage.

- **Descriptif d'un processus de rupture en flexion**

Les figures 32, 33 et 34 montrent le processus de rupture d'une poutre en lamellé-collé soumise à de la flexion.

Au départ, le bois rompt localement par excès de traction axiale, générant ainsi une fissure.

Ces fissures se situent dans les zones les plus sollicitées et à proximité des nœuds, qui sont des points faibles en traction.

Les fissures se propagent ensuite plus ou moins perpendiculairement au sens des fibres et bifurquent ensuite dans le sens des fibres, en raison d'une augmentation de la traction transversale libérée par la fissure et dans une moindre mesure par l'augmentation du cisaillement. La résistance à la traction transversale étant très faible, la fissure se propage ensuite le long des fibres, ce qui la rend assez difficilement distinguable d'une fente de retrait. À la suite du chargement, de nouvelles fissures par excès de traction axiale apparaissent et la rupture du bois devient inexorable.



Figure 32 - Rupture initiale en traction et fissures à proximité d'un nœud.



Figure 33 - Propagation de la fissure de traction axiale et bifurcation dans le sens des fibres.



Figure 34 - Rupture complète par perte de section résistante.

• La recherche de fissures

La recherche de fissures est primordiale pour se prononcer sur l'état de l'ouvrage. La profondeur, l'ouverture et la longueur des fissures sont des signes de l'importance du désordre. En partie courante, ces fissures mécaniques sont difficilement différenciables des fentes de retrait.

Cependant, hormis pour les fissures de cisaillement et de traction transversale, les fissures ont généralement à leur origine une

direction perpendiculaire ou inclinée par rapport aux fibres du bois, ce qui en fait un signe distinctif des fentes de retrait.

Les fissures de traction transversale (cf. Fig. 29) peuvent être dues à un assemblage sollicitant le bois perpendiculairement à ses fibres ou en raison d'une courbure importante (effet de poussée au vide).

Les fissures de cisaillement peuvent avoir pour origine un élément de l'assemblage, comme par exemple un boulon (cf. Fig. 18).

3.2.3. Pathologies du bois lamellé collé

Les pathologies du bois lamellé collé concernent essentiellement la formation de fentes de retrait. Le syndicat national des constructeurs de charpentes en bois lamellé collé (SNCCBLC) a édité des « recommandations pour la réparation de bois lamellé collé structural présentant des fissures ou des fentes » en juin 2000. Elles prévalent uniquement pour les fentes de retrait et les délaminations du bois lamellé collé. Les fissures d'origine mécanique n'ont pas à être traitées par ces recommandations.

Ces recommandations distinguent trois catégories de fentes :

- les fentes de faible importance,
- les fentes importantes,
- les fentes graves ou traversantes.

• Les fentes de faible importance

Les fentes sont considérées comme étant de faible importance lorsqu'elles présentent une profondeur limitée au cinquième de l'épaisseur des pièces et une longueur de l'ordre de 2 mètres maximum.

Elles ont pour origine des gerces dans les planches de base, des défauts de collage en rive ou le retrait gêné du bois lamellé collé par des assemblages.

Ces fentes ne nécessitent pas de réparations structurelles, mais un colmatage avec de la résine epoxy peut être effectué pour des raisons esthétiques mais aussi pour éviter la rétention d'eau.

• Les fentes importantes

Les fentes sont considérées comme importantes lorsqu'elles présentent une profondeur limitée au tiers de l'épaisseur des pièces et une longueur limitée au quart de la longueur de la poutre.

Ces fentes affectent la résistance mécanique de la poutre et nécessitent par conséquent des réparations structurelles par injection de résine epoxy bi-composants après avoir été homogénéisées (par incision à la scie) et nettoyées. Les conditions de mise en œuvre devront notamment respecter les prescriptions du fabricant.

• Les fentes graves ou traversantes

Les fentes sont considérées comme graves ou traversantes lorsqu'elles sont de dimensions supérieures aux précédentes. Il s'agit de fentes de retrait gêné s'étendant sur de grandes longueurs.

Ces fentes affectent la résistance mécanique de la poutre. Avant toute réparation, il convient d'étudier précisément leur origine et d'effectuer une étude justificative par le calcul. Ensuite les réparations structurelles devront faire l'objet d'une procédure et seront basées sur l'ajout d'éléments structuraux pour reprendre les efforts. Une étude d'une injection de mastic élastique complètera la réparation.

3.2.4. Déformations excessives de l'ouvrage

Ces déformations peuvent être la conséquence du fluage (en particulier si l'humidité de mise en œuvre était élevée), d'un mauvais dimensionnement de la structure ou de déplacements au niveau d'assemblages (jeux ou rupture). Elles peuvent être ponctuelles ou concerner l'ensemble de l'ouvrage. Un nivellement de précision du tablier peut permettre de suivre ces déformations dans le temps (Fig. 35).



Figure 35 - Déformations excessives signe d'un affaiblissement possible de la structure.

3.3. LES PATHOLOGIES D'ORIGINE BIOLOGIQUE

Ces pathologies sont en général dues à l'action de champignons qui entraînent une pourriture du bois. L'origine première est une humidification du bois trop élevée, en raison de dispositions constructives peu adaptées au matériau bois.

Quelques pathologies sont issues de dégradations par les termites. Les attaques par les insectes coléoptères à larves xylophages sont assez peu probables car ils se développent de préférence à l'intérieur des bâtiments.

On peut distinguer les pathologies:

- sur les bois exposés aux intempéries :
 - bois horizontaux,
 - bois fendus;
- par manque de ventilation et de drainage;
- par les pièges à eau ;
- par les déficiences de protection.

3.3.1. Les bois structuraux exposés directement aux intempéries

Ces bois sont très sensibles au risque fongique. Les bois horizontaux ne permettent en général pas à l'eau de s'évacuer facilement (Fig. 36).



Figure 36 - Surface de bois non protégée : fentes de retrait, infiltration d'eau, développement fongique.

En outre, les bois ont, sous l'action du retrait, tendance à fendiller (voire à fendre dans le cas des bois massifs en rondins) ce qui crée involontairement des pièges à eau. Cette pathologie est très fréquente sur les parties d'ouvrages constituées de bois horizontaux non protégés (lisses de garde corps, extrados de poutres ou d'arc, etc.).

Sur la figure 37, le bois rond a fendu (aucune fente* de décharge en sous face n'a été effectuée) ce qui a permis un développement fongique, avec présence de champignons apparents, qui témoignent d'un état avancé de dégradation.



Figure 37 - Présences de champignons apparents témoins d'une dégradation avancée.

Sur les figures 38 et 39 est représentée une pathologie extrême d'un phénomène trop courant sur les passerelles avec des poutres en bois lamellé collé non protégées. Les fentes du bois ont créé des pièges à eau favorisant le développement fongique et la pourriture.



Figure 38 - Zones pourries conséquentes induisant la fermeture de la passerelle.

* Fente de décharge : fente créée volontairement afin d'éviter que le retrait du bois n'induisse des fentes indésirables.



Figure 39 - Zones pourries allant jusqu'à la ruine du platelage (détail de la photo 38).



Figure 40 - Liaison poutre tablier et chaussée d'accès.

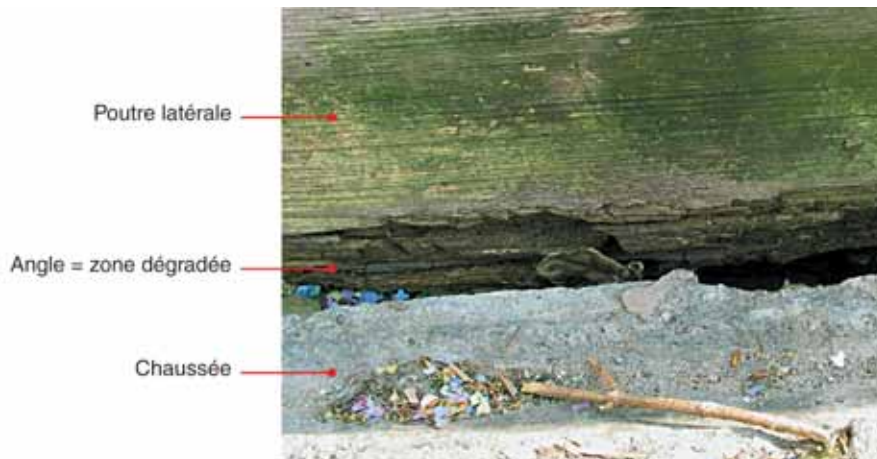


Figure 41 - Liaison poutre tablier.



Figure 42 - Zone de mauvaise ventilation entraînant la dégradation du bois.

3.3.2. 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 figure 40, 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 mauvaise ventilation du bois à l'interface de la chaussée.

- **Bois mal ventilé**

Sur les figures 41 et 42, la poutre en lamellé-collé est au contact de la chaussée susceptible d'être humide (pas d'étanchéité visible). Les champignons ont commencé leur travail...

- **Présence de boue ou de débris**

Un entretien courant minimum est nécessaire pour assurer une bonne durabilité 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 figure 43, un apport extérieur de terre vient mettre en danger le bois. Sur la figure 44, on s'aperçoit que cet entretien minimum n'a pas été fait : le développement des champignons est alors favorisé.



Figure 44 - Accroissement de la végétation.

3.3.3. Assemblages 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 exposés aux intempéries (type tenon mortaise, embrèvement, etc.) qui forment des zones sensibles mal ventilées et mal drainées (Fig. 45).



Figure 45 - Assemblage bois sur bois piégeant l'eau.



Figure 43 - Accumulation de terre au contact du bois.

3.4. LES PATHOLOGIES SUR MÉTAL

Des organes métalliques sont souvent utilisés pour réaliser les assemblages. Les pathologies principales sont classiques et concernent la corrosion, l'altération des fixations (desserrement par exemple) et la fissuration. Les matériaux métalliques peuvent être corrodés au contact de certaines essences de bois ou de certains traitements de bois (Fig. 46 et Fig. 47).



Figure 46 - Corrosion des boulons et mauvais serrage du contre écrou.



Figure 47 - Corrosion de la ferrure et fente de retrait de l'entretoise due à un retrait empêché.

Parmi les principales incompatibilités chimiques, on retiendra les deux suivantes :

- Avec le chêne et le châtaignier, seul l'acier inoxydable et éventuellement le cuivre seront 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 (et par conséquent l'acier galvanisé) seront à éviter.

Pour tout complément d'information, on se reportera au *fascicule 33 de l'ITSEOA : Ponts métalliques (acier, fer, fonte)*.

