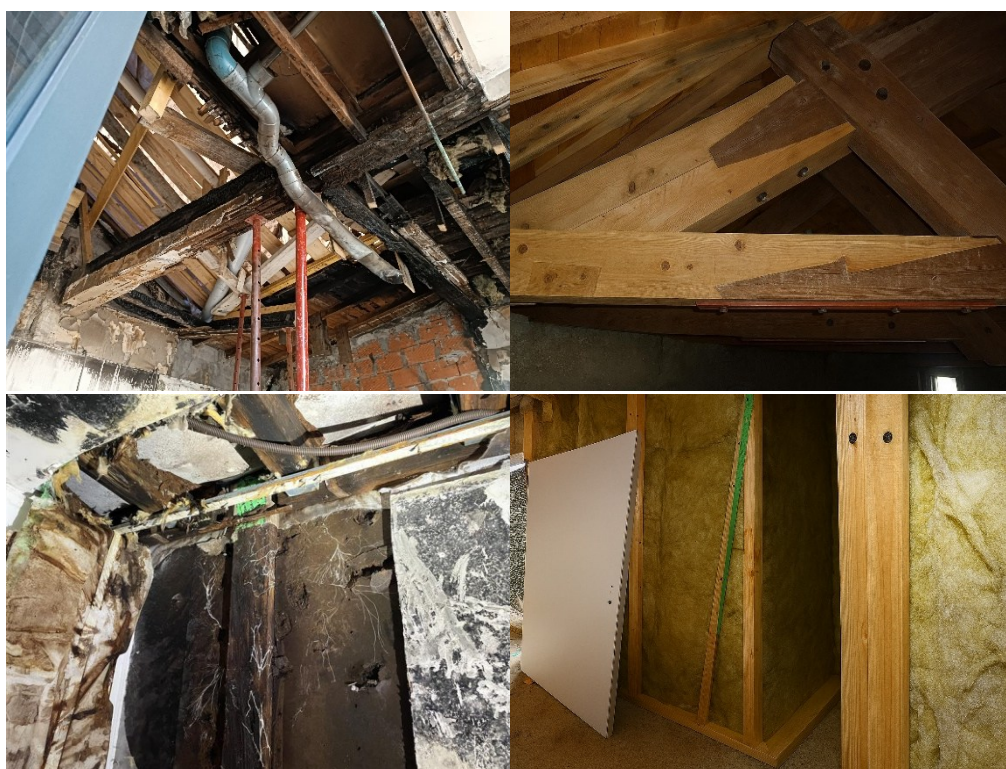


REPARATION DES OUVRAGES BOIS APRES SINISTRES

DEGATS DES EAUX, INCENDIE



Réalisé par



Financé par le



FINANCEMENT



Le CODIFAB, Comité Professionnel de Développement des Industries Françaises de l'Ameublement et du Bois, a pour mission de conduire et financer, par le produit de la Taxe Affectée, des actions d'intérêt général en faveur des fabricants français de l'ameublement (meubles et aménagements) et du bois (menuiseries, charpentes, panneaux, bois lamellé, CLT, ossature bois, ...). Le CODIFAB fédère et rassemble 4200 PME/ETI et plus de 15000 artisans, représentés par leurs organisations professionnelles :



Les actions collectives ont pour objectif d'accompagner les entreprises de création, de production et de commercialisation par : une meilleure diffusion de l'innovation et des nouvelles technologies, l'adaptation aux besoins du marché et aux normes environnementales, la promotion, le développement international, la formation, et par toute étude ou initiative présentant un intérêt pour l'ensemble de la profession.

Pour en savoir plus : www.codifab.fr

AUTEUR



INSTITUT TECHNOLOGIQUE

Christophe MERZ

COMITE DE PILOTAGE

Nous remercions les membres du Comité de Pilotage qui ont su orienter au mieux la rédaction du présent guide pour qu'elle corresponde aux attentes réelles des concepteurs et réalisateurs de structures bois.

Sabine BOURY

Panpi DUHALDE

Rodolphe MAUFRONT

Clément QUINEAU

CAPEB

Panpi DUHALDE Charpente - CAPEB

UMB FFB

UICCB

Photo de couverture : ©FCBA

© FCBA & CODIFAB, 2026. Tous droits réservés. En application de la loi du 11 mars 1957, il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement le présent ouvrage, sur quelque support que ce soit, sans autorisation de l'éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie - 20 rue des Grands Augustins, 75006 Paris

PREAMBULE

Au cours de leur vie en œuvre, les ouvrages de construction en bois peuvent connaître différents aléas et sinistres (incendie, dégâts des eaux tels que des infiltrations d'eau de pluie, des ruptures des réseaux d'eau, des condensations anormales, etc...).

Suivant les circonstances et les typologies d'ouvrages, les conséquences sur leur intégrité, leurs performances et leur durabilité peuvent être plus ou moins importantes et doivent être évaluées le plus précisément possible.

Leur réparation nécessite une maîtrise technique avancée et une méthodologie rigoureuse. En l'absence de référentiel technique reconnu et partagé sur ces sujets, les intervenants sur les parties d'ouvrages bois sinistrées peuvent être amenés à recourir à des solutions excessives ou inadaptées.

Ce guide est destiné aux différents acteurs concernés (entreprises, maîtres d'œuvre, maîtres d'ouvrages, experts, ...) afin de les aider à diagnostiquer les dommages, identifier les orientations de solutions de réparation adaptées et les principales approches méthodologiques de travaux correspondants.

GLOSSAIRE

ABRÉVIATIONS

Organismes et certifications

AQC	Agence Qualité Construction
CAPEB	Confédération des Artisans et Petites Entreprises du Bâtiment
CODIFAB	Comité professionnel de Développement des Industries Françaises de l'Ameublement et du Bois
CTB A+	Certification de services délivrée aux entreprises qui interviennent dans la protection et le traitement des bois en œuvre, ainsi que dans la protection des constructions neuves contre les termites (en référence au deuxième décret – loi termites) et l'entretien des bois en extérieur
CSTB	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
FFB	Fédération Française du Bâtiment
INRS	Institut National de Recherche et de Sécurité
IRABOIS	Institut de Recherches Appliquées au Bois
OPPBTP	Organisme Professionnel de Prévention du Bâtiment et des Travaux Publics
RAGE	Règles de l'Art Grenelle Environnement
UICCB	Union des Industries de la Construction et du Commerce du Bois
UMB	Union des Métiers du Bois (fait partie de la FFB)
SNBL	Syndicat National du Bois Lamellé-collé

Abréviations courantes

DROM	Département et Région d'Outre-Mer
EPCI	Établissement Public de Coopération Intercommunale
ILX	Insecte à Larve Xylophage
PSF	Point de Saturation des Fibres
SEAE	Système d'Extinction Automatique à Eau

Matériaux, produits et procédés constructifs

BLC	Bois lamellé-collé
BMA	Bois massif abouté
BMR	Bois massif reconstitué
CLT	Cross Laminated Timber, bois massif lamellé-croisé
FOB	Façade Ossature Bois
LVL	Laminated Veneer Lumber, lamibois
MOB	Mur ossature bois
OSB	Oriented Stranded Board, panneau de lamelles minces, longues et orientées

RÉFÉRENCES NORMATIVES

NF B 52-001	Règles d'utilisation du bois dans la construction - Classement visuel pour l'emploi en structures des bois sciés résineux et feuillus
--------------------	---

NF DTU 31.1	Travaux de bâtiment - Charpente en bois
NF DTU 31.2	Travaux de bâtiment - Construction de maisons et bâtiments à ossature en bois
NF DTU 31.3	Travaux de bâtiment - Charpentes en bois assemblées par connecteurs métalliques ou goussets
NF DTU 31.4	Travaux de bâtiment - Façades à ossature bois
NF DTU 43.4	Travaux de bâtiment - Toitures en éléments porteurs en bois et panneaux dérivés du bois avec revêtements d'étanchéité
NF DTU 51.3	Travaux de bâtiment - Planchers en bois ou en panneaux dérivés du bois
NF EN 300	Panneaux de lamelles minces, longues et orientées (OSB) - Définitions, classification et exigences
NF EN 301	Adhésifs de nature phénolique et aminoplaste, pour structures portantes en bois - Classification et exigences de performance
NF EN 310	Panneaux à base de bois - Détermination du module d'élasticité en flexion et de la résistance à la flexion
NF EN 313	Contreplaqué - Classification et terminologie
NF EN 322	Panneaux à base de bois. Détermination de l'humidité
NF EN 335	Durabilité du bois et des matériaux à base de bois - Classes d'emploi : définitions, application au bois massif et aux matériaux à base de bois
NF EN 338	Bois de structure - Classes de résistance
NF EN 408	Structures en bois - Bois massif et bois lamellé-collé - Détermination de certaines propriétés physiques et mécaniques
NF EN 636	Contreplaqué - Exigences
NF EN 1912	Bois de structure - Classes de résistance - Affectation des classes visuelles et des essences
NF EN 1995	Eurocode 5 – Conception et calcul des structures en bois (Annexes nationales incluses)
NF EN 10025	Produits laminés à chaud en aciers de construction
NF EN 10088	Aciers inoxydables
NF EN 13183	Teneur en humidité d'une pièce de bois scié
NF EN 14080	Structures en bois - Bois lamellé collé et bois massif reconstitué - Exigences
NF EN 14081	Structures en bois - Bois de structure à section rectangulaire classé pour sa résistance
NF EN 14374	Structures en bois - LVL (Lamibois) - Exigences
NF EN 14545	Structures en bois - Connecteurs - Exigences
NF EN 14592	Structures en bois - Éléments de fixation de type tige - Exigences
NF EN 15425	Adhésifs — Adhésifs polyuréthane monocomposants (PUR) pour structures portantes en bois — Classification et exigences de performance

NF EN 15497	Bois massif de structure à entures multiples - Exigences de performances et exigences minimales de fabrication
NF EN 16351	Structures en bois - Bois lamellé croisé - Exigences
NF EN 17334	Goujons collés dans les produits en bois de structure collé - Essais, exigences et classification de la résistance au cisaillement du joint
NF EN 17418	Adhésifs bicomposants polyuréthanes et époxydiques pour la réparation sur site de structures en bois fissurées - Essais, exigences et vérification de la résistance des réparations

RÉFÉRENCES REGLEMENTAIRES

Code du travail, articles L.4121-1 à L.4121-5 relatifs aux principes généraux de prévention

Code du travail, articles R.4412-94 à R.4412-148 relatifs à la prévention du risque amiante

Code de la santé publique, dispositions relatives à la prévention du risque d'exposition au plomb dans les bâtiments (CREP et obligations associées).

Code de l'environnement, dispositions relatives à la gestion et à la traçabilité des déchets

Code de la construction et de l'habitation, dispositions relatives à la lutte contre les termites et autres insectes xylophages.

GUIDES ET REFERENTIELS TECHNIQUES

AQC - Fiches pathologie bâtiment

CODIFAB – Guide pratique « Diagnostic solidité des structures bois des bâtiments – recommandations », décembre 2025

CODIFAB – Guide pratique « Construction bois et gestion de l'humidité en phase chantier », avril 2020

CODIFAB – Catalogue Bois Construction

CSTB – Cahier 3802 « Panneaux structuraux massifs bois »

CSTB – Cahier 3814 « Étanchéité de toitures terrasses sur élément porteur en panneaux structural bois faisant l'objet d'un Avis Technique ou d'un DTA relevant de l'une des deux familles : Panneau bois à usage structurel mur et plancher ; Plancher à caisson en bois »

INRS – Prévention du risque amiante

Les cahiers d'IRABOIS - Règles professionnelles « Prise en compte des fentes dans les bois massifs de grosses sections à usage structurel et faiblement chargés », février 1998

MINISTERE CHARGE DE LA SANTE – Amiante : travaux et bricolage, le repérage, une étape essentielle

OPPBTP – Prévention BTP- Ressources, guides, outils et fiches pratiques de prévention

RAGE – Recommandations professionnelles « Isolation thermique des sous-faces des toitures à élément porteur en bois », juillet 2014

SNBL – Note n°1 « Structures en bois lamellé-collé – Recommandations pour la réparation de bois lamellé structural présentant des fissures ou des fentes », février 2016