3.5. LES PATHOLOGIES D'ORDRE ESTHÉTIQUE

3.5.1. Le grisaillement

Le grisaillement du bois n'est pas une pathologie ! Ce phénomène naturel tend à rendre le bois gris mais n'altère ni ses propriétés mécaniques ni sa durabilité.

3.5.2. Exsudations de résine

Des exsudations de résine peuvent apparaître à la surface du bois, ce qui n'entraîne pas de conséquence autre qu'esthétique. Certaines essences, comme le sapin, ont tendance à présenter plus d'exsudations de résine que d'autres.

3.5.3. Décolorations et mousses vertes

La décoloration du bois comme celles apparaissant sur la figure 48 doit conduire à s'interroger sur des humidifications anormales du bois. Elle peut être notamment due à une déficience de l'étanchéité du tablier. Des mesures d'humidité dans les zones décolorées est donc à prévoir.



Figure 48 - Décolorations du bois inégales. Zones plus humides à ausculter.

Le bois est parfois recouvert de mousses sèches verdâtres, qui s'enlèvent facilement. Le bois support est en général sain, mais un examen attentif de ces zones est recommandé (Fig. 49).



Figure 49 - « Mousse » verte et sèche disparaissant en frottant avec la main.

3.5.4. Graffitis

On relève malheureusement parfois aussi des graffitis sur les ouvrages en bois... La remise en état consiste à décaper les graffitis et à appliquer une lasure ou une peinture (Fig. 50).



Figure 50 - Vandalisme : Présence de graffitis.

3.5.5. Dégradations des finitions

Les finitions recouvrant le bois ont tendance à se dégrader assez rapidement lorsqu'elles sont exposées aux intempéries. Ces dégradations entraînent en général un simple désagrément esthétique. En cas de finitions filmogènes, la dégradation par écaillage peut conduire à la rétention d'eau, source de développement fongique. L'objectif des finitions est d'apporter une teinte au bois et non pas de protéger le bois des intempéries. Le rôle protecteur des finitions chargées en produits de préservation est très limité dans le temps.

Le vieillissement d'une finition se traduit toujours par une perte de son adhérence.

On distingue trois défauts d'adhérence :

- ▶ le décollement par perte d'adhérence du film ;
- ▶ le décollement par manque de cohésion dans le film ;
- ▶ le décollement par manque de cohésion du support.

L'adhérence peut se mesurer par un essai de quadrillage décrit par la norme NF EN ISO 2409.

• Dégradation des lasures

La dégradation de la lasure se déroule de la façon suivante :

- ▶ fissures dans les angles des pièces de bois pendant les trois premiers mois,
- ▶ fissures en longueur sur toute la surface qui peuvent faire un quadrillage sur une période de trois mois jusqu'à douze mois,
- ▶ les cloques deviennent nettement visibles au bout de 24 mois,
- ▶ farinage au bout de trois ans pour une bonne lasure (Fig. 51).



Figure 51 - Dégradation d'une lasure par farinage.

• Dégradation des peintures

La dégradation de la peinture se déroule de la façon suivante :

- ▶ perte de brillance,
- ▶ perte d'épaisseur de la peinture,
- ▶ faïençage,
- ▶ craquelage,
- ▶ écaillage.

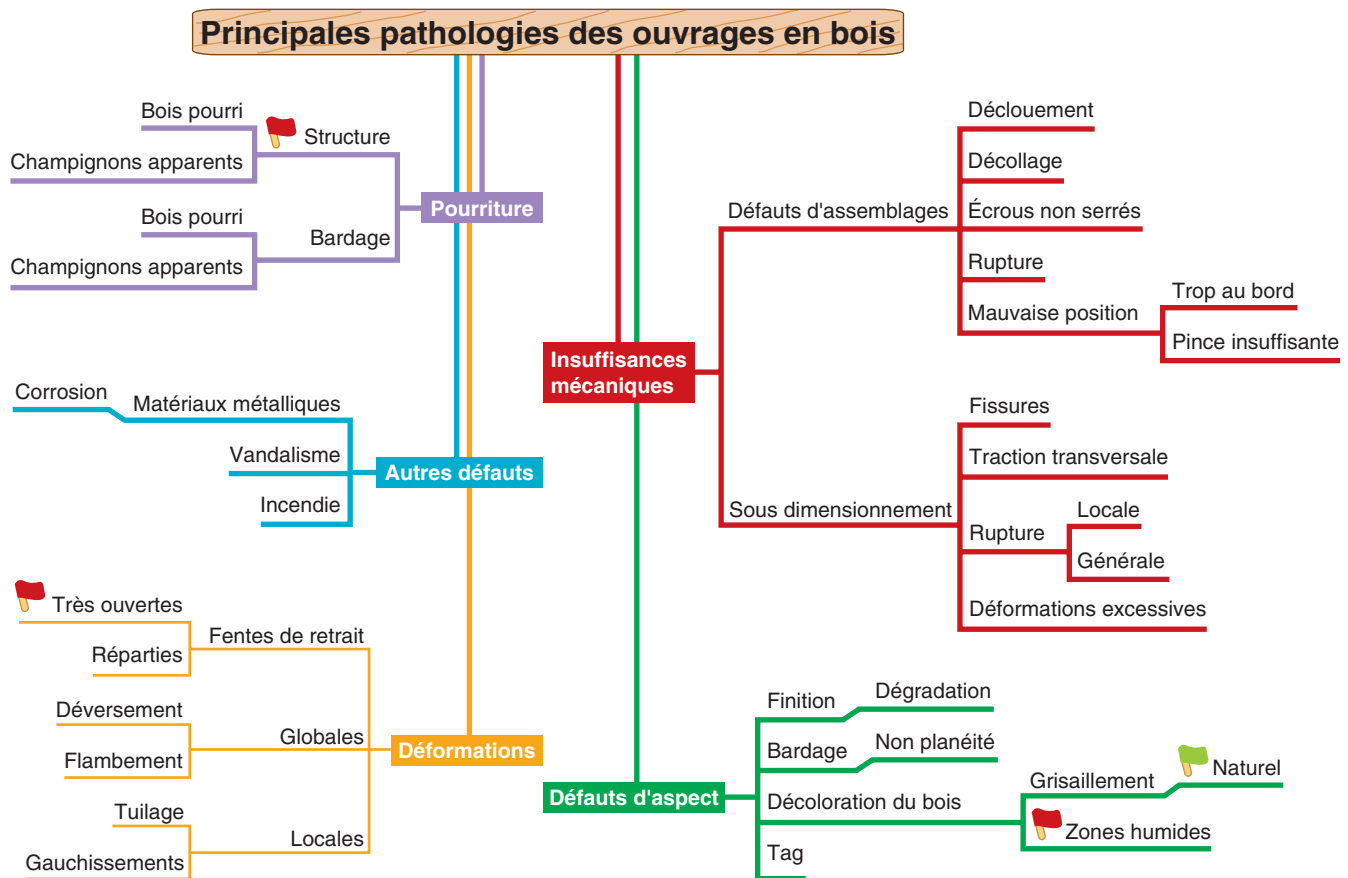
Jusqu'au stade du faïençage, une rénovation légère peut être envisagée. Ensuite un décapage complet devra être mis en œuvre.

Rappelons que seules les peintures microporeuses sont recommandées sur le bois en extérieur pour autoriser les échanges hygroscopiques.

3.6. RÉSUMÉ

La figure 52 ci-après dresse un résumé de ce chapitre.

Figure 52 - Résumé des principales pathologies des ouvrages en bois.



Drapeau vert = pas de problème - Drapeau rouge = attention.

4. Les outils de l'inspecteur

4.1. LES OUTILS DE BASE

4.1.1 Inspection visuelle

L'œil est l'outil le plus simple pour localiser les défauts. Au préalable, il convient d'analyser la conception de la structure : un ouvrage non protégé aura plus de risque de souffrir de désordres qu'un ouvrage couvert ou dont les poutres exposées sont protégées. Les zones horizontales et les zones d'assemblages sont les principales zones à fort risque de désordres.

Lors d'une inspection visuelle, il convient de chercher les défauts apparents et les risques potentiels décrits au chapitre précédent. En particulier, l'attention doit être portée sur :

• Les défauts mécaniques

- Les fentes orientées dans le sens des fibres,
- les fissures, interceptant en général des fibres,
- les déformations générales de l'ouvrage,
- les déformations locales.

• Les défauts biologiques

- Les éventuels champignons apparents en surface,
- les zones de pourriture,
- des traces de « sciure » ou des trous d'envol dus aux insectes.

• Les zones à risques

- L'absence de protection du bois (toiture, bardage, abouts, etc.),
- les fentes et les fissures,
- les zones d'humidité sur le bois,
- les décolorations du bois (qui peuvent être provoquées par de l'humidité),
- la végétation,

- la présence de coulures d'oxydation des assemblages métalliques (témoin d'humidité).

Les limites de cette méthode sont que seules les détériorations les plus importantes sont visibles, et que les indications de détérioration ultérieure ne peuvent pas être mises en évidence (difficulté à établir un pronostic quantitatif). Il est vrai que la présence de champignons en surface témoigne d'une zone très dégradée de l'ouvrage dont l'étendue doit être déterminée par des auscultations complémentaires ou par d'autres indications visuelles.

De plus, la présence de trous d'envol peut également cacher des désordres plus importants (réseau de galeries, etc.).

Dans le cas d'une dégradation plus généralisée, des mesures conservatoires rapides seront à prendre.

L'inspection visuelle est nécessaire dans une inspection détaillée, mais doit être complétée en particulier par des mesures d'humidité pour établir un pré-diagnostic (Fig. 53 et Fig. 54).



Figure 53 - Champignons apparents témoins de dégradation avancée.



Figure 54 - Zones sombres témoins d'humidification localement élevée. La mousse verte est un lichen.

4.1.2. Test de dureté

Le test de dureté consiste à enfoncer une pointe (ou une lame) dans le bois et de vérifier que le bois est assez résistant à cet enfoncement. Cette technique est simple, et permet de dégrossir assez rapidement les zones sensibles par comparaison avec les zones estimées saines, mais les résultats doivent être confirmés par une autre méthode. Certains paramètres peuvent interférer sur l'interprétation comme une humidité localement plus élevée (qui est un facteur de risque tout de même) et la répétabilité du geste de l'inspecteur.

Il existe des appareils de mesure de dureté permettant des utilisations dans les arbres vivants et également dans les constructions en bois. La pourriture molle invisible peut alors être détectée rapidement et objectivement par un test avec cet appareil. Ce test est très localisé, ce qui en fait une méthode très peu destructive.

Le principe consiste à faire pénétrer une pointe dans le bois. En fonction de la profondeur de pénétration lue directement sur l'appareil, la présence de zones faibles, liées essentiellement à la présence de pourriture, peut être mise en évidence.

Cette méthode est très simple mais l'interprétation est délicate. En outre, la zone auscultée est très superficielle ce qui ne permet pas de connaître l'état général du bois. Cette

méthode peut donc servir à déceler des zones à risques de pourriture, qui doivent être contrôlées ensuite par des mesures d'humidité.

4.1.3. Test au tournevis

Il s'agit d'enfoncer un tournevis dans une zone suspecte du bois et de le basculer ensuite pour faire éclater le bois. Pour un bois sain, la rupture a lieu le long des fibres. Pour un bois affecté de pourriture, le bois se rompt au milieu des fibres ou en petits morceaux. À la fin du test, l'inspecteur veillera à reboucher les désordres occasionnés avec de la pâte à bois.

L'intérêt de cette technique est sa simplicité. Le défaut principal est la faible représentativité de l'échantillon testé et le contrôle uniquement en surface du bois.

4.1.4. Test au maillet (et à l'oreille !)

Cette technique assez ancienne et très employée sert à déterminer l'état du bois dans sa masse.

Le test au maillet consiste à frapper le bois et à écouter le son émis, qui aura une tonalité différente en cas de présence de vides ou de pourriture.

Les inconvénients de cette méthode sont que le son peut être modifié par d'autres facteurs et qu'aucune évolution dans le temps ne peut être anticipée. Elle est cependant intéressante pour une évaluation rapide des zones susceptibles d'être pourries et pour cibler les investigations complémentaires à réaliser à l'aide d'autres méthodes plus précises.

4.1.5. Mesure de l'humidité

L'humidité du bois est le facteur essentiel de détérioration d'origine biologique.

Trois méthodes existent pour déterminer cette humidité :

- la méthode par dessiccation (pesée),
- la méthode électrique,
- la méthode capacitive.

La méthode actuellement recommandée est la méthode électrique qui permet en même temps que la mesure de l'humidité une estimation de la dureté du bois.

- **La mesure par dessiccation (NF EN 13183-1) (pour mémoire)**

Le mode opératoire de mesure de l'humidité par pesée est décrit dans la norme NF EN 13183-1 « Teneur en humidité d'une pièce en bois scié – Partie 1 : détermination par la méthode par dessiccation ».

Il s'agit de prélever une carotte, de la peser (masse humide), puis de la faire sécher dans une étuve à 103°C +/- 2°C jusqu'à ce que la masse de la carotte soit stabilisée à moins de 0,1 % dans un intervalle de 2 heures (masse sèche).

On calcule ensuite l'humidité en faisant le rapport entre la masse d'eau (masse humide moins masse sèche) et la masse sèche.

Cette technique n'est pas pratique, car elle nécessite un carottage destructif (temps assez long), puis une conservation du bois dans une enceinte hermétique lors du transport jusqu'au laboratoire.

- **La mesure électrique par résistance (NF EN 13183-2) (actuellement conseillée)**

La méthode électrique pour déterminer la teneur en humidité du bois utilise les rapports entre le contenu d'humidité et les propriétés électriques mesurables du bois, telles que la conductivité (ou son inverse, la résistivité).

Ces propriétés électriques changent d'une manière définie et prévisible avec la quantité d'eau, donc avec l'humidité du bois, mais les corrélations ne sont pas parfaites. Par conséquent, les déterminations d'humidité employant des méthodes électriques sont sujettes toujours à une certaine incertitude (de l'ordre de 1 point sur la valeur lue).

Cette méthode est très pratique, seulement quelques secondes sont nécessaires pour la détermination. En outre, cette méthode est quasiment non destructive, le morceau de bois testé n'est pas coupé et n'est pas endommagé. Seules des pointes métalliques servant d'électrodes sont plantées dans le bois.

Des électrodes de diverses longueurs peuvent être introduites dans le bois. L'appareil de base dispose généralement de pointes courtes (5 mm), mais il peut être rajouté un marteau avec des électrodes longues (35 mm) pour une détermination de l'humidité en profondeur.

On utilise en général des électrodes isolées, qui permettent de mesurer l'humidité du bois en bout de pointes. Les électrodes non isolées mesurent la conductivité sur toute leur longueur, en prenant en compte l'humidité de surface du bois, qui est variable et pas forcément très représentative. L'humidité intéressante est l'humidité en profondeur, qui est assez stable au cours des saisons et des cycles de pluie.

Les corrections à mettre en œuvre dans la lecture de l'humidité doivent tenir compte de la température ambiante (si les mesures sont effectuées hors des plages du fabricant) et également de l'essence de bois. Certaines essences sont en effet plus conductibles que d'autres.

Ces corrections consistent à paramétrer l'appareil (choix entre plusieurs classes d'essences) en fonction de la notice du constructeur.

La gamme de mesure varie généralement de 4-5 % à 30 %. Au-delà, les valeurs sont plutôt indicatives. Elles montrent de toute façon un risque très élevé de développement fongique.

La précision des appareils de mesures est de moins de 1 %, ce qui est largement suffisant pour des applications d'inspection (Fig. 55).



Fig. 55 - Humidimètre (méthode par résistivité).

Le mode opératoire est décrit dans la norme NF EN 13183-2 « Teneur en humidité d'une pièce de bois scié - Partie 2 : estimation par méthode électrique par résistance ».

Outre les avantages déjà cités, la mesure d'humidité permet également de réaliser un test d'enfoncement. Avant même de lire les valeurs, l'inspecteur peut avoir une idée de l'état du bois grâce à l'énergie qu'il a dû développer pour enfoncer les électrodes.

- **La mesure capacitive (NF EN 13183-3)**

Le principe de l'appareil est d'utiliser un condensateur à plaque ouverte. La capacité du condensateur dépend de la constante diélectrique du matériau entre les plaques. Ce type d'appareil permet de mesurer l'humidité du bois jusqu'à environ 2 cm de profondeur.

Comparé à l'air, l'eau a une constante diélectrique environ 80 fois plus élevée. La teneur en eau du bois peut donc être déterminée en mesurant sa constante diélectrique.

Pendant la mesure, les électrodes de mesure de l'appareil sont posées directement sur le bois à tester. Un traitement du signal permet d'obtenir une lecture du taux d'humidité.

L'avantage de ce système est la rapidité de la mesure et son caractère non destructif.

Cependant, la précision est incertaine en raison de nombreux paramètres influençant la mesure (présence de fente, de résine, etc).

4.2. LES MÉTHODES D'AUSCULTATIONS COMPLÉMENTAIRES

4.2.1. Auscultation par percement et carottage

Le percement et le carottage (de faible diamètre) sont les méthodes les plus courantes pour confirmer effectivement la détérioration interne dans les bois. Les deux techniques sont employées pour détecter la présence des vides (ou pourriture) et pour déterminer l'épaisseur de bois sain résiduel quand des vides sont présents. Après ces essais destructifs, il convient d'injecter les vides avec une résine avec insecticide et fongicide ou de les combler à l'aide de chevilles en bois de diamètre légèrement supérieur.

Le percement à la perceuse est plus rapide, mais le forage manuel, à l'aide de vilebrequin ou d'une tarière, offre à l'inspecteur une meilleure sensation. D'une façon générale, l'inspecteur fore dans la structure, en notant les zones où le forage devient plus facile, et observe les copeaux présentant éventuellement des éléments de pourriture.

La présence de singularités du bois telles que les nœuds ou les poches de résine doit être évitée pour implanter les forages. Il convient de ne pas confondre ces hétérogénéités naturelles de densité du bois avec un affaiblissement dû au pourrissement.

Si une zone de pourrissement est détectée, le percement réalisé peut également être employé pour apporter des traitements curatifs au bois.

Le carottage fournit également des informations sur la présence de poches de pourrissement et d'autres vides. La carotte en bois peut être soigneusement examinée. Le cas échéant, la carotte peut également être employée pour obtenir une mesure précise de la profondeur de la pénétration et de la conservation des produits de traitement chimiques de préservation.

Enfin, le bois de la carotte peut être cultivé en laboratoire spécialisé pour détecter la présence des champignons de pourrissement. La présence de tels champignons indique habituellement que le bois est à l'étape préliminaire ou naissante de la pourriture et devrait être traité curativement. La culture en laboratoire est une méthode pour évaluer le risque potentiel de pourrissement.

Le percement et le carottage sont généralement employés pour confirmer des zones de pourrissement déjà identifiées. Quand le pourrissement est détecté, le forage et le carottage sont également employés pour définir plus précisément les limites de la zone infectée.

Le forage doit être utilisé prioritairement jusqu'à la détermination d'une zone pourrie. Le carottage, plus restrictif, peut être ensuite mis en œuvre (Fig. 56).

4.2.2. Radar

Les techniques d'inspection par RADAR consistent en la propagation d'ondes électromagnétiques de fréquences comprises entre 300 mégahertz et 300 gigahertz.

Des sondes de transmission et de réception séparées peuvent être utilisées, ou une sonde simple (qui joue le rôle de l'émetteur et du récepteur) peut être employée pour transmettre et recevoir le signal.



Figure 56 - Auscultation par méthode RADAR.

Le terme de Ground Penetrating RADAR (GPR) est souvent employé pour décrire les techniques qui utilisent une antenne simple de transmission / réception.

L'auscultation du bois par le GPR a été étudiée notamment pour l'évaluation de la densité et de l'humidité.

Puisque les ondes électromagnétiques sont sensibles à la présence de l'humidité, le GPR peut être envisagé pour déterminer des zones de plus forte humidité sur un ouvrage. Ceci a par exemple été mis en oeuvre en Australie sur le pont Hornibrook de 2,7km de longueur, constitué de 292 travées en bois, avec pour chaque travée 6 poutres en bois de section circulaire, de diamètre 45 cm. Chaque poutre a été testée par radar et 1300 percements complémentaires ont montré une très bonne corrélation avec les résultats du RADAR.

Bien que la technique n'ait pas encore été validée en France, les résultats obtenus à l'étranger sont encourageants pour appliquer le GPR afin de détecter des zones humides, avec confirmation par une autre méthode éprouvée (mesure de l'humidité par résistivité par exemple).

4.2.3. Ultrasons

Cette méthode ne bénéficie pas encore d'un recul important. Les ultrasons permettent de vérifier que la célérité au travers du bois est à peu près constante. En cas de vide ou de pourriture, le temps de parcours sera nettement augmenté...

Des techniques d'auscultation ultrasonique ont été explorées pour détecter des défauts tels que les nœuds et l'affaiblissement dû à la pourriture. Cependant, la plupart des applications d'auscultation ultrasonique pour les structures en bois se sont concentrées pour estimer la qualité du bois lors de la fabrication, plutôt que l'évaluation *in situ* des structures en bois.