SOMMAIRE

FINANCEMENT	2
PREAMBULE	3
GLOSSAIRE.....	4
SOMMAIRE.....	7
1. OBJET DU GUIDE	9
1.1. DOMAINE D'APPLICATION.....	10
1.2. PRISE EN MAIN DU GUIDE.....	11
2. SINISTRES DEGATS DES EAUX.....	12
2.1. ORIGINES.....	13
2.2. CONSEQUENCES.....	15
2.3. EVALUATION DES DOMMAGES.....	21
2.4. DEMARCHE DE REHABILITATION	24
2.5. SPECIFICITES CHARPENTES	31
2.6. SPECIFICITES TOITURES-TERRASSES.....	35
2.7. SPECIFICITES STRUCTURES POTEAUX-POUTRES.....	37
2.8. SPECIFICITES PLANCHERS INTERMEDIAIRES	38
2.9. SPECIFICITES MURS	40
2.10. SPECIFICITES PLANCHERS BAS SUR VIDE SANITAIRE.....	45
3. SINISTRES INCENDIE	48
3.1. ORIGINES ET PROPAGATION.....	49
3.2. CONSEQUENCES.....	50
3.3. EVALUATION DES DOMMAGES.....	54
3.4. DEMARCHE DE REHABILITATION	56
3.5. SPECIFICITES CHARPENTES	60
3.6. SPECIFICITES TOITURES-TERRASSES.....	61
3.7. SPECIFICITES STRUCTURE POTEAUX-POUTRES.....	62
3.8. SPECIFICITES PLANCHERS	62
3.9. SPECIFICITES MURS	63
4. MOYENS DE DIAGNOSTIC.....	65
4.1. MESURES DU TAUX D'HUMIDITE DU BOIS	66
4.2. IDENTIFICATION D'ESSENCE	66
4.3. CLASSEMENT VISUEL	67
4.4. MESURES DE PROPAGATION D'ONDES	71
4.5. SONDAGES AU RESISTOGRAPHE	72
4.6. THERMOGRAPHIE INFRAROUGE	73
4.7. DETECTION D'INSECTES XYLOPHAGES PAR METHODE ACOUSTIQUE.....	73
5. TECHNIQUES DE REPARATION.....	75
5.1. GENERALITES.....	76

5.2.	SOULAGEMENT DE LA STRUCTURE	78
5.3.	REMPLACEMENT D'ELEMENTS DEFECTUEUX	78
5.4.	ADJONCTION D'ELEMENTS DE RENFORT	84

OBJET DU GUIDE

1.1. DOMAINE D'APPLICATION

PRÉSENTATION

Ce guide pratique a pour objet la réparation des ouvrages de construction bois endommagés par un sinistre incendie ou un dégât des eaux.

Il s'applique aux parties d'ouvrages de structures de bâtiment (planchers, murs, toitures) réalisées avec les techniques constructives suivantes :

- structure poteaux-poutres,
- parois à ossature bois,
- panneaux bois lamellé-croisé,
- charpente traditionnelle ,
- charpente industrialisée.

Ce document vise les bâtiments d'habitation, les bâtiments de bureaux, les établissements recevant du public et les bâtiments industriels.

HORS DOMAINE D'APPLICATION

Ce guide ne traite pas des problématiques d'humidification en phase chantier (cf. guide Codifab «Construction bois et gestion de l'humidité en phase chantier »).

Les ouvrages bois extérieurs partiellement ou pleinement exposés aux intempéries ne sont pas visés par ce document.

Le guide n'a pas vocation à traiter de manière détaillée les aspects relatifs à la sécurité des intervenants, aux repérages réglementaires (amiante, plomb, etc.) ou à la gestion des déchets, qui relèvent de réglementations et guides spécifiques.

Nota : Préalables à toute opération

À la suite d'un sinistre, les mesures conservatoires et les opérations de mise en sécurité urgentes peuvent nécessiter une intervention immédiate afin de limiter l'aggravation des dommages ou de garantir la sécurité des personnes.

Avant toute opération de diagnostic approfondi, de dépose ou de réparation, il convient cependant de :

- prendre connaissance des repérages réglementaires disponibles et réaliser, lorsque nécessaire, les investigations complémentaires requises (amiante avant travaux, présence éventuelle de plomb dans les bâtiments concernés), conformément notamment aux articles R. 4412-97 à R. 4412-97-6 du Code du travail et aux dispositions du Code de la santé publique relatives au risque d'exposition au plomb dans les bâtiments ; [\[preventionbtp.fr\]](http://preventionbtp.fr), [\[sante.gouv.fr\]](http://sante.gouv.fr)
- définir les mesures de prévention adaptées aux risques identifiés (protections collectives, EPI, confinement, gestion des poussières, etc.), conformément aux principes généraux de prévention définis aux articles L. 4121-1 à L. 4121-5 du Code du travail et aux mesures applicables en matière de santé et sécurité au travail en s'appuyant également sur les recommandations de l'INRS et de l'OPPBTP ; [\[preventionbtp.fr\]](http://preventionbtp.fr), [\[inrs.fr\]](http://inrs.fr)
- organiser le tri et l'évacuation des déchets conformément à la réglementation applicable, notamment aux dispositions du Code de l'environnement relatives à la gestion et à la traçabilité des déchets, ainsi qu'aux filières spécifiques lorsqu'il s'agit de déchets dangereux , pollués ou contaminés (amiante, plomb, matériaux souillés par le sinistre, etc.) [\[inrs.fr\]](http://inrs.fr), [\[preventionbtp.fr\]](http://preventionbtp.fr)
- s'appuyer sur les recommandations et outils de prévention proposés par l'OPPBTP, notamment ceux relatifs au risque amiante, aux opérations de chantier et à la prévention des risques professionnels. [\[preventionbtp.fr\]](http://preventionbtp.fr)

1.2. PRISE EN MAIN DU GUIDE

Ce guide est organisé de manière à permettre une lecture claire et opérationnelle en traitant distinctement les deux principaux types de sinistre que sont les dégâts des eaux d'une part et les sinistres incendie d'autre part.

Chaque partie aborde successivement les circonstances pouvant conduire à ces sinistres et la manière dont ils affectent les ouvrages en bois, puis apporte des éléments d'appréciation pour évaluer l'étendue des dommages et définir les travaux de réhabilitation.

Des chapitres spécifiques sont consacrés aux différentes parties d'ouvrage en tenant compte de leur typologie constructive (charpentes, toitures-terrasses, planchers, murs, etc.) pour permettre d'identifier rapidement les points clés correspondants.

Les moyens de diagnostic et les techniques de réparation sont traités dans des parties transversales, indépendantes du type de sinistre.

Le lecteur peut ainsi suivre l'ensemble du déroulé ou se reporter directement aux sections appropriées en fonction des besoins.

SINISTRES DEGATS DES EAUX

2.1. ORIGINES

Inondations

Les inondations, au cours desquelles des zones normalement sèches se trouvent submergées, en milieu urbain ou rural, en plaine ou en région accidentée ou le long du littoral, résultent de phénomènes d'origine naturelle variés pouvant être regroupés en quatre grands types :

- débordements de cours d'eau : crues de plaine lentes et progressives ou crues torrentielles brusques et peu prévisibles ;
- élévation du niveau de la nappe phréatique qui atteint la surface de sol ;
- ruissellement : lorsque les eaux de pluie ne peuvent plus être absorbées par le sol ou évacuées par les systèmes de drainage ;
- élévation du niveau de la mer due aux marées et/ou conditions climatiques défavorables (baisses de pression atmosphérique et de vents importants).

Elles se caractérisent par les trois paramètres principaux suivants qui vont avoir un impact direct sur le bâti :

- La hauteur d'eau : d'une part, la poussée exercée sur les murs est proportionnelle à la hauteur d'eau et d'autre part, en fonction du niveau atteint, les ouvrages affectés vont être de plus en plus nombreux (plancher bas, murs et cloisons, menuiseries, réseaux...).
- La durée d'immersion : favorise la dégradation des matériaux et l'endommagement des ouvrages avec la diffusion de l'humidité par capillarité au-delà des zones en contact avec l'eau.
- La vitesse d'écoulement : au-delà du risque d'affouillement des fondations, les effets dynamiques peuvent aggraver la pression sur les parois et également provoquer des chocs par l'intermédiaire d'objets transportés.

Les parties d'ouvrages de construction bois susceptibles d'être affectées par ce type de sinistre sont :

- les planchers sur vide sanitaire,
- les parois bois du RdC,
- les pieds de poteaux.

Infiltrations clos couvert

Les infiltrations d'eau à travers le clos et couvert sont la conséquence de défaillances des ouvrages devant assurer l'étanchéité à l'eau du bâti :

- Couvertures ou toitures avec étanchéité
- Façades
- Menuiseries

Ces défauts d'étanchéité à l'eau de ces ouvrages peuvent avoir de multiples origines : conception inadaptée, mauvaise exécution, absence ou insuffisance d'entretien, etc....

La source d'une infiltration n'est pas toujours aisément décelable et sa manifestation peut n'apparaître qu'après une longue période d'humidification.

Plusieurs fiches pathologie du bâtiment publiées par l'AQC ([Centre de ressources - Agence Qualité Construction](#)) traitent de cas fréquemment rencontrés, notamment :

- C06-Infiltrations points singuliers couvertures tuiles
- C11-Toitures-terrasses relevés points faibles
- C12-Points faibles protection lourde toitures-terrasses accessibles
- D01-Infiltrations liaisons menuiseries extérieures / gros-œuvre-(Outre-Mer)
- D02-Infiltrations eau seuil porte-fenêtre (Outre-Mer)

Les parties d'ouvrages de construction bois susceptibles d'être affectées par ce type de sinistre sont principalement :

- les murs et façades ossature bois,
- les poteaux-poutres en façade,
- les toitures-terrasses,
- les charpentes.

Condensations

Les problèmes d'humidité causés par des phénomènes de condensation de vapeur d'eau ont le plus souvent pour origine :

- des fuites d'air dues à des défauts de conception ou de mise en œuvre de l'étanchéité à l'air, qui abaissent la température des surfaces intérieures ;
- des défauts de conception des parois vis-à-vis des transferts d'humidité, comme par exemple:
 - o une absence ou insuffisance de la barrière à la vapeur d'eau côté intérieur, notamment dans le cas d'un matériau étanche à la vapeur d'eau côté extérieur ;
 - o une résistance thermique excessive du doublage isolant côté intérieur devant la barrière à la vapeur d'eau.
- une insuffisance de ventilation :
 - o ventilation mécanique contrôlée insuffisante (mal réglée voire arrêtée pour cause de nuisance sonore) par rapport à la production d'humidité dans le local ;
 - o absence ou insuffisance de ventilation sur l'extérieur de la lame d'air entre l'isolant et le parement extérieur.

Les parties d'ouvrages de construction bois susceptibles d'être affectées par ce type de désordre sont principalement :

- les planchers sur vide sanitaire,
- les murs et façades ossature bois,
- les éléments de structure poteaux-poutres en façade,
- les toitures-terrasses,
- les charpentes.

Fuites d'eau, débordements

Les dégâts des eaux dans les logements résultent fréquemment de fuites et infiltrations d'eau liées aux réseaux et équipements sanitaires , tels que:

- rupture de canalisations,
- fuites ou débordements des appareils ménagers, des baignoires ou de récipients ,
- infiltration par les joints d'étanchéité aux pourtours des installations sanitaires.

Les parties d'ouvrages de construction bois susceptibles d'être affectées par ce type de désordre sont principalement :

- les planchers,
- les parois ossature bois,
- les structures poteaux-poutres.

Dégâts des eaux après incendie

Les eaux d'arrosage utilisées pour l'extinction d'incendie, par les pompiers avec les lances à eau ou par les systèmes d'extinction automatique à eau (SEAE, ex: sprinkleur, brouillard d'eau), déversées en quantité importante sur le feu peuvent causer d'importants dégâts sur le bâti. Elles sont susceptibles de s'infiltrer au sein des parois et d'humidifier significativement les composants.

Les dégâts causés par l'incendie peuvent affecter le clos et couvert et donc rendre le bâtiment vulnérable aux intempéries.

Des ruptures de canalisation peuvent également survenir à la suite d'échauffements importants ou d'effondrements.

2.2. CONSEQUENCES

Bois et humidité

Le bois est un matériau hygroscopique, c'est-à-dire qu'il a la capacité d'absorber ou désorber une certaine quantité d'eau sous forme liquide ou gazeuse en fonction des conditions hygrothermiques dans lequel il se trouve.

En raison de sa structure anatomique, l'absorption et la diffusion de l'eau liquide dans le bois se font principalement suivant sa direction longitudinale, par capillarité le long des fibres. Dans les directions transverses, les migrations sont plus lentes.

La quantité d'eau contenue dans le bois s'exprime généralement par son taux d'humidité (teneur en eau massique) correspondant au rapport entre la masse d'eau et la masse de bois anhydre (séché à $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) exprimé en pourcentage. Cette eau peut être présente sous deux formes distinctes :

- l'eau libre contenue sous forme liquide dans les vides cellulaires des fibres et vaisseaux du bois, lorsque le taux d'humidité excède le point de saturation des fibres (PSF), de l'ordre de 30% mais qui varie selon les essences ;
- l'eau liée, adsorbée dans les parois cellulaires de la matière ligneuse, dont la quantité est maximale au point de saturation des fibres et nulle à l'état anhydre.

Lorsqu'il n'y a plus d'eau libre, le taux d'humidité du bois se stabilise à une valeur d'équilibre hygroscopique qui dépend uniquement du couple température / humidité relative de l'air ambiant. Celle-ci peut être déterminée à partir des courbes d'équilibre hygroscopique du bois, telles que celles données dans l'annexe nationale française de l'Eurocode 5 (NF EN 1995-1-1/NA), reproduites ci-dessous.