Cette technique présente plusieurs inconvénients, en particulier la relative lenteur d'auscultation, la nécessité d'un couplage parfait entre le bois et les transducteurs (qui sont les éléments qui transforment le courant électrique en onde ultrasonore).

4.2.4. Radiographie

La radiographie permet de détecter la présence de pourriture, moins dense que le bois.

La radiographie consiste à placer une source d'énergie radioactive sur un côté d'un objet et un film d'enregistrement de l'autre côté. Le rayonnement traverse l'objet et expose le film. Le résultat est une image bidimensionnelle de variation de densité de l'objet.

La radiographie a été testée avec des résultats probants pour étudier la dégradation du bois due à l'attaque fongique.

Les techniques radiographiques conventionnelles sont assez faciles à mettre en oeuvre en laboratoire mais pour l'auscultation *in situ* des ouvrages, plusieurs problèmes se posent :

- l'accessibilité au site avec un matériel encombrant,
- les inconvénients liés à la radioprotection,
- les difficultés liées aux accès sur chaque face d'une poutre,
- l'interprétation des clichés dans les zones d'assemblages (présence d'éléments métalliques « masquant » le bois) qui sont pourtant en général des zones très sensibles.

4.2.5. Caméra infrarouge

Des tests ont été réalisés au Canada et montrent la capacité de détection de zones pourries (fortement humide) après échauffement local. L'inconvénient de cette méthode réside dans sa capacité de détection limitée en profondeur (quelques centimètres), dans

la nécessité d'un recours à un chauffage et au temps de chauffe (quelques minutes). Cette méthode n'est donc pas recommandée pour l'instant.

4.2.6. Méthode d'évaluation

Pour obtenir des informations complémentaires à l'inspection, des méthodes d'évaluation du comportement de l'ouvrage peuvent être mise en œuvre. On peut citer :

- les épreuves de chargement de l'ouvrage (avec mesures de flèches et de courbures),
- l'évaluation dynamique,
- le nivellement de précision,
- le recalcul de l'ouvrage,
- la cartographie précise en fissuration et en humidité.

Le classement mécanique du bois est complexe car le classement visuel nécessite une compétence spécifique et les essais mécaniques sur éprouvettes sont peu représentatifs. Aussi les évaluations globales

des ouvrages (épreuves de chargement, dynamique) sont à privilégier.

4.2.7. Identification des essences et des traitements en laboratoire

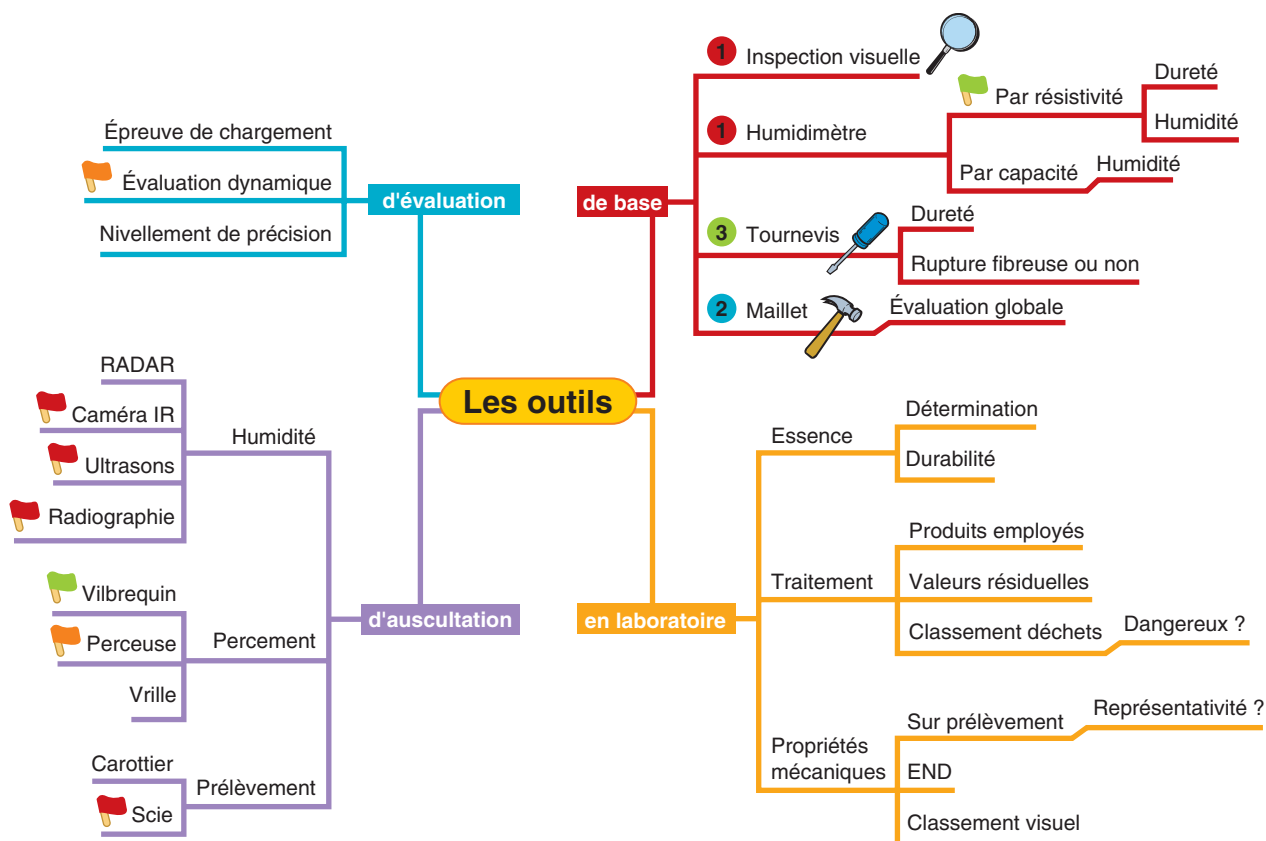
À partir des carottes prélevées sur site, différents tests de laboratoire peuvent être menés, notamment :

- l'élevage en culture pour déterminer la présence de champignons,
- la détermination de l'essence qui peut notamment permettre de donner un classement mécanique,
- la détermination des traitements et des dosages résiduels (intéressant notamment pour la qualification de la dangerosité du bois comme déchet).

4.3. RÉSUMÉ

La figure 57 dresse un résumé de ce chapitre.

Figure 57 - Les outils pour l'inspecteur en résumé.



Drapeau vert = méthode conseillée - Drapeau orange = précautions à prendre
Drapeau rouge = méthode peu recommandée.



5. Contenu, analyse et propositions d'une inspection détaillée

5.1. LE CONTENU D'UNE INSPECTION D'UN OUVRAGE EN BOIS

Une inspection d'un ouvrage en bois doit satisfaire aux exigences de l'instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'Art (ITSEOA) de 1979.

En particulier, l'inspection comporte une analyse du dossier d'ouvrage pour repérer les zones à risques et connaître les essences et traitements employés, une inspection sur site qui permet de relever les défauts, une analyse des désordres, des propositions d'auscultations complémentaires et de travaux d'entretien ou de réparation. Les inspections détaillées initiales, avec un nivellement de précision, sont fondamentales pour l'interprétation des désordres lors du suivi de l'ouvrage.

• Informations préalables

Les informations suivantes sont à rechercher en général dans le dossier d'ouvrage ou dans le rapport de la dernière inspection détaillée :

- sur les plans : analyse de la conception (protection du bois notamment), repérage de zones sensibles (assemblages, pièges à eau éventuels),
- essences employées : analyse de leur durabilité naturelle (si cette information n'est pas disponible, il est conseillé de réaliser *in situ* des prélèvements en vue de la détermination des essences),
- caractéristiques mécaniques du bois employé,
- traitement du bois : type de produits,

classe d'emploi, degré de pénétration et de rétention,

- humidité du bois à la mise en œuvre, qui détermine l'ampleur de la fissuration de retrait,
- recensement des anomalies de chantier éventuelles,
- recensement des actions d'entretien ou réparations,
- résultats des éventuels suivis antérieurs réalisés (nivellement, instrumentation, etc.),
- évolution des conditions d'exploitation.

• Inspection sur site

L'inspection sur site comporte une inspection visuelle et quelques essais :

- inspection globale pour qualifier l'état général de l'ouvrage,
- inspection visuelle détaillée, en essayant de distinguer au mieux les fentes de retrait des fissures,
- relevé précis des fentes de profondeur supérieure à 20% de l'épaisseur (mesure par un réglet),
- qualification de l'importance des fentes de retrait,
- relevé des fissures clairement identifiées,
- relevé des zones humides, des zones pourries, des champignons apparents, des déformations excessives, de tout témoin d'altération,
- sondage au maillet : pour estimer rapidement l'état du bois, par sondage sur les éléments secondaires et environ un coup tous les mètres sur la structure principale,
- mesure de l'humidité : en partie courante quelques points, dans les zones sensibles (assemblages, proximité de fentes très

ouvertes) avec un minimum de dix mesures (en évitant la surface horizontale supérieure pour éviter l'infiltration d'eau dans les trous créés),

► tests de dureté : appréciation avec la mesure de l'humidité par résistivité ou par enfoncement d'une pointe.

Le percement ou carottage sont des auscultations complémentaires, assez aisées à mettre en œuvre, que l'inspecteur pourra au besoin pratiquer. Ces auscultations ne relèvent pas d'une mission normale d'inspection détaillée.

• Rapport

Le rapport de l'inspection détaillée comprendra les éléments suivants :

- le report des défauts (pour les fentes, seules celles de profondeur supérieure à 20% de la largeur de la pièce seront indiquées) et le report des mesures sur des schémas,
- l'analyse des pathologies et mesures d'humidité,
- l'analyse des risques encourus : déficience de drainage ou ventilation, conception de l'ouvrage (protection du bois) et durabilité naturelle du bois,
- le bilan de l'état de l'ouvrage et les propositions d'actions : suivi régulier, auscultations complémentaires, recalcul éventuel, entretien, maintenance et réparation.

5.2. ÉLÉMENTS POUR L'ANALYSE DES DÉSORDRES

L'annexe présente des fiches synthétiques pour les pathologies les plus courantes, en précisant l'origine des défauts, les risques pour la structure, l'attitude à adopter par l'inspecteur sur le site et conclut sur quelques propositions d'actions.

Une première analyse des désordres consiste à les classer dans l'une des trois familles suivantes : les désordres esthétiques, les désordres mécaniques et les désordres d'origine biologiques.

En cas de problèmes esthétiques (grisaillement, dégradation du film de finition), la maintenance à réaliser relève d'un entretien spécialisé comme la rénovation de la finition.

L'inspecteur peut également proposer de décaper la finition pour laisser grisailier le bois.

En cas de problème mécanique, il faut s'interroger sur la résistance et la stabilité de l'ouvrage. Un suivi régulier sera proposé pour des désordres de faible ampleur et des compléments à l'inspection devront être réalisés en cas de doute : auscultations complémentaires, essais de chargement, instrumentation, analyse de la note de calcul. Les décisions seront soit de suivre l'évolution, de réparer l'ouvrage, de remplacer des pièces ou de fermer voire démolir l'ouvrage en ultime recours.

En cas de problème de dégradation fongique, le logigramme de la figure 58 propose une grille d'analyse. L'humidité critique est fixée à 25%, car au-delà les risques de dégradation fongique sont très importants. Entre 20% et 25% ; l'humidité ne traduit pas forcément un risque automatique mais l'évolution de l'humidité est alors un critère important. Toutes les valeurs présentant une humidité de plus de 20% devront être spécialement notées (pour un suivi dans le temps) et les valeurs de plus de 25% interprétées comme un fort danger de développement fongique.

5.3. PROPOSITIONS D' ACTIONS

Ce chapitre concis présente quelques préconisations possibles en terme d'entretien, maintenance et réparation que l'inspecteur pourra proposer en conclusion de son inspection.

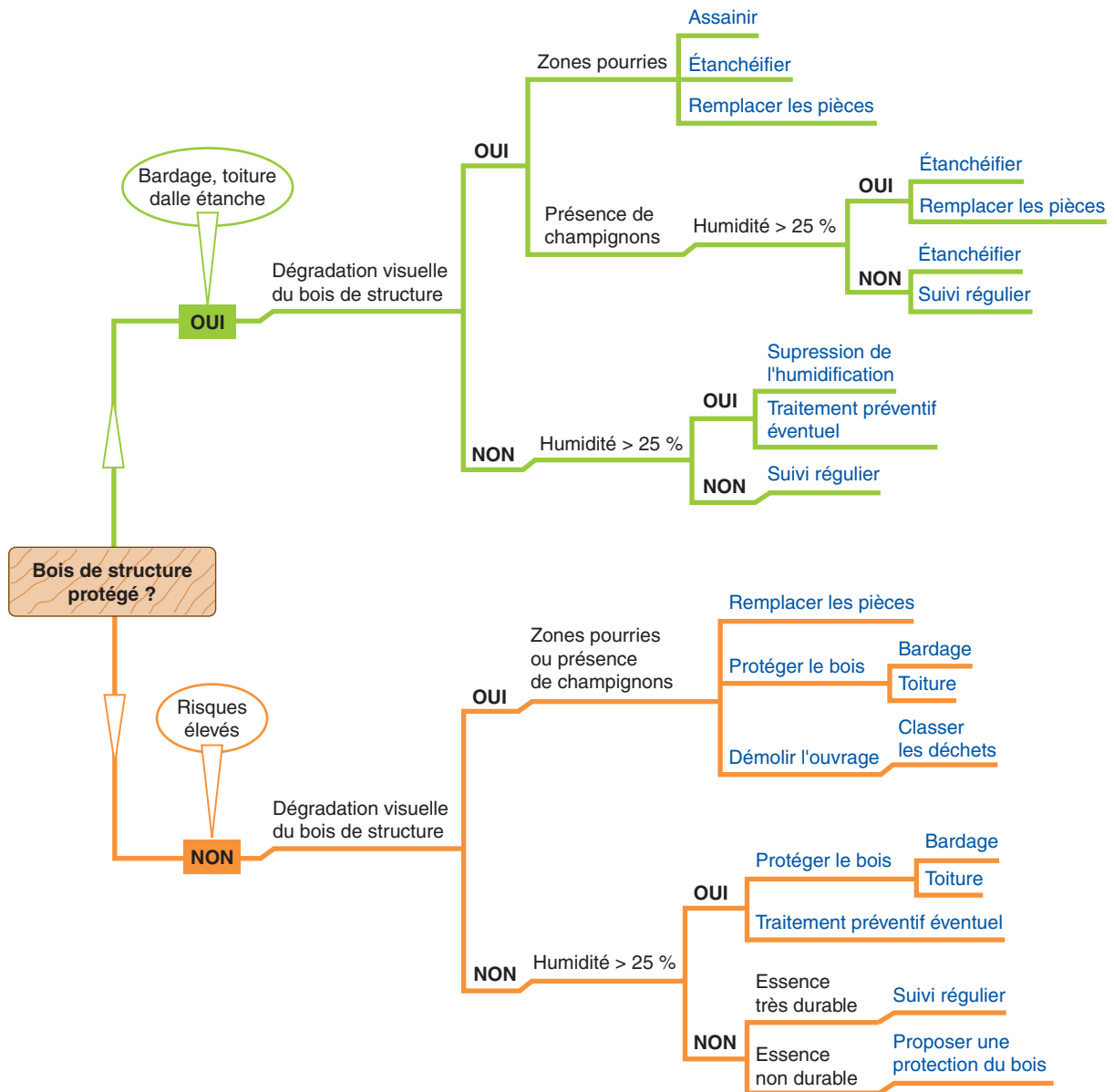
5.3.1. Mesures conservatoires

Des mesures conservatoires seront immédiatement préconisées en cas de danger pour les usagers ou pour la stabilité de la structure. En particulier une surveillance renforcée de l'ouvrage, des limitations de tonnage, des interdictions de circulation ou des neutralisations de voies peuvent être conseillées le cas échéant.

5.3.2. Suivi régulier

Le suivi régulier de l'ouvrage sera préconisé dans tous les cas, même en l'absence de pathologie grave. Ce suivi régulier sera

Figure 58 - Logigramme décisionnel en cas de dégradation biologique.



constitué au minimum d'une visite annuelle, d'une visite IQOA tous les trois ans et d'une inspection détaillée tous les six ans, dont la fréquence peut être adaptée.

5.3.3. Auscultations complémentaires

En cas de doute sur la gravité de certaines pathologies ou en vue d'établir un diagnostic plus affiné, des auscultations complémentaires pourront être préconisées, comme par exemple :

- des prélèvements pour analyses dans un laboratoire (nature de l'essence, type de traitements, etc.),
- une cartographie précise de l'humidité de l'ouvrage pour cerner au mieux les zones à risque. Cette cartographie pourra être réalisée à l'aide d'un humidimètre sur un maillage serré ou à l'aide d'outil à plus grand rendement comme le Radar,
- un suivi des fissures, pour appréhender leur évolution,
- une évaluation de la capacité portante de l'ouvrage, avec des épreuves de chargement, une évaluation dynamique et/ou un recalcul,
- un nivellement de précision pour appréhender les déformations générales de l'ouvrage et leurs évolutions (en particulier vis-à-vis du fluage).

5.3.4. Entretien courant : nettoyage, assainissement

L'entretien courant consiste à nettoyer l'ouvrage pour éviter l'accumulation de végétation ou de débris qui risquent de créer des zones de rétention d'eau, aussi bien au niveau des dispositifs de drainage qu'au niveau des zones en contact avec du bois (liaison des poteaux avec le sol, du platelage avec des poutres latérales, etc.).

Ce nettoyage est très important pour éviter toute dégradation prématurée par attaque fongique.

5.3.5. Rénovation de la finition

Avant toute rénovation de la finition, il faut effectuer un premier diagnostic pour évaluer sa nécessité, le mode de décapage et les produits à mettre en œuvre.

Pour cela, il convient de définir :

- le type d'éléments concerné (bardage ou poutres porteuses),
- l'essence de bois utilisée et le type de traitement effectué s'il y en a un : cela permet de savoir si l'essence est adaptée à la classe d'emploi correspondante,
- la nature du système de finition appliqué : il faut en effet s'assurer de la compatibilité de la nouvelle couche de peinture,
- le niveau de dégradation du système de finition,
- l'état de salubrité des ouvrages : présence de grisaillement, de pourriture, de trace de rouille, etc.

Le bois est ensuite décapé (sablage, décapage thermique ou chimique), puis la nouvelle finition est appliquée.

5.3.6. Traitements en place

Lorsque des risques de développement d'agresseurs existent, un traitement préventif peut être appliqué en même temps qu'une amélioration de la protection du bois.

En cas de désordres apparents, le traitement curatif en place doit servir à annihiler un certain type d'agresseurs : soit des champignons lignivores ou lignicoles, soit des insectes (coléoptères à larves xylophages ou termites). Avant de réaliser un traitement, il convient donc d'identifier l'agresseur pour des raisons d'efficacité.

• Contre les champignons lignivores

Avant tout traitement curatif, il convient de rechercher les causes de l'humidification permettant ce développement fongique et de les supprimer dans la mesure du possible. Il convient ensuite de drainer et de ventiler suffisamment le bois. Le traitement curatif appliqué par un spécialiste (certification CTB A+) pourra alors intervenir en second temps. Les actions suivantes sont à entreprendre :

- dépose et remplacement des pièces de bois insuffisamment résistantes mécaniquement,
- broyage des pièces de bois attaquées superficiellement,
- traitement en profondeur avec un produit fongicide au niveau des assemblages et dans les zones contaminées. Le produit est introduit en général par pulvérisation dans

des percements prévus à cet effet et répartis tous les 30 cm au maximum.

- **Contre les champignons lignicoles**

Les défauts occasionnés sont simplement esthétiques. Dans ce cas, seul un ponçage permet de corriger l'esthétique.

- **Contre les termites**

- Création d'une barrière physique (enceinte béton par exemple), chimique (traitement chimique du sol) ou physico-chimique (combinaison des systèmes précédents) autour de l'ouvrage.

- Éradication des termites à l'intérieur de la zone ainsi délimitée.

- **Contre les insectes à larves xylophages**

- Dépose et remplacement des pièces de bois insuffisamment résistantes mécaniquement.

- Brossage des pièces de bois attaquées superficiellement.

- Traitement en profondeur avec un produit fongicide au niveau des assemblages et dans les zones contaminées ou application d'un traitement superficiel. Un traitement superficiel préventif (répulsif) peut être aussi envisagé.

5.3.7. Travaux divers

Parmi les autres opérations de maintenance ou d'entretien courant, on peut citer :

- la rénovation du système de drainage (débouchage, reconditionnement, etc.),

- le rebouchage à l'aide d'un mastic élastique des fentes de retrait ou des fissures très ouvertes et qui constituent des risques de pièges à eau,

- les opérations de remise à niveau des assemblages (refixation, resserrement de boulons, reclouage du platelage, etc.).