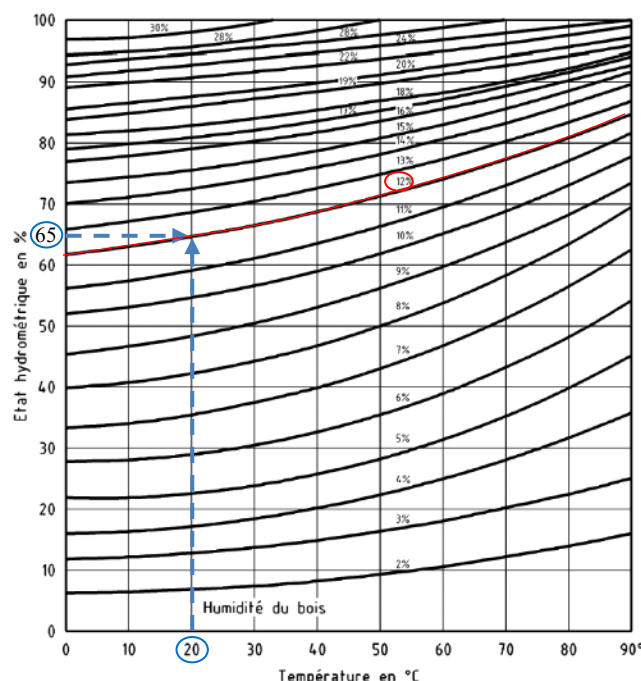


Figure 1 Courbes d'équilibre hygroscopique des bois mis en œuvre (extrait NF EN 1995-1-1/NA – Clause 2.3.1.3)

A titre d'exemple, on peut voir sur les courbes ci-dessus qu'un bois situé dans une ambiance de 20°C et 65% d'humidité relative s'équilibre à un taux d'humidité de 12%.

Retrait et gonflement

En dessous du point de saturation des fibres, les variations de quantité d'eau liée (assèchement ou humidification) se traduisent par des variations dimensionnelles (respectivement retrait ou gonflement) qui leur sont directement proportionnelles.

Ces déformations diffèrent suivant l'orientation par rapport aux cernes et aux fibres du bois. Elles sont très faibles dans la direction longitudinale (sens des fibres) mais importantes perpendiculairement aux fibres avec un facteur 2 entre la direction tangentielle et la direction radiale par rapport aux cernes.

Le retrait provoqué par l'assèchement d'une pièce de bois est générateur de contraintes internes. D'une part les cernes périphériques se contractent davantage que la partie centrale d'une pièce de bois et d'autre part l'assèchement du bois est plus rapide en surface qu'à cœur. Enfin, les transferts d'humidité étant plus rapides dans le sens longitudinal que dans le sens transversal, les contraintes internes de séchage sont maximales aux extrémités des pièces. Cela peut conduire à de la fissuration, en particulier dans le cas de pièces de forte massivité où les gradients sont les plus élevés.

Dans les produits reconstitués par lamellation, les joints de collage sont prévus pour résister à ces contraintes internes engendrées par les variations dimensionnelles.

Pour les panneaux à base de bois, les variations d'humidité et les variations dimensionnelles associées dépendent fortement de la composition, en particulier de l'adhésif et de la densité, ainsi que du mode de fabrication. Schématiquement, à conditions ambiantes équivalentes, les panneaux de fibres et dans une moindre mesure les panneaux de particules s'équilibrent à des taux d'humidité inférieurs avec des variations dimensionnelles plus importantes que les panneaux contreplaqués dont le comportement à l'humidité se rapproche davantage du bois massif.

Les variations dimensionnelles sont plus importantes perpendiculairement au plan des panneaux et peuvent être en partie irréversibles (cf. mesures d'épaisseur §2.3).

Les panneaux composés de particules pressées (OSB, panneaux de particules) significativement gonflés par l'humidité présentent une surface devenue plus rugueuse et irrégulière.



Photo 1 Décohésion de surface de panneau OSB

Les variations dimensionnelles du bois et des produits à base de bois peuvent être déterminées par calcul à partir des valeurs simplifiées de coefficients de retrait/gonflement données dans le tableau ci-dessous :

Matériau		Coefficients de retrait gonflement, en%, pour une variation du taux d'humidité de 1%	
		Perpendiculaire au fil β_{90}	Parallèle au fil β_0
Bois massifs et bois reconstitués par collage de lamelles	résineux	0,25	0,01
	Feuillus	0,28-0,45	0,01
Panneaux		Perpendiculaire au plan du panneau β_{90}	Dans le plan du panneau β_0
Bois lamellé-croisé		0,24	0,02-0,04
Lamibois (LVL)		0,32	0,01 // fil 0,32 ⊥ fil
Contreplaqué		0,32	0,02
OSB/2 et OSB/3		0,70	0,03

Tableau 1 Valeurs simplifiées de coefficient de retrait gonflement

Ainsi, un élément ayant une dimension de section transversale D_{ref} à l'humidité de référence H_{ref} , présentera une dimension D à l'humidité H déterminée par la relation suivante : $D = D_{ref} \cdot [1 - \beta_{90}/100 \cdot (H_{ref} - H)]$.

Comportement mécanique

Les propriétés mécaniques du bois dépendent de son taux d'humidité.

Les valeurs normatives sont données pour une humidité de référence de l'ordre de 12% (correspondant à une humidité relative de l'air de 65% et une température de 20°C).

Entre 8 et 20% de taux d'humidité, on considère une relation linéaire décroissante entre les variations du taux d'humidité (ΔH) et des propriétés mécaniques du bois. Les taux de variation diffèrent suivant le type de sollicitation, allant de 5%/ ΔH pour la compression axiale à 2%/ ΔH pour la traction axiale et 1,5%/ ΔH pour le module d'élasticité longitudinal.

Ces variations sont réversibles, le bois récupère ses propriétés en s'asséchant.

En revanche, une humidification prolongée augmente le phénomène de fluage et donc la part de déformation irréversible même si l'humidité revient à son niveau initial.

Développements fongiques

Une humidification importante favorise le développement de champignons qui trouvent dans le bois les substances nutritives nécessaires. Les spores des champignons ont besoin d'un environnement humide pour germer et donner naissance aux filaments mycéliens qui vont pénétrer dans les cellules ligneuses. L'eau permet aux nutriments présents dans le bois d'être dissous, transportés et absorbés par le mycélium du champignon.

L'illustration ci-dessous permet de visualiser l'évolution du risque fongique en fonction du taux d'humidité du bois :

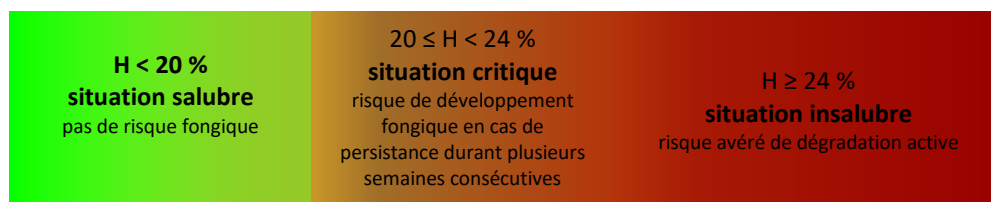


Figure 2 Evolution du risque fongique en fonction de l'humidité du bois

On distingue les champignons qui se développent uniquement en surface du bois, modifiant son aspect et sa coloration, appelés lignicoles, et ceux dits lignivores qui détruisent les cellules du bois.

Les champignons lignicoles, agents de discoloration, sont susceptibles de se développer sur les bois qui présentent une humidité de surface élevée. Ils se manifestent par l'apparition de taches de différentes couleurs. Les désordres sont d'ordre esthétique, la modification d'aspect ne résultant pas d'une transformation du bois mais uniquement de la coloration des filaments mycéliens eux-mêmes dans les cellules ligneuses en surface du bois.

Le plus souvent, quand des moisissures apparaissent sur le bois, on les observe également sur les revêtements (plâtre, papier peint). Les spores de moisissures peuvent potentiellement entraîner des problèmes allergiques ou respiratoires.



Photo 2 Champignons de discoloration

Les champignons lignivores, agents de pourriture, affectent l'intégrité du bois en dégradant les constituants des parois cellulaires par l'intermédiaires d'enzymes spécifiques se trouvant en suspension dans un milieu aqueux. Les besoins en humidité varient en fonction des espèces, mais l'humidité optimale pour leur développement se situe en moyenne entre 35 et 50%, au-delà du point de saturation des fibres mais sans que les vides soient totalement remplis pour ne pas priver le champignon d'oxygène. Les dégradations varient selon les éléments cellulaires altérés et on distingue trois types de pourriture : cubique, fibreuse et molle.

Les agents de pourriture cubique (ou brune) décomposent principalement la cellulose du bois, claire, laissant la trame de la lignine, brune. Le bois dégradé est foncé, cassant et découpé en cubes, d'aspect semblable à celui du bois carbonisé. D'une manière générale, ils se développent dans du bois ayant un taux d'humidité moyen compris entre 25 et 50%.



Photo 3 Pourriture cubique

Les agents de pourriture fibreuse (ou blanche) dégradent simultanément la lignine et la cellulose. Le bois dégradé est ramolli, blanchâtre et se décompose en fibrilles, perdant ainsi toute sa structure. Ils attaquent plus particulièrement les bois feuillus mais peuvent également se développer dans les résineux présentant une très forte humidité. Leurs besoins en eau sont supérieurs à ceux des agents de pourriture cubique, avec un taux d'humidité de bois le plus souvent supérieur à 40 %.



Photo 4 Pourriture fibreuse

Les agents de pourriture molle se développent dans des bois saturés d'eau où ils consomment la cellulose du bois. Ils dégradent principalement les bois feuillus, mais également les résineux de manière moins prononcée. Le bois est noirâtre et spongieux quand il est humide et présente après séchage un découpage en petits cubes réguliers superficiels.



Photo 5 Pourriture molle

Risques Insectes xylophages

- Insectes à larves xylophages (ILX)

Les insectes à larves xylophages pondent des œufs dans le bois. Les larves qui en éclosent creusent des galeries pour se nourrir, vivant dans le bois de quelques mois à plusieurs années. Ensuite, elles se transforment en nymphes, puis en insectes adultes qui quittent le bois par des trous d'envol.

Les insectes à larves xylophages présentant les risques d'attaque les plus fréquents sont :

- le capricorne des maisons qui n'attaque que les bois résineux ;



Photo 6 Dégâts et larve de capricorne des maisons

- la petite vrillette qui attaque les bois résineux ou feuillus d'essences tempérées ;



Photo 7 Dégâts de petite vrillette

- la grosse vrillette qui n'attaque que le bois préalablement dégradé par des champignons lignivores ;

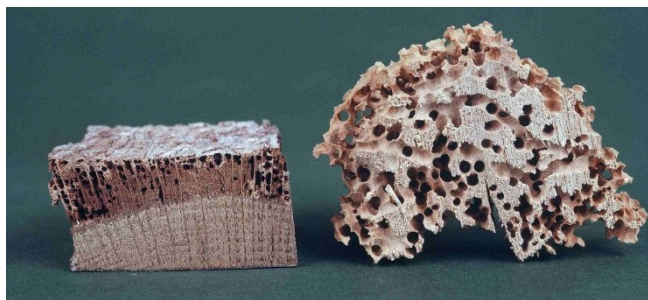


Photo 8 Dégâts de grosse vrillette

- le lyctus qui n'attaque que des bois feuillus.



Photo 9 Dégâts de lyctus

Les principales manifestations de présence d'insectes à larves xylophage sont :

- des galeries dans le bois ;
- des trous de sortie à surface du bois, dont la forme et la dimension sont caractéristiques du type d'insecte ;
- de la vermoulure sur le bois ou au sol dont la forme et la dimension sont également caractéristiques du type d'insecte ;
- la présence de larves et d'insectes ;
- éventuellement de bruits de grignotement.

Le risque d'attaque de bois d'œuvre par des insectes xylophages augmente avec son humidification qui le rend plus facile à creuser et à consommer, donc plus attractif. Cela est encore plus prégnant lorsque le bois a été préalablement altéré par les champignons lignivores.

- Les vitesses de développement des larves d'insectes xylophages tels que les capricornes des maisons et les petites vrillettes sont optimales à des taux d'humidité du bois supérieurs à 20%.
- Les grosses vrillettes n'infestent que les bois déjà dégradés par des champignons de pourriture qui prédisposent la lignine et la cellulose et fournissent les composants azotés nécessaires à la croissance des larves.