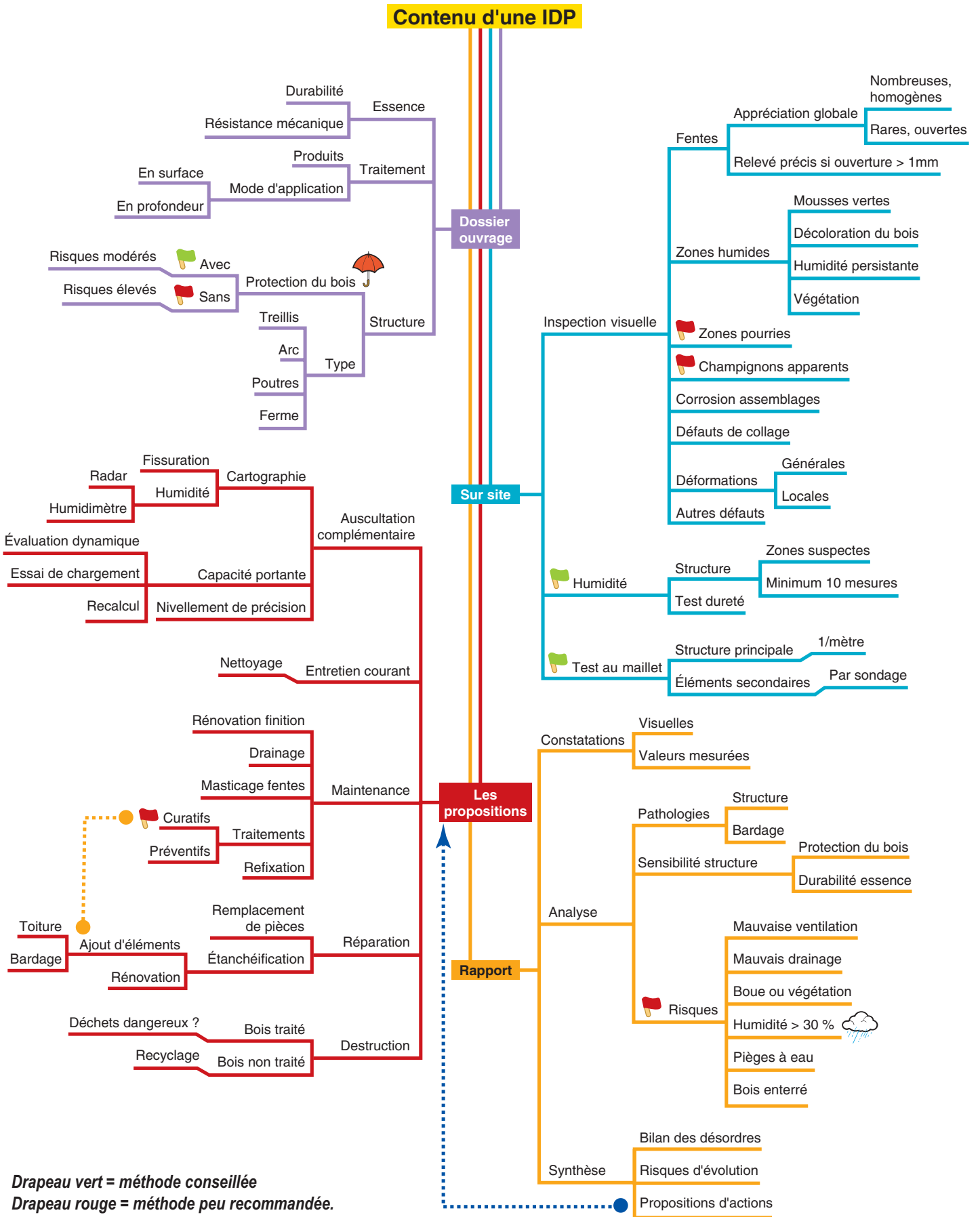
Des travaux plus lourds de réparation peuvent être envisagés le cas échéant, à savoir le remplacement de pièces ou encore l'étanchéification de l'ouvrage, en particulier par ajout d'élément de protection du bois (toiture notamment).

Enfin, si la fermeture et la destruction de l'ouvrage est conseillée, l'inspecteur proposera des analyses complémentaires sur les traitements résiduels du bois en vue de qualifier les déchets et de choisir les filières de traitement adaptées (recyclage, incinération, etc.).

5.4. RÉSUMÉ

La figure 59 ci-après présente un résumé de ce chapitre.

Figure 59 - Contenu d'une Inspection Détaillée Périodique en résumé.





Annexe

■ Recensement et classement des défauts

La liste *non exhaustive* des défauts suivants permet d'aider l'inspecteur à les analyser.

Dans tous les cas, une étude du dossier d'ouvrage permettra de compléter l'analyse. Les seuils et les propositions d'analyses sont indicatifs.

MOUVEMENTS ET DÉFAUTS GÉOMÉTRIQUES

- Flèche vers le bas (Fig. 60)

Description	L'ouvrage présente une flèche en travée vers le bas, soit longitudinale, soit transversale
Origine possible	Erreur de nivellement à la mise en œuvre, absence ou sous-estimation des contreflèches, jeux dans les assemblages (peu grave sur le plan structurel), fluage du bois mal pris en compte (gravité variable suivant le niveau d'hyperstaticité de la structure), humidité de mise en œuvre trop forte (retrait et fluage plus importants que prévu, moyennement grave), un affaiblissement de la structure (grave à très grave) : pourriture du bois, endommagement voire ruptures d'assemblages
Risque pour l'ouvrage	Gêne au trafic et à la bonne évacuation des eaux dans les cas mineurs, rupture partielle ou totale de l'ouvrage si la flèche est importante et concomitante à d'autres désordres graves
Attitude de l'inspecteur sur site	L'inspecteur juge de l'importance de la flèche sur site. Il visualise : <ul style="list-style-type: none"> ➤ le profil en long de l'ouvrage au niveau de l'intrados et des lisses de garde-corps par exemple, ➤ les entretoises (pour les flèches transversales), ➤ des déformations de l'éventuelle chaussée, d'éventuelles zones de stagnation d'eau, ➤ pour en tirer les conclusions appropriées
Analyse et propositions	À partir des informations du dossier d'ouvrage et des autres désordres relevés sur site, il estime les risques pour l'ouvrage et propose éventuellement : <ul style="list-style-type: none"> ➤ un nivellement de précision pour obtenir la valeur de la flèche (point zéro en vue d'un suivi ultérieur), ➤ des recalculs, ➤ des limitations de circulation (voire la fermeture de l'ouvrage) en cas de flèches importantes* et concomitantes à d'autres désordres graves (endommagement voire ruptures d'assemblages, pourrissement)

* À titre d'exemple, une flèche de $L/400$ est considérée comme importante et doit retenir l'attention de l'inspecteur (cf. Eurocode Bois).



Figure 60 - Passerelle présentant une flèche importante.

MOUVEMENTS ET DÉFAUTS GÉOMÉTRIQUES

• Déformations latérales des poutres en bois (Fig. 61)

Description	➤ Les poutres de l'ouvrage sont déformées latéralement
Origine possible	➤ Retrait différentiel du bois selon les faces (expositions au soleil différentes, peu à moyennement grave), instabilités élastiques (flambement ou déversement, très grave)
Risque pour l'ouvrage	➤ Déformation inesthétique, gêne éventuelle à l'usager, modification du fonctionnement mécanique, rupture partielle ou totale de l'ouvrage
Attitude de l'inspecteur sur site	➤ L'inspecteur vérifie les conditions d'exposition au soleil et mesure l'humidité du bois pour chaque face. Il quantifie la déformation de la poutre à l'aide d'un fil à plomb par exemple. Il vérifie l'état des assemblages et l'état de fissuration de la poutre
Analyse et propositions	L'inspecteur peut proposer : ➤ un suivi dans le temps, ➤ un recalcul (vérifier si les valeurs de déformations peuvent s'expliquer partiellement ou entièrement par un gradient d'humidité, s'il existe), ➤ une mise sous surveillance ou une limitation de la circulation en fonction de l'ampleur du désordre



Figure 61 - Déformations latérales de poutres en bois lamellé collé.

MOUVEMENTS ET DÉFAUTS GÉOMÉTRIQUES

• Conséquences de choc (Fig. 62)

Description	Un élément de la structure a subi un choc, pouvant générer des éraflures, un arrachement localisé des fibres de bois, une rupture de l'élément voire le déplacement du tablier
Origine possible	Choc de véhicule (peu à très grave)
Risque pour l'ouvrage	<i>a minima</i> atteinte à la durabilité de la structure, rupture localisée voire rupture de l'ouvrage
Attitude de l'inspecteur sur site	L'inspecteur relève la zone du choc, précise s'il s'agit d'un élément principal ou secondaire, d'une zone très sollicitée ou non, et quantifie la perte de section. Il examine également s'il y a eu un déplacement ou une déformation de la structure. Il peut utilement mesurer la hauteur libre sous l'ouvrage. Dans les cas jugés graves, il fait prévenir le gestionnaire de l'ouvrage.
Analyse et propositions	En fonction de l'importance structurelle de l'élément concerné, les seuils d'appréciation de la gravité sont modulés. L'inspecteur préconise : <ul style="list-style-type: none"> ➤ la surélévation de l'ouvrage, ➤ une limitation de la circulation, ➤ un recalcul de l'ouvrage, ➤ une réparation de l'élément, dans des cas extrêmes, la pose d'un étaieement et/ou la fermeture de l'ouvrage...

Par exemple, pour une poutre principale pleine de hauteur constante, la présence d'une trace de choc dans la zone la plus sollicitée ou une perte de section de plus de 5 % ailleurs, conduira à une limitation de la circulation. Pour un élément secondaire, une perte de section supérieure à 10 % induira une limitation de la circulation.



Figure 62 - Perte de section d'une poutre suite à un choc de PL.

MOUVEMENTS ET DÉFAUTS GÉOMÉTRIQUES

- Désalignement de pièces de bois (Fig. 63)

Description	Des pièces de bois ne sont plus alignées
Origine possible	Erreur à la mise en œuvre (peu grave), retrait du bois (peu grave), jeu dans les assemblages (peu graves), dysfonctionnement mécanique (moyennement grave à grave)
Risque pour l'ouvrage	Variable suivant le type d'élément concerné, pouvant aller jusqu'à la rupture localisée voire la rupture de l'ouvrage en cas de dysfonctionnement mécanique d'éléments porteurs
Attitude de l'inspecteur sur site	L'inspecteur mesure des désalignements, recherche d'autres désordres concomitants
Analyse et propositions	En fonction de l'importance du désalignement, des éléments concernés et de la présence d'autres désordres, l'inspecteur peut proposer une surveillance de l'ouvrage



Figure 63 - Désalignement de lisses d'une main courante.