▪ Termites

Les termites sont des insectes sociaux organisés en castes parmi lesquelles les ouvriers assurent l'alimentation de la colonie en consommant des matériaux cellulosiques et en particulier le bois qu'ils transforment en aliments élaborés pour les autres groupes. Ce sont les termites souterrains qui présentent les risques d'attaques les plus importants en Europe. Le bois dégradé présente un aspect feuilleté caractéristique, les termites ingérant prioritairement le bois de printemps plus tendre que le bois d'été au sein des cernes d'accroissement. Ces galeries qui évalent l'intérieur du bois sont souvent invisibles depuis l'extérieur où l'aspect du bois peut sembler intact.

Les termites souterrains ont des besoins en eau importants. Ils doivent maintenir une humidité corporelle pour éviter la déshydratation et pour produire leur salive qui joue un rôle crucial dans la construction de leurs galeries et la digestion de la cellulose.

Depuis 2006, la réglementation française vise à réduire le risque de dommages causés par les insectes xylophages notamment les termites, par des mesures préventives de protection des bois et matériaux dérivés participant à la solidité du bâti. S'ils ne sont ni visitables, ni échangeables, ils doivent être naturellement durables ou avoir fait l'objet d'un traitement de préservation, vis-à-vis :

- des insectes à larves xylophages sur l'ensemble du territoire français (départements situés en métropole et outre-mer) ;
- des termites dans les zones infestées pour lesquelles a été publié un arrêté préfectoral.

En cas d'exposition à l'eau importante et prolongée, l'efficacité de la protection initiale apportée par les produits de traitement de préservation est susceptible d'être dégradée par lessivage des matières actives pouvant être en partie dissoutes et éliminées par l'eau.

Corrosion des organes métalliques d'assemblage

Une humidification excessive des ouvrages bois peut conduire à la corrosion des organes métalliques d'assemblage.

La résistance à la corrosion des éléments métalliques d'assemblage destinés à une utilisation en classe de service 1 ou 2, généralement protégés par électrozingage ou galvanisation à chaud, peut s'avérer insuffisante lorsque le taux d'humidité du bois excède 20%.

Le risque de corrosion est accru dans les zones dégradées par les champignons lignivores.

L'acidité de certaines essences ($\text{pH} \leq 4$) leur confère une corrosivité vis-à-vis des organes métalliques lorsque leur teneur en eau dépasse environ 16%. C'est le cas notamment du chêne, du châtaignier, du douglas et du red cedar.

2.3. EVALUATION DES DOMMAGES

Mesures de taux d'humidité du bois et des matériaux à base de bois

La mesure du taux d'humidité du bois peut être réalisée in-situ, par méthode non destructive, à l'aide d'un humidimètre employant l'une des deux technologies suivantes :

- humidimètre à résistance électrique équipé d'électrodes enfoncées dans le bois,
- humidimètre capacitif équipé d'un condensateur et d'électrodes de surfaces.

Ces techniques d'estimation de la teneur en eau sont décrites au §4.1.

Elles peuvent être utilisées pour les panneaux à base de bois à condition que les appareils aient été spécifiquement calibrés pour cela.

La méthode de mesure du taux d'humidité du bois de référence à utiliser notamment pour la calibration ou l'étalonnage des appareils de mesure est la méthode par dessiccation définie par la norme NF EN 13183-1. Elle consiste à déterminer la perte de masse d'un échantillon de bois après étuvage à $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ jusqu'à stabilisation de la masse (état anhydre).

Les mesures doivent être étendues au-delà des zones présentant des traces visibles d'humidification afin de bien cerner la diffusion de l'humidité, compte tenu notamment des phénomènes de capillarité.

Mesures dimensionnelles

Les mesures des dimensions de section transversale des pièces de bois humidifiées permettent de quantifier le gonflement :

- par comparaison directe aux dimensions nominales si elles sont connues,
- ou bien en estimant ces dimensions nominales à partir du taux d'humidité mesuré, en utilisant le coefficient de retrait/gonflement approprié (cf. §2.2).

Les effets de l'humidification et des gradients d'humidité peuvent se traduire par des déformations longitudinales (flèches), transversales (tuilage) ou combinaison des deux (gauchissement).

Pour les panneaux à base de bois, la comparaison entre l'épaisseur nominale et les épaisseurs mesurées sur site renseigne sur une éventuelle perte de cohésion par humidification excessive, remettant en cause leur aptitude à l'emploi.

- On considère qu'un gonflement supérieur à 15% est révélateur d'une perte de cohésion significative et donc d'un affaiblissement des propriétés mécaniques.
- Si le gonflement est inférieur à 10%, on peut considérer que les propriétés mécaniques n'ont pas été affectées par l'humidification.
- Lorsque le gonflement est compris entre 10 et 15%, la vérification de l'aptitude des panneaux à assurer leur fonction nécessite de prélever des échantillons pour effectuer des essais en laboratoire de mesure de la performance en flexion (selon NF EN 310) et des mesures d'humidité (selon NF EN 322). Si les valeurs obtenues sont conformes aux valeurs déclarées, l'aptitude est vérifiée.

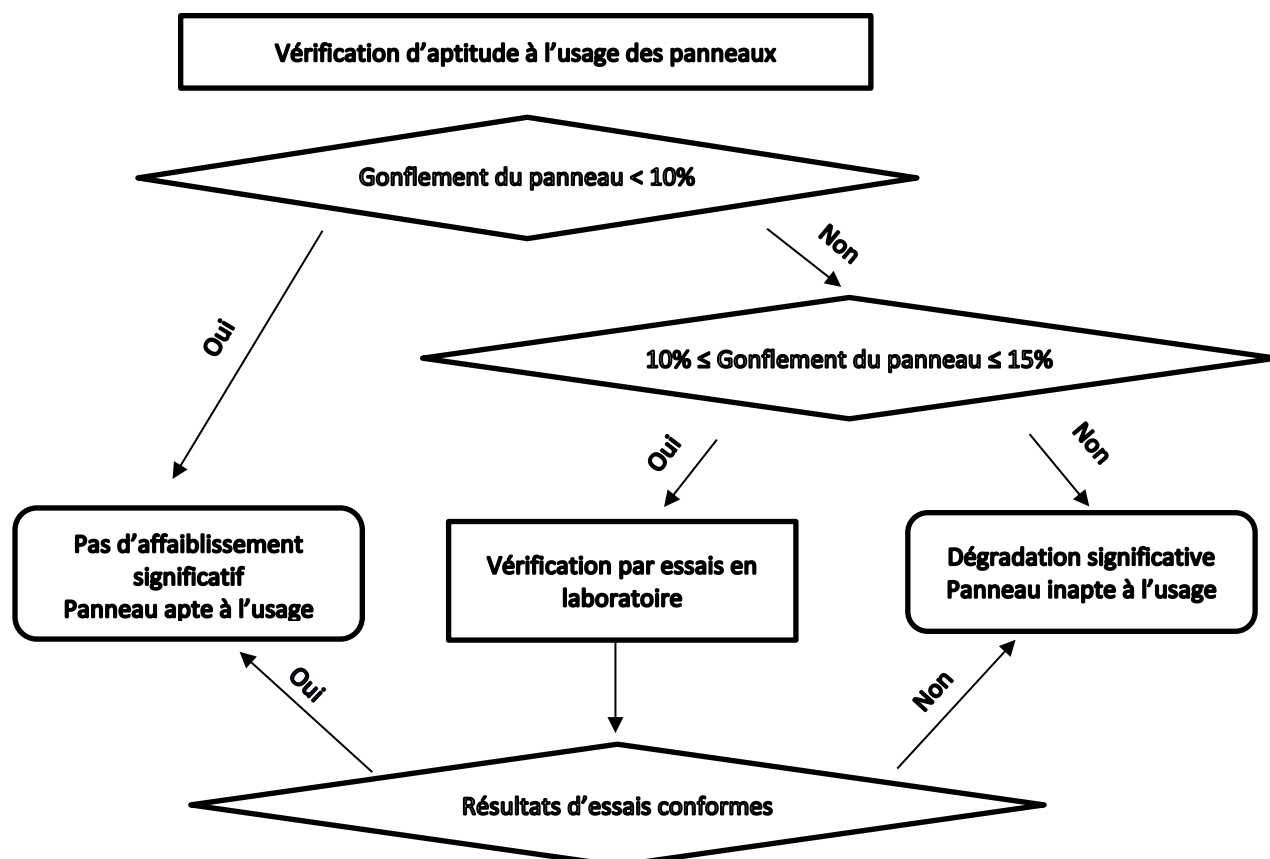


Figure 3 Logigramme de vérification d'aptitude à l'emploi des panneaux

Evaluation des altérations

L'examen visuel des ouvrages bois doit notamment permettre de recenser les zones marquées par l'humidification et le cas échéant, relever des indices de présence d'agents de dégradation biologique (filaments mycéliens, fructifications fongiques, vermoulure, trous de sortie, cordonnets, ...).

La réalisation de sondages est nécessaire pour évaluer l'étendue des dégradations :

- Des sondages au poinçon, ou autre outil pouvant s'enfoncer dans le bois mou, permettent de détecter des parties altérées en surface et d'estimer leur profondeur après purge jusqu'au bois sain.
- Des sondages sonores au marteau vont révéler des zones qui sonnent creux, traduisant un endommagement.
- L'utilisation d'un résistographe (cf. §4.5), permet d'identifier et évaluer les épaisseurs de bois altéré, y compris à cœur. Ce type d'outil présente en outre l'avantage de pouvoir sonder des parties d'ouvrages non directement accessibles (zones d'assemblages ou zones d'appui dans la maçonnerie par exemple).

Il peut également mettre en évidence des décollements de plans de collage, comme par exemple au sein de panneaux bois massifs lamellé-croisé.

Des méthodes d'auscultation non destructive, à base de mesure de propagation d'ondes (cf.§4.4), peuvent également être utilisées pour identifier et quantifier des dégradations, telles que :

- Mesures de vitesse de propagation d'ondes sonores ou ultrasonores,
- Mesures d'ondes radar.

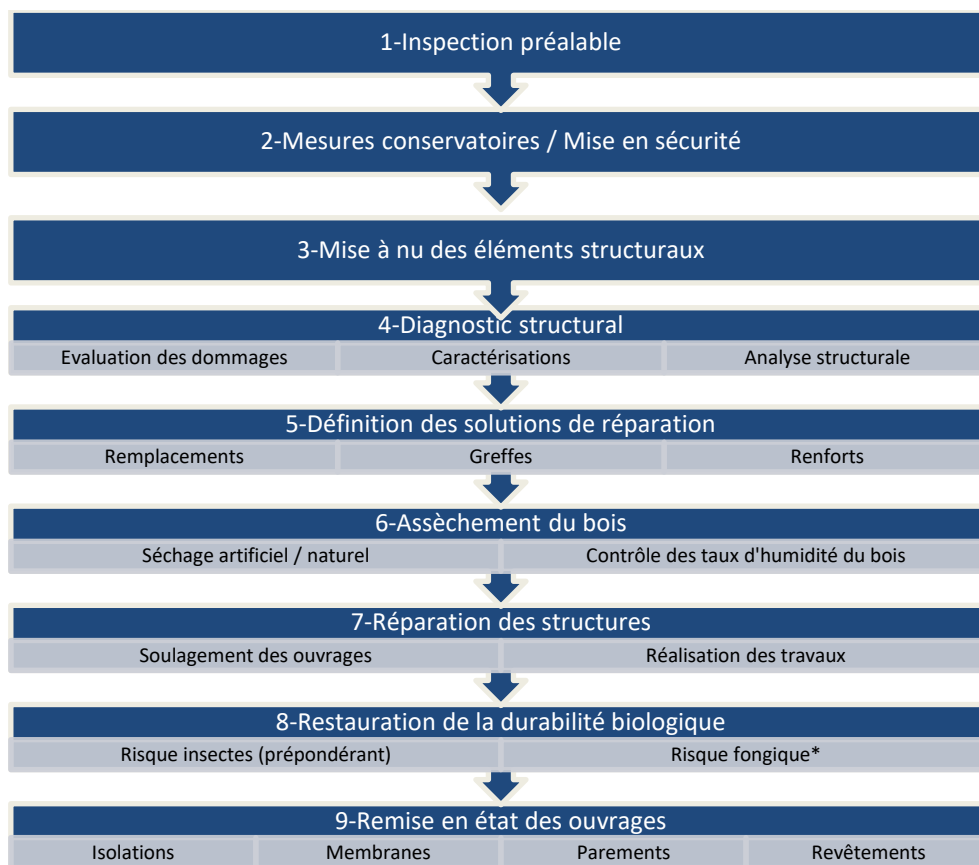
Essais et analyses en laboratoire

Des essais et analyses en laboratoire à partir d'échantillons prélevés sur site peuvent apporter des informations nécessaires pour l'établissement du diagnostic et la définition des solutions de réhabilitation, notamment :

- l'identification de l'essence de bois ;
- l'identification des agents de dégradation biologique, pour définir les solutions de traitement appropriées ;
- la recherche de traitement de préservation par analyse chimique pour vérifier le niveau de rétention en matières actives dans l'élément bois ;
- la réalisation de mesures de taux d'humidité du bois par dessiccation suivant la norme NF EN 13183-1 ou suivant la norme NF EN 322 pour les panneaux à base de bois ;
- la réalisation d'essais de vérification de performance ou de caractérisation physique ou mécanique, tels que par exemple :
 - essais de flexion sur bois de structure et bois lamellé-collé suivant NF EN 408 ;
 - essais de flexion sur panneau à base de bois suivant NF EN 310 ;
 - essais de résistance au cisaillement ou à la délamination des joints de collage :
 - sur des tronçons d'éléments bois lamellé-collé suivant EN 14080 ;
 - sur des échantillons de panneau bois massif lamellé-croisé prélevés par carottage suivant NF EN 16351.

2.4. DEMARCHE DE REHABILITATION

La démarche de réhabilitation d'ouvrages bois sinistrés par un dégât des eaux relève d'un processus méthodique et structuré schématisé par le logigramme ci-dessous.



*Dans certains cas de figure, non idéaux, l'assèchement se poursuit dans l'ouvrage après achèvement de la phase 7-Réparation des structures d'où une préconisation de protection anti fongique temporaire le temps d'un assèchement définitif.

Figure 4 Logigramme de démarche de réhabilitation

Mesures conservatoires

L'inspection préalable doit permettre d'identifier les parties d'ouvrage potentiellement affectées, d'apprécier les risques et de définir les éventuels confortements nécessaires.

La démarche de réhabilitation des ouvrages bois affectés par un sinistre dégât des eaux ne peut être engagée qu'après avoir clairement identifié la source de l'humidification et s'être assuré de son élimination.

Mise à nu des éléments structuraux

En premier lieu, il convient de déposer tous les revêtements, doublages, membranes ou films et les isolants recouvrant les éléments de structure bois afin de permettre au mieux leur assèchement.

Les éléments structuraux doivent être rendus accessibles afin de permettre leur examen et évaluer les dommages.

Assèchement

L'assèchement des ouvrages bois vise à réduire en tous points le taux d'humidité du bois à un niveau permettant de :

- supprimer le risque de développement fongique,
- maîtriser le comportement structural,
- réduire les variations dimensionnelles en service,
- respecter les conditions requises par les ouvrages de second œuvre auxquels ils sont associés le cas échéant.

Des valeurs recommandées de taux d'humidité du bois sont données dans les chapitres relatifs aux spécificités des différentes typologies d'ouvrages (§2.5 à 2.10) pour les travaux de réparation. La mise en œuvre des ouvrages de second œuvre peut nécessiter des taux d'humidité du bois inférieurs à ces valeurs recommandées.

Pour s'assurer de l'atteinte de l'objectif, des contrôles de taux d'humidité doivent être réalisés suivant des modalités adaptées à la nature et aux dimensions des éléments bois.

Le temps nécessaire de séchage d'un élément bois dépend des paramètres suivants :

- taux d'humidité du bois,
- massivité,
- conditions d'exposition des différentes surfaces de l'élément à l'air ambiant,
- maîtrise des conditions hygrothermiques de l'air ambiant, de circulation et de renouvellement de l'air, utilisation ou non de déshumidificateur.

Si un assèchement suffisant peut dans certains cas être obtenu en conditions ambiantes favorables, l'utilisation de déshumidificateur d'air équipé de système avec ventilation permettant d'abaisser l'humidité de l'air ambiant peut s'avérer nécessaire pour limiter les délais de séchage.

On utilise principalement deux types d'appareils :

- déshumidificateur à condensation,
- déshumidificateur à adsorption.

Le séchage par condensation consiste à aspirer l'air humide pour le faire passer à travers une surface froide. L'air est refroidi en dessous du point de rosée pour provoquer la condensation de l'eau qui s'écoule dans un réservoir. L'air ainsi asséché est ensuite réchauffé en passant à travers un condenseur avant d'être rejeté dans l'air ambiant.

Domaine d'utilisation : Température 15 – 30°C / Humidité relative de l'air : 40 – 99%	
Avantages :	Inconvénients :
- Technologie simple, appareils robustes à cout modéré - Rendement élevé, consommation d'énergie réduite	- L'eau de condensation doit être évacuée - Très peu d'assèchement à faible température (<10°C) - Surchauffe à température >30°C

Tableau 2 Principales caractéristiques du séchage par condensation

Le séchage par adsorption consiste à aspirer l'air humide pour le faire passer à travers un rotor contenant un matériau à fort pouvoir adsorbant tel que le gel de silice. L'air déshumidifié est renvoyé dans la pièce. Un flux d'air chaud de régénération permet d'évacuer par vaporisation l'eau adsorbée dans le rotor dessiccant. L'air saturé est acheminé en dehors de la pièce.

Domaine d'utilisation : Température 0 – 30°C / Humidité relative de l'air : 5 – 99%	
Avantages :	Inconvénients :
- Fonctionne à basse température - Permet d'atteindre un taux d'humidité relative très faible	- Forte consommation d'énergie - Risque de séchage excessif pouvant provoquer des fentes dans le bois - L'air humide doit être évacué de la pièce et une alimentation en air est nécessaire

Tableau 3 Principales caractéristiques du séchage par adsorption

Dans tous les cas, le séchage ne doit pas être trop brusque afin de ne pas générer de gradient d'humidité trop important entre la surface et le cœur du bois.

D'une part, cela est susceptible de provoquer l'apparition de fentes. D'autre part, cela peut s'avérer contre-productif, lorsque la couche extérieure, trop sèche, rend plus difficile l'évacuation de l'humidité à cœur en interrompant le phénomène de capillarité.

Il faut donc privilégier un séchage progressif au cours duquel on veillera à limiter le rapport entre le taux d'humidité du bois à cœur et en surface à une valeur inférieure ou égale à 3.

Exemple :

- Taux d'humidité du bois à cœur : 30 %
- Taux d'humidité minimal du bois en surface : $30\%/3 = 10\%$.

Les courbes d'équilibre hygroscopique du bois (cf. §2.2) permettent de définir les conditions hygrothermiques d'air ambiant assurant un taux d'humidité du bois supérieur ou égal à 10%.

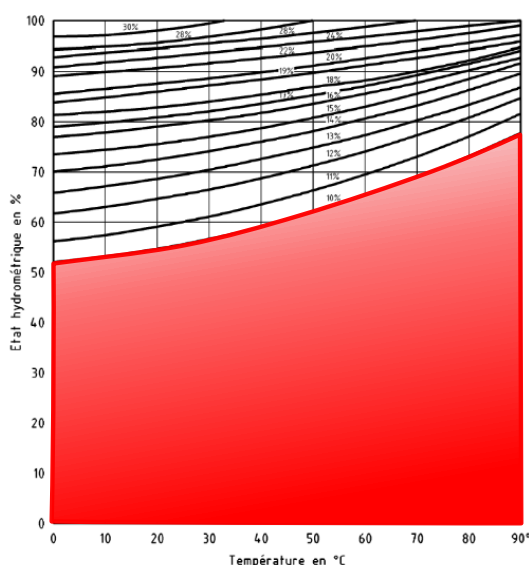


Figure 5 Courbes d'équilibre hygroscopique et conditions hygrothermiques d'air ambiant assurant un taux d'humidité du bois supérieur ou égal à 10%

Réparation des ouvrages endommagés

La définition des travaux de réparation s'appuie nécessairement sur un diagnostic structural. Pour la conduite de cette mission, on se référera au guide pratique [Codifab « Diagnostic solidité des structures bois des bâtiments – recommandations »](#) qui fournit un cadrage à la fois technique, méthodologique et juridique.

Le recueil des données disponibles et les investigations sur site et en laboratoire, le cas échéant, doivent permettre de disposer des informations nécessaires à l'analyse, telles que :

- constitution des ouvrages,
- caractérisation mécanique des éléments de structures,
- inventaire des désordres et évaluation des dommages.

Le fonctionnement de la structure et le comportement de ses différents éléments constitutifs sont analysés afin d'identifier les différentes parties d'ouvrage défaillantes ou présentant un risque de défaillance ou de déformabilité excessive.

Outre l'aspect mécanique, le choix des solutions de réparation doit également prendre en compte :

- l'apparence des ouvrages, dans le cas où ceux-ci se situent en intérieur visible et/ou présentent un caractère patrimonial, en privilégiant des techniques discrètes s'intégrant le mieux possible à l'existant ;
- les possibilités d'intervention, en fonction notamment des contraintes d'accès, de l'occupation des locaux et des délais impartis pour la réalisation des travaux ;
- la durabilité biologique, en choisissant des solutions compatibles avec la classe d'emploi et en veillant à respecter les exigences réglementaires relatives à la protection contre les termites et insectes xylophages ;
- les exigences de résistance au feu, pouvant par exemple nécessiter l'ajout de protections.

Les principales techniques de réparation des ouvrages bois sont décrites au §5.

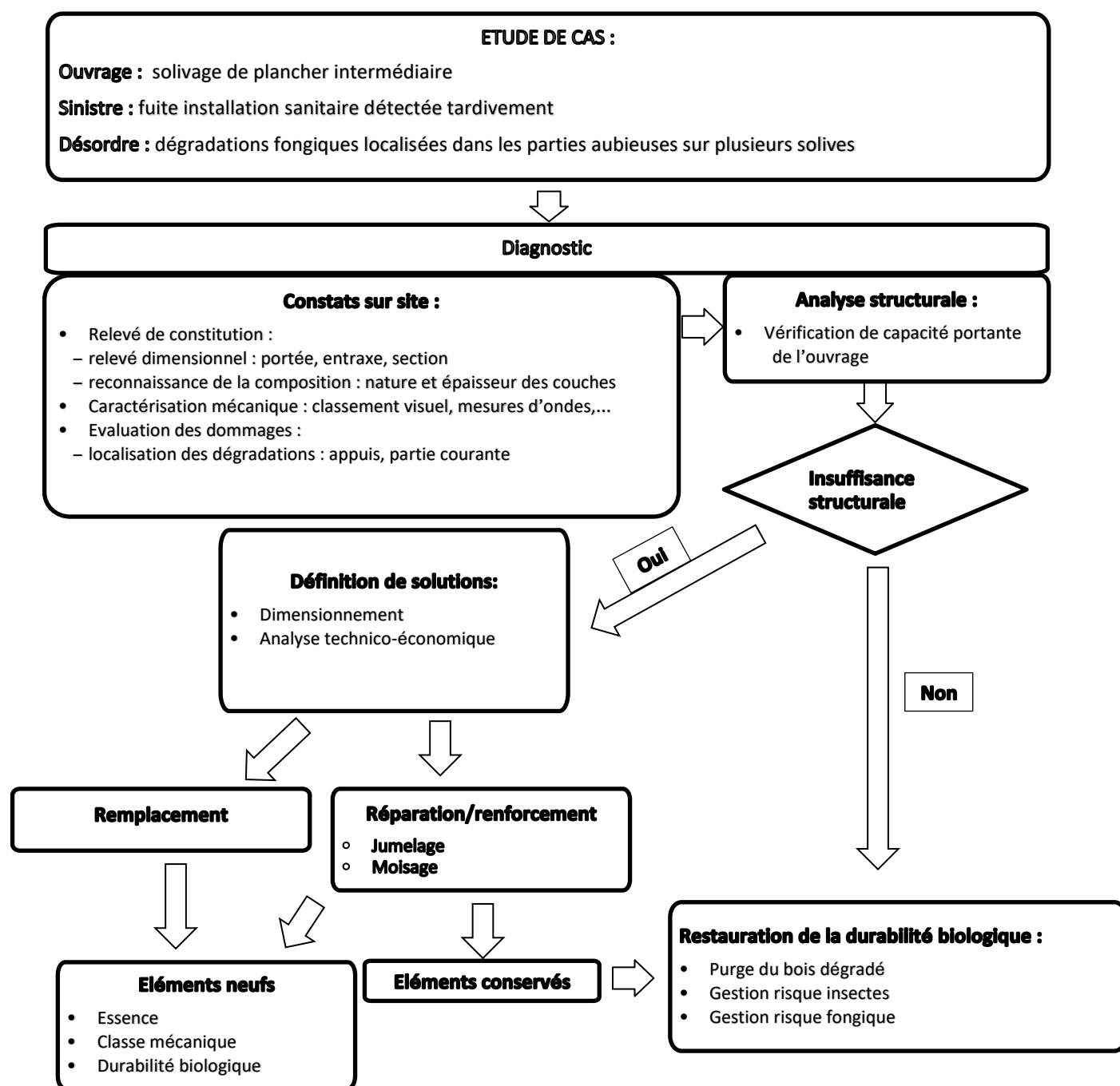


Figure 6 Logigramme étude de cas – diagnostic / définition de solutions

Restauration de la durabilité biologique

Le risque insectes est prépondérant dans la vie en œuvre de l'ouvrage, le risque fongique ne peut apparaître qu'en cas de sur-humidification anormale pour des ouvrages protégés des intempéries.