FISSURES ET FENTES

• Fissures mécaniques (Fig. 64)

Description	Présence de fissures mécaniques, créant des ruptures ou arrachements des fibres du bois
Origine possible	Travail excessif du bois (grave à très grave suivant le type d'élément affecté, la localisation des fissures, la redondance des éléments, le degré d'hyperstaticité de la structure)
Risque pour l'ouvrage	Rupture d'un élément ou de l'ouvrage
Attitude de l'inspecteur sur site	L'inspecteur repère les fissures, notamment dans les zones d'assemblage, mesure les ouvertures et longueurs, les marques sur l'ouvrage*, décrit les faciès de rupture en s'aidant de la figure 27 du guide et vérifie la présence de flèches anormales des éléments concernés
Analyse et propositions	Si la présence de fissures mécaniques est avérée, en fonction de l'évaluation de leur gravité, l'inspecteur propose : <ul style="list-style-type: none">➤ un diagnostic complémentaire,➤ un recalcul de l'ouvrage,➤ une limitation de la circulation immédiate

* Les fissures mécaniques sont à reporter sur la cartographie des désordres qui accompagne le rapport d'inspection détaillée.



Figure 64 - Rupture par excès de traction transversale.

FISSURES ET FENTES

- Fentes de retrait (Fig. 65)

Description	Présence de fentes de retrait (ou délamination des joints des poutres en bois lamellé collé)
Origine possible	Retrait du bois (peu grave à grave)
Risque pour l'ouvrage	Risque de développement fongique et éventuellement affaiblissement mécanique
Attitude de l'inspecteur sur site	L'inspecteur repère les fentes de retrait, qualifie leurs densité, répartition et importance; il relève les fentes de profondeur supérieure à 20 % de l'épaisseur de la pièce de bois (par exemple mesure à l'aide d'un réglet) et analyse le risque d'humidification excessive. Il mesure l'humidité du bois au niveau des fentes
Analyse et propositions	<p>Pour les fentes présentant des risques d'humidification (craints ou avérés), un colmatage est à préconiser (hors élément facilement remplaçable comme le bardage). Si le bois de structure est exposé directement aux intempéries, une protection physique est à conseiller (bardage, toiture, etc.).</p> <p>Pour les fentes de profondeur supérieures à 20% de l'épaisseur de la pièce de bois, un affaiblissement mécanique est possible. Un diagnostic sur la base d'auscultations complémentaires (notamment pour évaluer la profondeur des fissures) est alors à préconiser. Pour les autres fentes, un suivi lors des IDP est suffisant</p>



Figure 65 - Fente de retrait sur du bois rond.

ASSEMBLAGES

- Oxydation ou corrosion d'éléments métalliques (Fig. 66)

Description	Éléments métalliques oxydés ou corrodés
Origine possible	Rétention d'eau (grave), incompatibilités chimiques avec le bois (grave)
Risque pour l'ouvrage	Rupture partielle ou totale de l'assemblage
Attitude de l'inspecteur sur site	L'inspecteur examine les parties visibles des pièces métalliques, évalue les éventuelles pertes de section ; il recherche d'éventuelles stagnations d'eau. Celles-ci sont nocives pour le métal mais surtout pour le bois. Il doit mesurer l'humidité du bois environnant
Analyse et propositions	<p>En fonction du degré de corrosion (perte de section supérieure à 10%), le remplacement de l'assemblage devra être étudié. Dans tous les cas, l'origine de l'humidification sera à supprimer et on étudiera la possibilité de mettre en œuvre un système anti-corrosion efficace.</p> <p>Si la cause est une incompatibilité chimique (vérifier la nature de l'essence et le type de métal auparavant), une étude spécifique devra être menée (possibilité d'intercaler des rondelles isolantes, de protéger le métal par anode sacrificielle ou de remplacer les éléments métalliques, etc.)</p>



Figure 66 - Oxydation d'organes métalliques.

ASSEMBLAGES

- Déplacement relatif des pièces d'un assemblage (Fig. 67)

Description	Déplacement relatif des pièces d'un assemblage
Origine possible	Jeu de mise en place (de l'ordre de 1 mm, peu grave), dysfonctionnement de l'assemblage (grave)
Risque pour l'ouvrage	Rupture partielle ou totale de l'assemblage
Attitude de l'inspecteur sur site	L'inspecteur quantifie la valeur du déplacement relatif. Il vérifie le serrage des éventuels boulons constitutifs de l'assemblage, la position des pièces métalliques par rapport aux jeux constructifs, les éventuelles déformations des pièces métalliques ou les éventuels arrachements de bois, en s'aidant de la figure 20 du guide. Il recherche également la présence de fissures mécaniques concomitantes
Analyse et propositions	En fonction du degré de l'assemblage dans la structure, si le déplacement relatif est supérieur au centimètre, une étude du renforcement de l'assemblage doit être menée. Si le déplacement relatif est inférieur à 1 cm, on préconisera de suivre l'évolution de la déformation par exemple annuellement.



Figure 67 - Déplacement d'assemblage.

ASSEMBLAGES

- Rupture d'un assemblage (Fig. 68)

Description	Rupture visible d'un assemblage
Origine possible	Insuffisance de l'assemblage, chargement excessif, défaut de conception : grave à très grave
Risque pour l'ouvrage	Rupture partielle ou totale de l'ouvrage en fonction du rôle de l'assemblage dans la structure
Attitude de l'inspecteur sur site	L'inspecteur relève les désordres concomitants et vérifie les flèches de l'ouvrage. Faire prévenir d'urgence le gestionnaire
Analyse et propositions	Dans le cas d'un assemblage critique pour la structure, il faut conseiller la fermeture immédiate de l'ouvrage à la circulation. Une expertise sur l'origine de la rupture doit ensuite être menée. À défaut, une étude de remplacement ou de renforcement doit être réalisée



Figure 68 - Rupture d'un assemblage.

ASSEMBLAGES

- Déclouage du platelage (Fig. 69)

Description	Fixations du platelage ressortant ou manquantes, pouvant conduire à la perte d'éléments du platelage
Origine possible	Vibrations dues au trafic, retrait du bois, usure du platelage
Risque pour l'ouvrage	Risque pour la sécurité de l'utilisateur
Attitude de l'inspecteur sur site	L'inspecteur quantifie l'importance du désordre, vérifie si des lames de platelage peuvent s'enlever
Analyse et propositions	Il peut être préconisé : <ul style="list-style-type: none">➤ de suivre les fixations du platelage par exemple annuellement,➤ de rénover les fixations (reclouer),➤ de changer le mode de fixation



Figure 69 - Déclouement du platelage.

DÉGRADATIONS BIOLOGIQUES

Les dégradations biologiques sont le désordre majeur et le plus courant que l'inspecteur doit examiner.

Les environnements à risque sont :

- les zones de contact du bois avec le sol ou avec de la terre,
- les rétentions d'eau, de boue ou de débris,
- la présence de zones humides.

• Contact du bois avec un milieu humide (Fig. 70)

Description	Le bois est au contact du sol, soit fiché, soit après apport de remblai. Le bois est au contact d'eau, de boue ou de débris. Bois avec des couleurs différentes
Origine possible	Fichage dès l'origine ou apport de remblai. Manque d'entretien courant, pièges à eau (grave à moyen terme). Zones humides
Risque pour l'ouvrage	Développement fongique et réduction de la durabilité du bois
Attitude de l'inspecteur sur site	Noter la taille de la zone concernée, mesurer l'humidité du bois et rechercher des signes de développement fongique (pourriture)
Analyse et propositions	L'inspecteur recherchera les origines de la présence d'humidité. Il proposera de supprimer les origines de cette humidification (drainage, ventilation, nettoyage) et de permettre le retour à un environnement sec du bois. En fonction de la dégradation effective du bois, il conviendra de réparer ou remplacer la pièce incriminée. Si la pièce est une poutre principale, on proposera une étude de traitement préventif (anti-agresseurs). Dans le cas d'un contact avec le sol : <ul style="list-style-type: none"> ➤ si la conception est d'origine, il faut vérifier la nature de l'essence (prélèvement d'échantillon au besoin) et le traitement éventuel, ➤ si le bois est sain, un suivi régulier suffit, ➤ si le bois est dégradé, on proposera une modification de la conception en intercalant un matériau insensible à, ou traité contre, la corrosion, voire un produit de protection entre le bois et le sol



Figure 70 - Présence d'un milieu humide (terre) au contact du bois.

DÉGRADATIONS BIOLOGIQUES

- **Présence de pourriture avec ou sans champignons apparents** (Fig. 71)

Description	Présence de pourriture visible sur le bois avec d'éventuels champignons en excroissance sur le bois
Origine possible	Humidité importante et développement fongique (grave à très grave)
Risque pour l'ouvrage	Affaiblissement de la structure, rupture de l'ouvrage
Attitude de l'inspecteur sur site	L'inspecteur relève la taille de la zone concernée, teste la poutre au maillet (détection sonore) et mesure l'humidité du bois. Il est important de circonscrire les éventuelles zones pourries (toutes les zones d'humidité supérieure à 30 % seront considérées comme non résistantes en première approche)
Analyse et propositions	<p>Désordre anormal témoignant d'un état avancé de dégradation. En fonction du niveau de pourrissement, l'inspecteur pourra proposer :</p> <ul style="list-style-type: none">➤ une étude pour l'assainissement du bois (par exemple mise au sec par protection physique du bois),➤ des auscultations complémentaires visant à établir la capacité portante résiduelle de l'ouvrage*,➤ une fermeture ou une limitation de la circulation. <p>Si le désordre intervient sur une poutre principale ou si la taille du désordre est supérieure à 5 % par exemple de la taille des autres pièces de structure, l'inspecteur pourra proposer une fermeture de l'ouvrage. Dans les autres cas, une limitation de tonnage sera préconisée</p>

* À l'issue de ce diagnostic, le choix entre la destruction de l'ouvrage ou son renforcement pourra être établi.