- Risque insectes

L'application d'un traitement de préservation peut s'avérer nécessaire :

- en curatif, pour lutter contre une infestation d'insectes xylophages

- en préventif, pour restaurer une protection dégradée par le lessivage des produits de traitement initialement présents, sous l'effet d'une exposition à l'eau prolongée ;
- pour respecter les exigences réglementaires relatives à la protection des bâtiments contre les termites et autres insectes xylophages conformément au décret n°2006-591 du 23 mai 2006 et à l'arrêté du 27 juin 2006 modifié notamment en 2014. Ces dispositions sont désormais intégrées au Code de la construction et de l'habitation dans sa rédaction issue de la recodification opérée par le décret n°2021-872 du 30 juin 2021.
 - Pour les termites, ces exigences s'appliquent dans les zones délimitées par arrêté préfectoral.
 - Pour les autres insectes xylophages (capricornes, vrillettes, etc.), les exigences s'appliquent de manière générale sur l'ensemble des constructions, sans restriction territoriale.

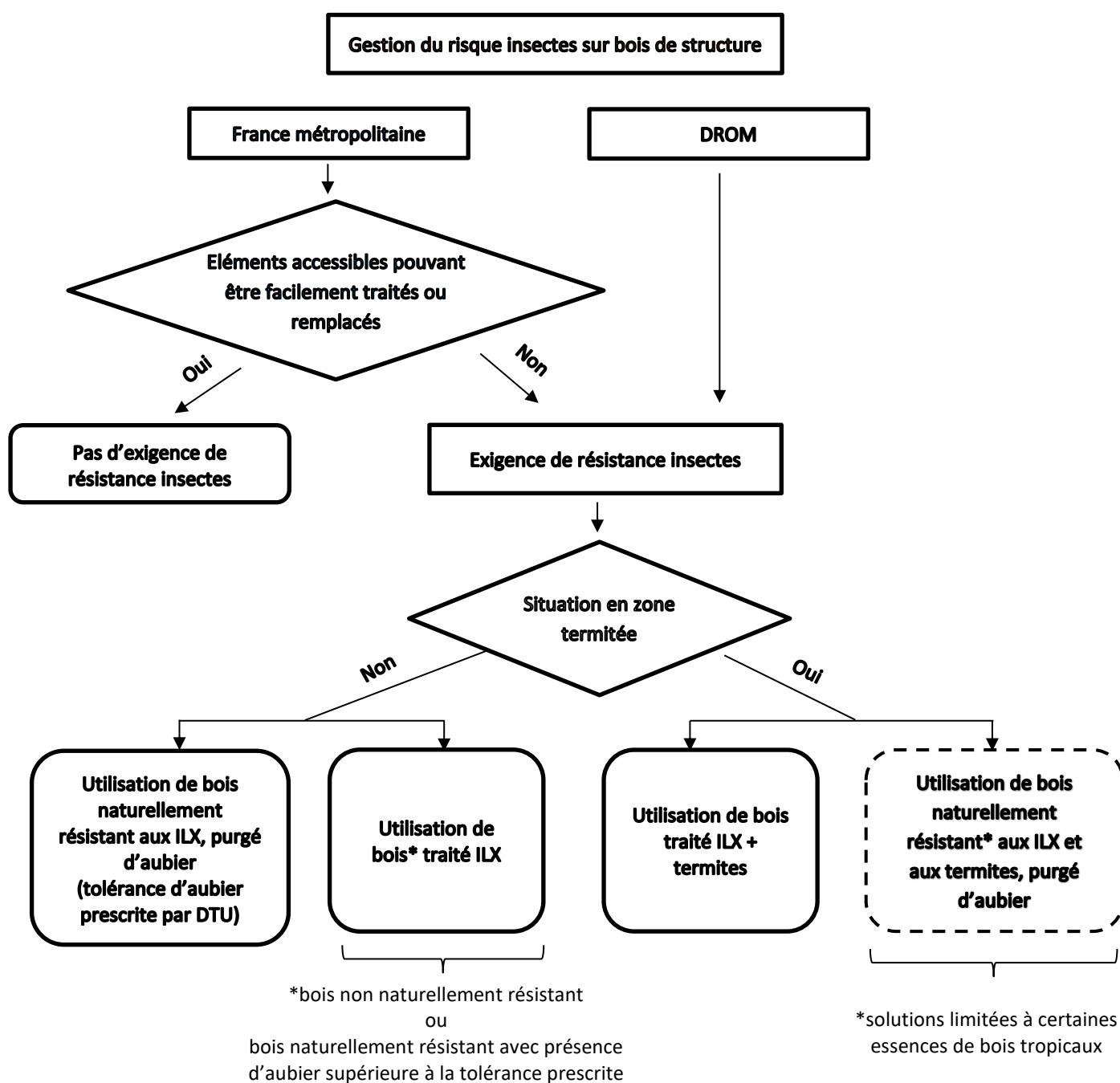


Figure 7 Logigramme de gestion du risque insectes

Il est recommandé pour ces travaux de faire appel à une entreprise spécialisée titulaire de la certification de services CTB A+.

▪ Risque fongique

Contrairement aux ouvrages neufs pour lesquels les DTU requièrent systématiquement une compatibilité avec la classe d'emploi 2 afin de prendre en compte les risques d'exposition à l'eau en phase chantier, ces derniers ne sont pas à considérer s'agissant d'ouvrages existants intégrés au clos et couvert.

L'application d'un traitement préventif de préservation vis-à-vis du risque fongique est nécessaire si l'assèchement des structures bois ne peut être atteint rapidement et que le bois demeure à un taux d'humidité propice au développement de champignons (taux d'humidité >20%). Ce traitement ne pourra en aucun cas assurer une protection pérenne si les ouvrages restent soumis à une humidification excessive prolongée sur une période de plusieurs mois.

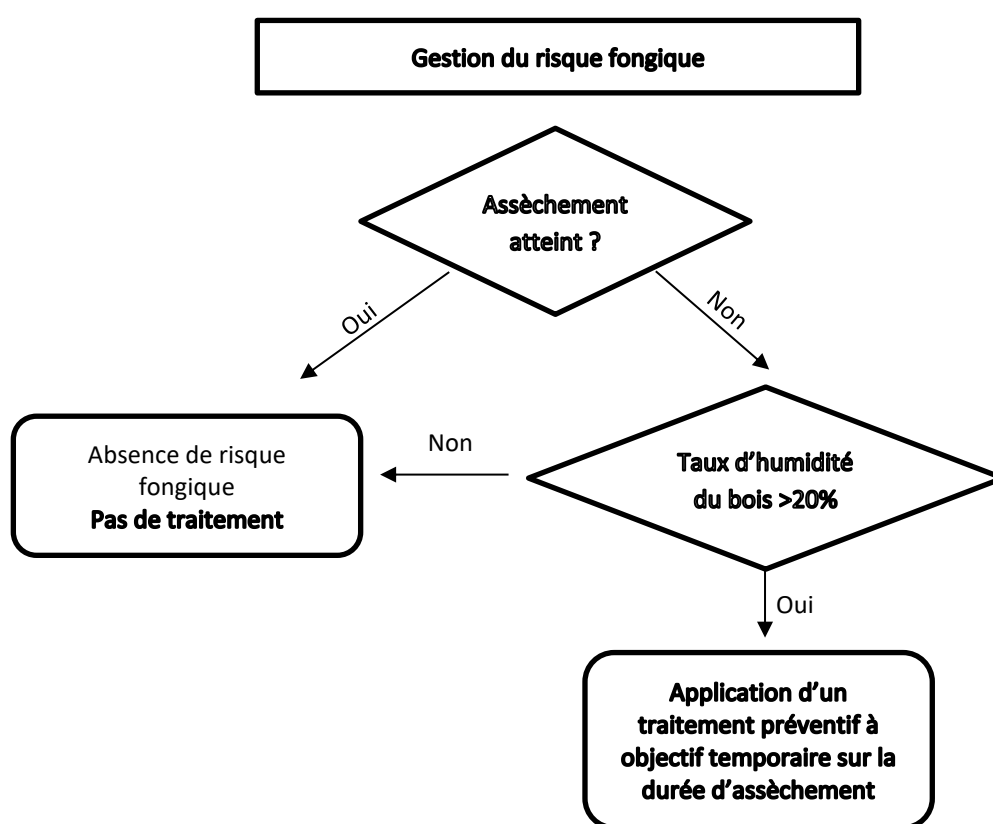


Figure 8 Logigramme de gestion du risque fongique

Réhabilitation des ouvrages

Au-delà des aspects solidité et durabilité, il convient de s'assurer du rétablissement des différentes performances auxquelles doivent répondre les parties d'ouvrages réhabilitées, notamment :

- sécurité incendie,
- performance thermique,
- performance acoustique.

Pour définir des solutions répondant à des niveaux d'exigence déterminés, on pourra utilement se référer au configurateur de solutions par critères, pour chaque partie d'ouvrage, disponible sur le site Catalogue Bois Construction (<https://catalogue-bois-construction.fr>).

La mise en œuvre des ouvrages associés aux structures pour la protection incendie, l'isolation thermique, acoustique, l'étanchéité à l'air et la barrière à la diffusion de vapeur d'eau devra être réalisée conformément aux prescriptions des DTU des ouvrages correspondants ou des avis techniques.

Il en est de même pour la réfection des différents ouvrages de couverture, étanchéité, revêtements extérieurs et intérieurs.

2.5. SPECIFICITES CHARPENTES

Les dégâts des eaux affectant les charpentes proviennent le plus souvent :

- d'infiltrations d'eau liées à des défauts de la couverture , en particulier au droit des liaisons entre versants (faitages, noues, arêtières) ou entre versants et murs, rives et au droit de points singuliers ;
- d'infiltrations d'eau dans la maçonnerie au droit des appuis ;
- de condensations dans les combles ;
- de fuites d'équipement.

Charpentes traditionnelles

Les charpentes traditionnelles se composent de fermes espacées de plusieurs mètres, constituées de pièces en bois massif de forte section liés entre elles par des assemblages avec entailles maintenus par des chevilles et des boulons, supportant pannes et chevrons ou de chevrons porteurs. Elles sont visées par le NF DTU 31.1.

- Mise à nu des éléments structuraux :

Il est nécessaire de déposer le parement intérieur, le pare-vapeur et l'isolation sous rampant

- Assèchement :

- Situation en classe de service 1 : $7 < H_{\text{équilibre}} \leq 13\%$ (comble aménagé)

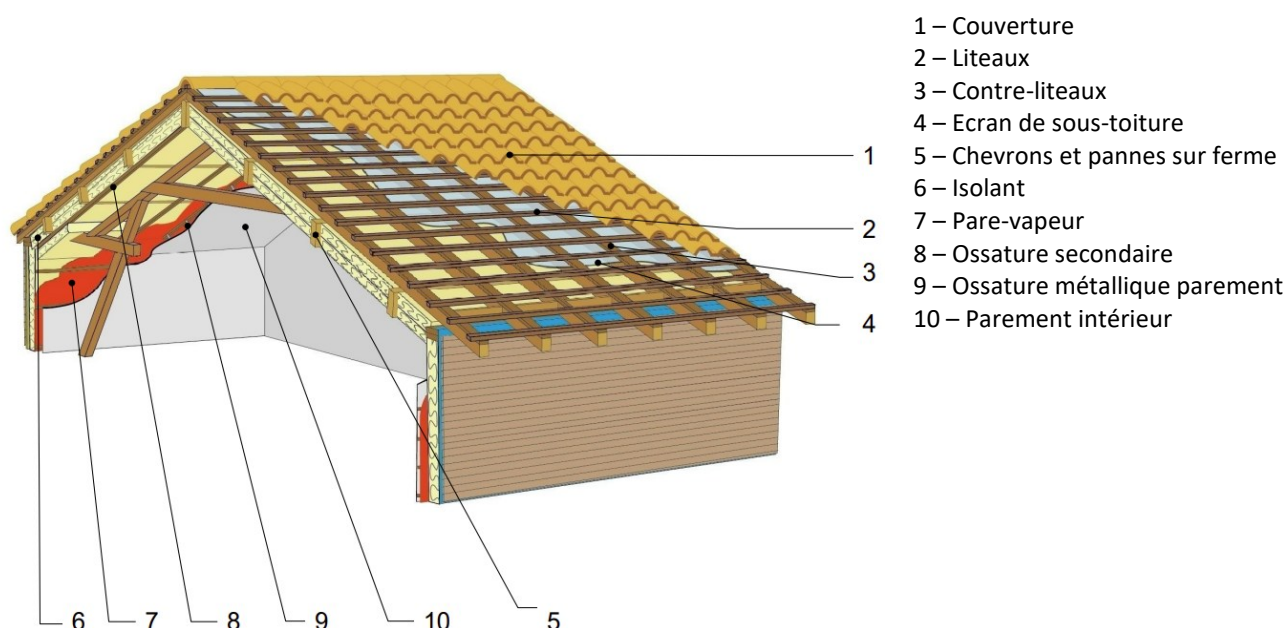


Figure 9 Charpente traditionnelle comble aménagé (extrait catalogue bois construction)

Plages d'humidité :

Travaux de réparation/traitement	
Taux d'humidité moyen visé	Taux d'humidité maxi localement
10%	15%

Tableau 4 Valeurs recommandées de taux d'humidité du bois - classe de service 1

- Situation en classe de service 2 : $13 < H_{\text{équilibre}} \leq 20\%$ (comble perdu)

Plages d'humidité :

Travaux de réparation/traitement	
Taux d'humidité moyen visé	Taux d'humidité maxi localement
15%	20%

Tableau 5 Valeurs recommandées de taux d'humidité du bois - classe de service 2

■ Diagnostic

- Les sections des pièces de charpente traditionnelle sont souvent surdimensionnées, en particulier dans l'ancien, donc pas significativement affectées par des altérations biologiques peu profondes.
- Les appuis engravés dans les murs en maçonnerie requièrent une attention particulière. Des sondages au résistographe peuvent permettre d'évaluer l'état du bois dans ces zones.
- Les assemblages par entailles constituent des lieux privilégiés de piégeage d'eau propice au développement fongique.

■ Réparations

- Des dispositifs d'étalement conséquents sont nécessaires pour reprendre les charges importantes qui descendent sur les éléments structuraux à réparer.

- Les pièces massives se prêtent bien aux différentes techniques de réparation par greffes ou adjonction d'éléments de renfort (cf. §5).
- Les assemblages peuvent être renforcés à l'aide d'organes métalliques de type tiges (vis, boulons) ou par des goussets en panneaux à base de bois fixés par pointes ou vis sur les faces latérales des éléments assemblés.

Charpentes industrialisées

Les charpentes industrialisées se composent de fermes triangulées faiblement espacées constituées de pièces en bois massif de faible section assemblées par des connecteurs à plaques métalliques embouties ou par goussets à base de bois. Elles sont visées par le NF DTU 31.3.

▪ Mise à nu des éléments structuraux :

Il est nécessaire de déposer le parement intérieur, le pare-vapeur et l'isolation.

▪ Assèchement :

- Situation en classe de service 1 : $7 < H_{\text{équilibre}} \leq 13\%$ (comble aménagé)

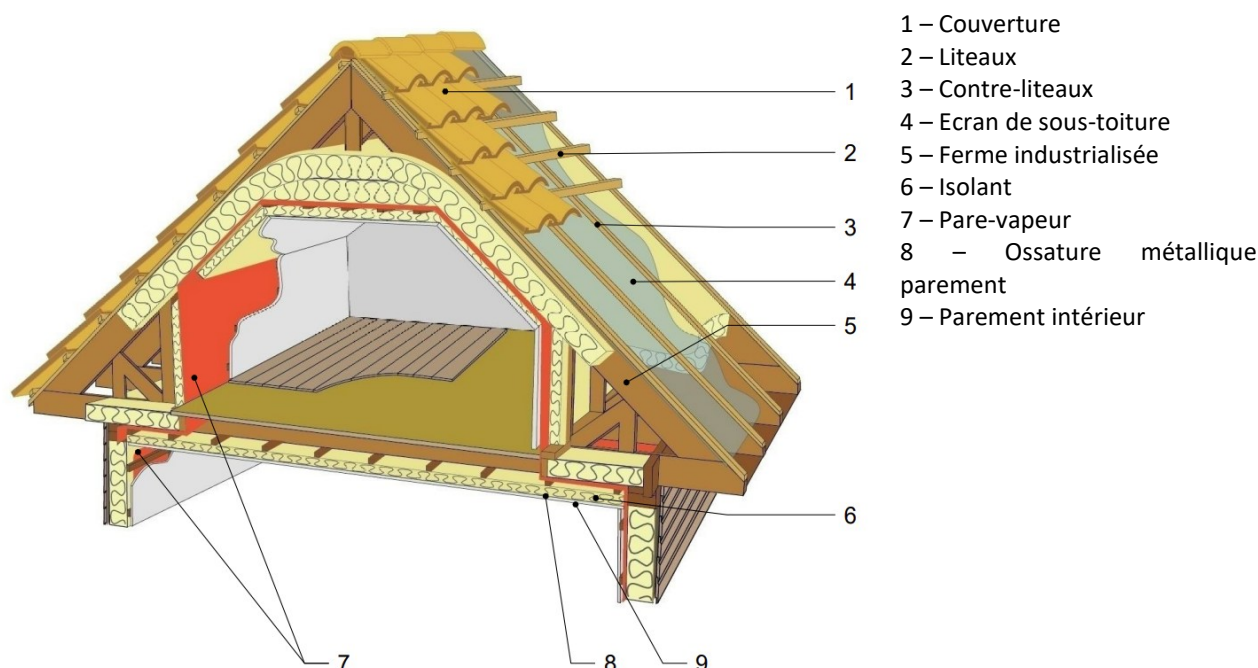


Figure 10 Charpente industrialisée comble aménagé (extrait catalogue bois construction)

Plages d'humidité :

Travaux de réparation/traitement	
Taux d'humidité moyen visé	Taux d'humidité maxi localement
10%	15%

Tableau 6 Valeurs recommandées de taux d'humidité du bois - classe de service 1

- Situation en classe de service 2 : $13 < H_{\text{équilibre}} \leq 20\%$ (comble perdu)

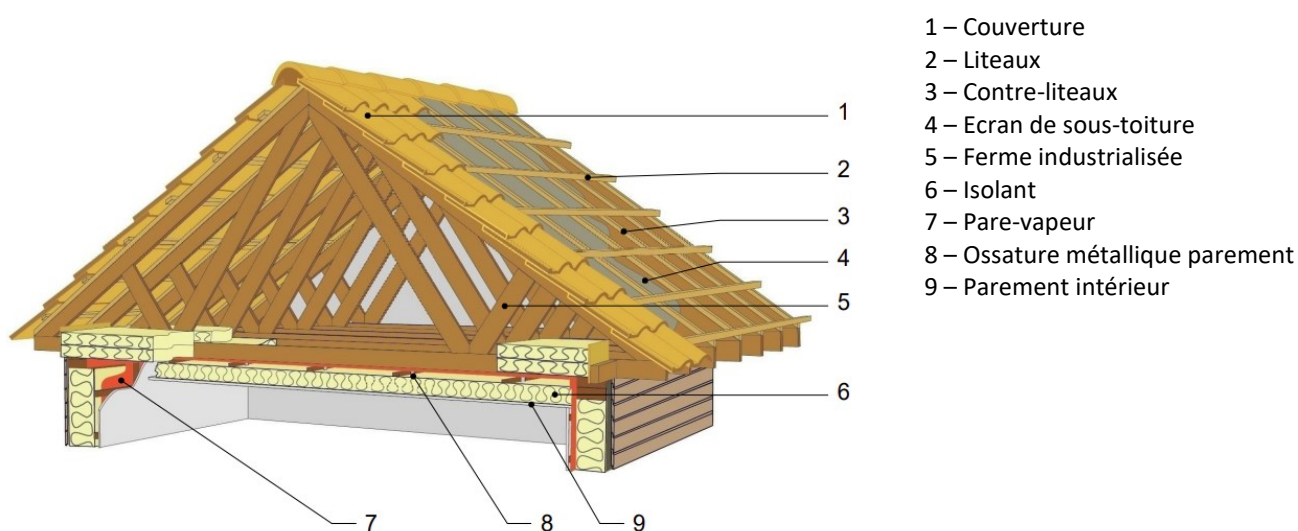


Figure 11 Charpente industrialisée comble perdu (extrait catalogue bois construction)

Plages d'humidité :

Travaux de réparation/traitement	
Taux d'humidité moyen visé	Taux d'humidité maxi localement
15%	20%

Tableau 7 Valeurs recommandées de taux d'humidité du bois - classe de service 2

■ Diagnostic

- Compte tenu des faibles dimensions de section transversale, toute altération par des agents de dégradation biologique est susceptible d'affaiblir significativement les éléments constitutifs de la fermette.
- L'humidification généralisée de la charpente entraîne un risque de déformation accrue avec le phénomène de fluage.
- D'importantes variations d'humidité du bois peuvent provoquer un déchaussement des plaques métalliques embouties
- L'exposition des connecteurs métalliques à une humidification persistante favorise le risque de corrosion.

■ Réparations

- Dans le cas de dégradation localisée :
 - Les pièces défectueuses peuvent être renforcées par l'adjonction de pièces de renfort en faces latérales ou en sous-face assemblées à l'existant par organes de fixation.
 - Les assemblages peuvent être renforcés à l'aide de goussets en panneaux à base de bois ou de plaques métalliques clouées
- Dans le cas de dégradations étendues, un remplacement des fermes est généralement à privilégier.

2.6. SPECIFICITES TOITURES-TERRASSES

Les dégâts des eaux affectant les toitures-terrasses résultent le plus souvent :

- d’infiltrations d’eau liées à des défauts d’étanchéité en partie courante ou au droit de points singuliers tels que :
 - relevés d’étanchéité,
 - pénétrations,
 - évacuations d’eau.
- de phénomènes de condensation dus à des défauts de conception ou de mise en œuvre du complexe d’isolation et barrière de diffusion à la vapeur d’eau.

La présence de couches superposées (parement de plafond, pare-vapeur, isolant thermiques) favorise le développement caché de l’humidification, difficile à détecter.

Eléments porteurs en bois ou panneaux à base de bois

Les toitures terrasses constituées d’éléments porteurs en bois ou panneaux à base de bois fixés sur un solivage de manière à former un platelage continu support du complexe d’étanchéité sont visées par le NF DTU 43.4 qui distingue :

- les toitures froides où le platelage bois est ventilé en sous-face, toute l’isolation thermique se trouvant sous la lame d’air ;
- les toitures chaudes où le platelage bois, non ventilé en sous-face, est surmonté du pare-vapeur et de l’isolation rapportée (toiture chaude isolée) et du complexe d’étanchéité.

Un complément d’isolation en sous-face du platelage peut être disposé entre solives ou sous celles-ci, suivant les recommandations professionnelles RAGE « Isolation thermique des sous-faces des toitures à élément porteur en bois ».

Ces toitures peuvent être composées d’éléments préfabriqués de type caissons visés par le NF DTU 31.2.

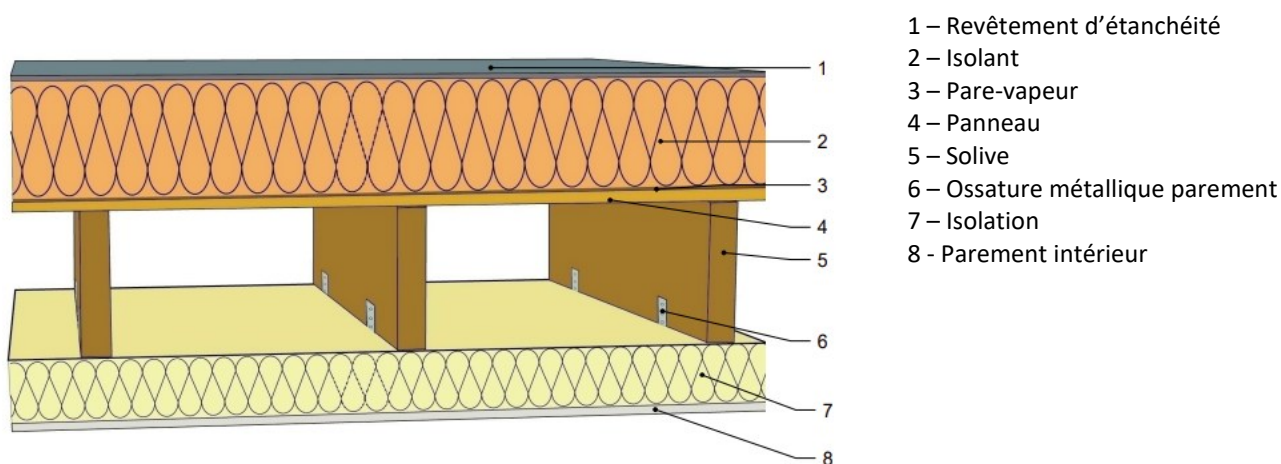


Figure 12 Toiture terrasse chaude isolée avec complément d’isolation en sous-face (extrait Catalogue Bois Construction)

- Mise à nu des éléments structuraux :

Il est nécessaire de déposer le parement intérieur, le pare-vapeur et l’isolation.

- Assèchement :

- Situation en classe de service 2 uniquement : $13 < H_{\text{équilibre}} \leq 20\%$

Plages d'humidité :

	Travaux de réparation/traitement	
	Taux d'humidité moyen visé	Taux d'humidité maxi localement
Solives	15%	20%
Panneaux	12%	15%

Tableau 8 Valeurs recommandées de taux d'humidité du bois - classe de service 2

- Diagnostic
 - La vérification de l'aptitude à l'usage des panneaux peut être menée, en fonction de la variation d'épaisseur produite par l'humidification, suivant les prescriptions du §2.3.
- Réparations
 - Lorsque le toit terrasse assure la fonction diaphragme, des dispositions doivent être prises lors des opérations de dépose / remplacement des panneaux tels qu'un phasage alterné ou l'ajout d'éléments de confortement provisoires, afin d'assurer la stabilisation.