Figure 71 - **Présence de champignons sur le bois.**

DÉGRADATIONS BIOLOGIQUES

- Présence de trous d'envol

Description	Le bois présente en surface de multiples petits trous, de quelques millimètres de diamètre
Origine possible	Trous d'envol suite à des agressions de coléoptères à larves xylophages
Risque pour l'ouvrage	Affaiblissement localisé car n'affectant généralement que la couche peu épaisse de l'aubier (peu à moyennement grave). Risque de présence de ce désordre assez faible pour un ouvrage en extérieur
Attitude de l'inspecteur sur site	L'inspecteur relève la taille des zones concernées
Analyse et propositions	Si la surface du désordre est supérieure à 30 % de celle de la pièce, on proposera un diagnostic (recherche du type d'agresseur) sur la base d'un prélèvement, pour déterminer ensuite un traitement curatif adapté. Si la surface est plus faible, on conseillera de suivre l'évolution dans le temps

ESTHÉTIQUE ET FINITION

- **Grisaillement du bois** (Fig. 72 et Fig. 73)

Description	Le bois présente des zones de couleur grise à noire
Origine possible	Grisaillement du bois dû aux ultraviolets
Risque pour l'ouvrage	Aucun
Attitude de l'inspecteur sur site	L'inspecteur se contente de prendre quelques photos
Analyse et propositions	On précisera au gestionnaire que le grisaillement est naturel et ne modifie pas les propriétés physiques, mécanique et de durabilité du bois



Figure 72 - Grisaillement du bois sur les faces soumises aux UV.



Figure 73 - Grisaillement uniforme.

ESTHÉTIQUE ET FINITION

- Dégradation de la finition (Fig. 74)

Description	La lasure ou la peinture est dégradée
Origine possible	Agressions climatiques
Risque pour l'ouvrage	Aucun sauf si la finition est filmogène (type peinture glycérophtalique ou vernis. Dans ce cas, risque d'humidification élevé sous la finition)
Attitude de l'inspecteur sur site	L'inspecteur mesure l'humidité du bois
Analyse et propositions	Si l'humidité du bois est supérieure à 20 % et la finition est filmogène, on proposera de décaper la peinture existante et de laisser grisailler (ou d'appliquer une lasure). Dans les autres cas, deux options sont possibles : soit laisser la finition se dégrader et laisser le bois grisailler, soit rénover la finition



Figure 74 - Dégradation des lasures.

■ Lexique

Arbalétrier	Pièce de charpente inclinée qui sert à soutenir et à contreventer un cintre ou une ferme
Assemblage par tenon et mortaise	Assemblage dans lequel le tenon (l'excroissance) de l'une des pièces est introduit dans une mortaise (évidement) pratiquée dans l'autre
Aubier	Partie fonctionnelle du bois qui assure la conduction de la sève brute, correspondant aux <i>cernes</i> 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 <i>préservation chimique</i>
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	Pièce rectangulaire de dimensions comprises entre 55 mm × 155 mm et 65 mm × 185 mm (<i>exemple</i> : basting de 63 × 175)
Blochet	Pièce de charpente unissant une jambe de force à une autre pièce (<i>exemple</i> : le pied d'un arbalétrier)
Bois sec commercialement	Bois dont l' <i>humidité</i> est inférieure à 22 %
Bois de bout	Section d'extrémité d'un élément en bois
Bois parfait	Ensemble des cellules du bois entièrement <i>lignifiées</i>
Bois vert	Bois dont l'humidité est supérieure à celle du <i>point de saturation des fibres</i>
Brumisation	Saturation de l'air en fines gouttes d'eau
Cambium	Ensemble de cellules indifférenciées, qui génèrent du bois ou du <i>liber</i>
CCA	Acronyme de Chrome Cuivre Arsenic : produit de traitement de préservation chimique du bois contenant des sels métalliques à base de chrome, cuivre et arsenic
CCB	Acronyme de Chrome, Cuivre, Bore : produit de traitement de préservation chimique du bois contenant des sels métalliques à base de chrome, cuivre et bore
CCF	Acronyme de Chrome, Cuivre, Fluor : produit de traitement de préservation chimique du bois contenant des sels métalliques à base de 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' <i>aubier</i>
Champignons lignivores	Champignons à l'origine de la <i>pourriture</i> qui se nourrissent des cons
Chevron	Pièce rectangulaire (quasiment carré) de côté compris entre 40 mm et 120 mm
Classes 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
Contrefiche	Pièce de charpente inclinée reliant une pièce verticale à une pièce inclinée pour soulager cette dernière en diminuant la portée
Couvertine	Fine pièce métallique de protection du bois
Créosote	Produit de préservation issu 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 <i>duraminisation</i>
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' <i>humidité du bois</i> dépasse le <i>point de saturation des fibres</i>
Eau liée	Eau prisonnière entre les chaînes de cellulose, dont la variation de quantité est à l'origine des phénomènes de <i>retrait et de gonflement</i> du bois
Embrèvement	Entaille faite dans une pièce de bois pour recevoir le bout d'une autre pièce
Entrait	Pièce de charpente horizontale joignant les arbalétriers pour éviter leur écartement
Essence	Ensemble des arbres ayant le même plan ligneux, c'est-à-dire de même structure anatomique
Fente	Ouverture créée par le retrait du bois
Feuillus	Arbre de la famille des angiospermes, comme le chêne, le hêtre, la plupart des essences tropicales
Fissure	Ouverture créée par un excès de contrainte mécanique
Fongicide	Qualité d'une substance à tuer les <i>champignons</i>
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 contenue dans le bois sur la masse sèche du bois
Imprégnabilité	Capacité du bois à être pénétré par un liquide (<i>cf.</i> 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, capricornes, lyctus, vrillettes, etc.)
Insecticide	Qualité d'une substance à tuer les insectes
Jambe de force	Pièce de charpente inclinée pour soulager une autre pièce en diminuant sa portée (<i>exemple</i> : un entrait, un tirant ou un arbalétrier)
Lamellé collé	Reconstitution de poutres de grandes dimensions à partir de planches aboutées et collées
Lamelliste	Fabriquante de lamellé collé
Lasure	Produit de finition, transparent, pigmenté ou non, qui limite les échanges hygroscopiques et peut contenir des agents <i>fongicide</i> et <i>insecticide</i>
Lignification	Étanchéification des cellules de bois par de la lignine, composé chimique exclusif au bois
Liteau	Pièce rectangulaire de dimensions comprises entre 18 mm × 35 mm et 40 mm × 40 mm
Liber	Partie fonctionnelle de l'arbre, se situant entre l'écorce et le <i>cambium</i> , assurant la circulation de la <i>sève élaborée</i>
Madrier	Pièce rectangulaire de dimensions comprises entre 75 mm × 205 mm et 105 mm × 225 mm (<i>exemple</i> : madrier de 75 × 225)
Orthotropie	Propriété d'un matériau ayant des caractéristiques physiques et mécaniques différentes dans trois plans perpendiculaires
Peinture	Produit de finition, pigmenté, qui crée un film étanche sur la surface, déconseillé pour le bois en extérieur, hormis les peintures microporeuses
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 <i>sève brute</i> de se transformer en <i>sève élaborée</i>
Planche	Pièce rectangulaire dont le rapport de ses côtés est supérieur ou égal à 4, et dont l'épaisseur est supérieure à 22 mm

Poinçon	Pièce de charpente verticale reliant le milieu de l'entrait à la jonction des arbalétriers
Point de saturation des fibres	<i>Humidité du bois</i> en-dessous de laquelle l'eau libre a totalement été évacuée et qui marque le début du <i>retrait</i> du bois
Pourriture	Modification de la composition chimique du bois résultant de l'action des <i>champignons</i> 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, 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 <i>cerne</i> 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 <i>classe d'emploi</i> donnée

■ Références normatives

Dans cette partie sont reprises les références normatives principales qui peuvent intéresser l'inspecteur.

• 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 335-1 : 1992	Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois - Définitions 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 choisis 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 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

- **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 1912	Structures en bois - Classes de résistance - Affectation des classes visuelles et des essences
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

- **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 - Écarts admissibles et dimensions préférentielles
PR EN 14080	Structures 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 usages 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 - Essais 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

- **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

Autres documents utiles

<p>Eurocode 5 - Conception et calcul des structures en bois.</p> <p>SETRA « Les ponts en bois - Comment assurer leur durabilité », Guide technique, 124 pages, novembre 2006.</p> <p>Directive 98/8/CE dite directive biocode.</p> <p>CREMONA C., HABIB-HALLAK P., BARBOSA F., LAVIGNE J., MORETTI O., DOURTHE J.-M., COUTELIER P., 2005, <i>Caractérisation dynamique d'un pont en bois exceptionnel : Exemple du pont de Merle</i>, Revue française de génie civil, n° 1, avril 2005.</p>

Document publié par le LCPC
Conception et réalisation
Dessins
Crédits photos

Impression
Dépôt légal

sous le numéro C1502515
LCPC-DISTC, Marie-Christine Pautré
LCPC-DISTC, Philippe Caquelard
CNDB, Dominique Calvi, LCPC, Wayne Muller (Australie),
Vincent Barbier et Jean-Yves Joineau (LRPC Nancy),
tous droits réservés
Jouve N°
2e trimestre 2008



Les ponts en bois sont encore peu nombreux en France, mais de plus en plus de passerelles notamment utilisent ce matériau. Après la publication d'un guide technique par le Sétra en 2006 « les ponts en bois - comment assurer leur durabilité » axé sur la conception et la prescription, le LCPC publie le présent guide sur la pathologie et l'inspection des ouvrages en bois.

En l'absence d'un fascicule de l'ITSEOA relatif aux ouvrages en bois, l'objectif de ce guide est de donner aux inspecteurs d'ouvrages d'art les notions essentielles leur permettant de diagnostiquer correctement les pathologies des structures en bois.

Ce guide présente d'abord un rappel des propriétés essentielles du matériau, puis aborde les pathologies susceptibles d'être rencontrées par l'inspecteur ainsi que les outils nécessaires pour réaliser une inspection détaillée. Le contenu d'une inspection est précisé ensuite avec des recommandations pour aider l'inspecteur à rechercher efficacement les pathologies, établir une synthèse sur l'état de l'ouvrage et préconiser des études, investigations ou travaux.

En annexe, des fiches synthétiques précisent les origines possibles des pathologies fréquentes, les risques pour la structure, l'attitude à avoir sur le site et les propositions d'actions.

The timber bridges are not still common in France, but more and more footbridges use this material. After the publication of a technical guide by the Sétra in 2006 « Timber bridges - how to ensure their durability » focusing on the design and the specification, the LCPC publishes this guide about pathology and inspection of timber structures.

Because of the lack of official manual on the inspection of timber structures, the objective of this guide is to give inspectors some essential notions to diagnose correctly the pathologies of timber structures.

This guide first presents a reminder of the essential properties of the material, then describes the pathologies, that can be encountered by the inspector and the tools needed to achieve a good detailed inspection. Finally, the contents of an inspection is specified with some advices to search pathologies, to analyse the condition of the structure and to prescribe studies, investigations or repairs.

In the annex, synthetic sheets specify the possible origins of the most common pathologies, the risks for the structure, the behaviour to have on site and some suggestions of actions.