Panneaux massifs bois lamellé-croisé

Ces toitures sont constituées d'éléments porteurs en panneaux massifs bois lamellé-croisé ou de caissons nervurés à base de panneaux bois lamellé-croisé, assemblés entre eux pour former un platelage continu support du complexe d'étanchéité. Elles sont visées par le Cahier des Prescriptions Techniques (cahier CSTB 3814) pour les procédés sous Avis Techniques, qui distingue :

- les toitures froides non isolées sur bâtiments ouverts non chauffés ;
- les toitures chaudes où les panneaux bois, pouvant recevoir un plafond à fonction acoustique en sous-face, sont surmontés :
 - soit du pare-vapeur, de l'isolation rapportée et du complexe d'étanchéité ;
 - soit dans le cas d'isolation inversée, du revêtement d'étanchéité, de l'isolation rapportée et de la protection.

- Mise à nu des éléments structuraux :

Il est nécessaire de déposer le parement intérieur et l'isolation éventuels.

- Assèchement :

- Situation en classe de service 2 uniquement : $13 < H_{\text{équilibre}} \leq 20\%$

Plages d'humidité :

Travaux de réparation/traitement	
Taux d'humidité moyen visé	Taux d'humidité maxi localement
15%	20%

Tableau 9 Valeurs recommandées de taux d'humidité du bois - classe de service 2

- Diagnostic
 - Des sondages au résistographe permettent d'évaluer d'éventuelles dégradations ou des décollements entre plis.
 - En cas de doute ou si le panneau est excessivement humidifié (moyenne >20% ou valeur individuelle >25%), une vérification de la résistance des plans de collage doit être menée par des essais en laboratoire de résistance au cisaillement ou de délamination suivant EN 16351 sur des échantillons prélevés par carottage.
- Réparations
 - Un renforcement des plans de collage par vis est potentiellement envisageable après justification par étude structurale.
 - Les dégradations localisées peuvent être réparées par la technique de greffe.
 - Dans le cas de dégradation massive et étendue, le remplacement des panneaux constitue généralement la solution la plus adaptée.

2.7. SPECIFICITES STRUCTURES POTEaux-POUTRES

Les structures poteaux-poutres sont composées d'éléments linéaire en bois massif ou recomposé de forte section espacés de plusieurs mètres, formant le squelette de la construction. Elles sont visées par le NF DTU 31.1.

- Assèchement :
 - Situation en classe de service 1 : $7 < H_{\text{équilibre}} \leq 13\%$ (volume intérieur chauffé)

Plages d'humidité :

Travaux de réparation/traitement	
Taux d'humidité moyen visé	Taux d'humidité maxi localement
10%	15%

Tableau 10 Valeurs recommandées de taux d'humidité du bois - classe de service 1

- Situation en classe de service 2 : $13 < H_{\text{équilibre}} \leq 20\%$ (façade, toiture)

Plages d'humidité :

Travaux de réparation/traitement	
Taux d'humidité moyen visé	Taux d'humidité maxi localement
15%	20%

Tableau 11 Valeurs recommandées de taux d'humidité du bois - classe de service 2

- Diagnostic
 - L'humidification est généralement accrue en pieds de poteaux en raison de l'accumulation gravitaire de l'eau, des phénomènes de capillarité du bois et du séchage lent des zones basses peu ventilées.
 - Les assemblages par entailles constituent des lieux privilégiés de piégeage d'eau favorisant le développement fongique.

■ Réparations

- Les sections massives des porteurs principaux se prêtent bien aux différentes techniques de réparation par greffes ou adjonction d'éléments de renfort (cf. §5)

2.8. SPECIFICITES PLANCHERS INTERMEDIAIRES

Les dégâts des eaux affectant les planchers intermédiaires résultent généralement de fuites d'eau dues à la rupture de canalisations, de débordements ou de défauts d'étanchéité des pourtours des installations sanitaires.

Panneaux ou lames sur solivages

Les planchers intermédiaires constitués de lames en bois massif ou panneaux à base de bois fixés sur un solivage de manière à former le platelage de plancher sont visés par le NF DTU 51.3. Les spécifications relatives au solivage et à la fonction diaphragme relèvent du NF DTU 31.1.

Ces planchers peuvent être composés d'éléments préfabriqués de type caissons visés par le NF DTU 31.2.

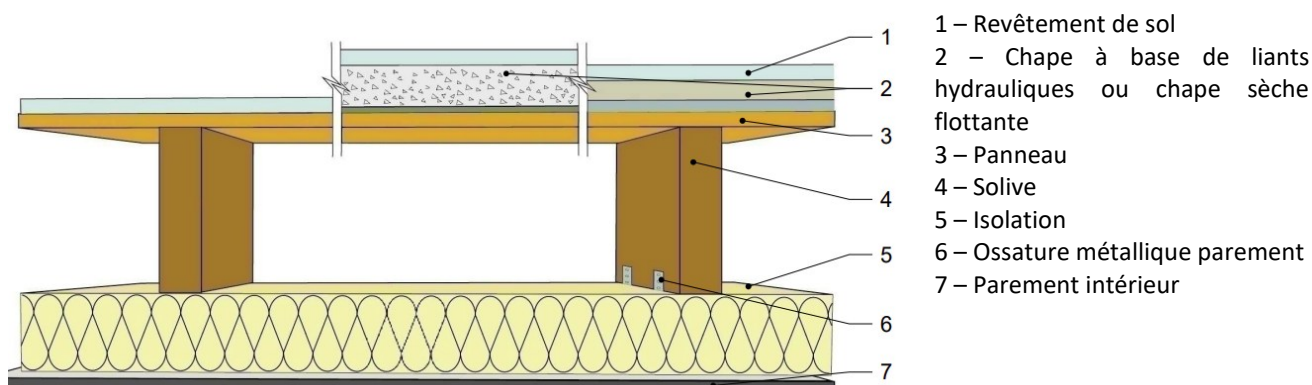


Figure 13 Plancher intermédiaire par panneaux sur solivage bois (extrait Catalogue Bois Construction)

■ Mise à nu des éléments structuraux :

Il est nécessaire de déposer le parement de plafond, le pare-vapeur éventuel et l'isolation ainsi que le revêtement de sol si sol souple ou parquet sans chape à base de liants hydrauliques

■ Assèchement :

- Situation en classe de service 1 : $7 < H_{\text{équilibre}} \leq 13\%$ (planchers entre locaux chauffés)

Plages d'humidité :

	Travaux de réparation/traitement	
	Taux d'humidité moyen visé	Taux d'humidité maxi localement
Ossature	10%	15%
Panneaux	10%	12%

Tableau 12 Valeurs recommandées de taux d'humidité du bois - classe de service 1

- Situation en classe de service 2 : $13 < H_{\text{équilibre}} \leq 20\%$ (planchers entre locaux chauffés et non chauffés)

Plages d'humidité :

	Travaux de réparation/traitement	
	Taux d'humidité moyen visé	Taux d'humidité maxi localement
Ossature	15%	20%
Panneaux	12%	15%

Tableau 13 Valeurs recommandées de taux d'humidité du bois - classe de service 2

- Diagnostic
 - La vérification de l'aptitude à l'usage des panneaux peut être menée, en fonction de la variation d'épaisseur produite par l'humidification, suivant les prescriptions du §2.3.
- Réparations
 - Lorsque le plancher assure la fonction diaphragme, des dispositions doivent être prises lors des opérations de dépose / remplacement des panneaux : phasage alterné, ajout d'éléments de contreventements provisoires...
 - En alternative à la dépose/remplacement des panneaux, leur doublage peut être envisagé après assèchement à condition notamment que les surcroits de charge et d'altimétrie soient acceptables.

Panneaux massifs bois lamellé-croisé

Les planchers intermédiaires constitués de panneaux massifs bois lamellé-croisé ou de caissons nervurés à base de panneaux bois lamellé-croisé, assemblés entre eux pour former le platelage de plancher sont visés par le Cahier des Prescriptions Techniques (cahier CSTB 3802) pour les procédés sous Avis Techniques.

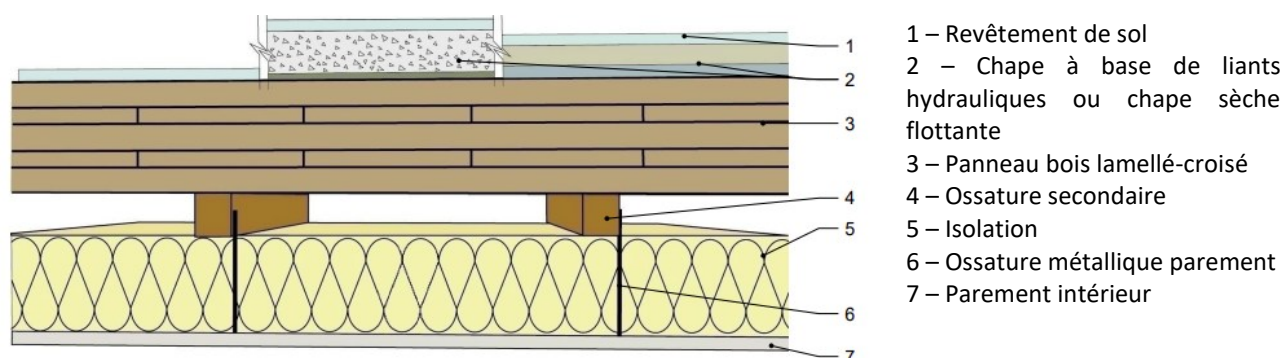


Figure 14 Plancher intermédiaire par panneaux massifs bois lamellé-croisé (extrait Catalogue Bois Construction)

- Mise à nu des éléments structuraux :

Il est nécessaire de déposer le parement de plafond, le pare-vapeur éventuel et l'isolation ainsi que le revêtement de sol si sol souple ou parquet sans chape à base de liants hydrauliques

▪ Assèchement :

- Situation en classe de service 1 : $7 < H_{\text{équilibre}} \leq 13\%$ (planchers entre locaux chauffés)

Plages d'humidité :

Travaux de réparation/traitement	
Taux d'humidité moyen visé	Taux d'humidité maxi localement
10%	15%

Tableau 14 Valeurs recommandées de taux d'humidité du bois - classe de service 1

- Situation en classe de service 2 : $13 < H_{\text{équilibre}} \leq 20\%$ (planchers entre locaux chauffés et non chauffés)

Plages d'humidité :

Travaux de réparation/traitement	
Taux d'humidité moyen visé	Taux d'humidité maxi localement
15%	20%

Tableau 15 Valeurs recommandées de taux d'humidité du bois - classe de service 2

▪ Diagnostic

- Si le panneau est excessivement humidifié (moyenne $>20\%$ ou valeur individuelle $>25\%$), une vérification de la résistance des plans de collage doit être menée par des essais en laboratoire de résistance au cisaillement ou de délamination suivant EN 16351 sur échantillons prélevés par carottage.

▪ Réparations

- Un renforcement des plans de collage par vis est potentiellement envisageable après justification par étude structurale
- Les dégradations localisées peuvent être réparées par la technique de greffe.
- Dans le cas de dégradation massive et étendue, le remplacement des panneaux constitue généralement la solution la plus adaptée.

2.9. SPECIFICITES MURS

Les dégâts des eaux affectant les murs peuvent résulter :

- d'infiltrations d'eau liées à des défauts d'étanchéité des murs extérieurs en partie courante, liés au complexe de revêtement extérieur (revêtement et pare-pluie) ou au droit de points singuliers, tels que :
 - défauts d'étanchéité de toiture ou couverture en tête de mur
 - défauts de traitement des jonctions avec les menuiseries
- d'une insuffisance ou absence de ventilation entre le mur et le bardage
- de phénomènes de condensation dus à des défauts de conception ou de mise en œuvre du complexe d'isolation et barrière de diffusion à la vapeur d'eau;
- de fuites d'eau ou débordements à l'intérieur du bâtiment ;

- d'inondations ;
- de remontées capillaires, liée à l'absence ou un défaut d'étanchéité de la barrière anti-capillarité entre le soubassement et le pied de mur.

Parois ossature bois

Les parois ossature bois sont composées d'une ossature constituée de montants verticaux espacés au maximum de 60 cm, de traverses horizontales basse et haute assemblées à chaque extrémité de montants et de panneaux à base de bois fixés sur l'ossature, d'un seul côté ou des deux, qui rigidifient les parois dans leur plan. On distingue :

- les murs ossature bois (MOB), visés par le NF DTU 31.2, qui peuvent assurer une fonction porteuse et de contreventement ;
- les façades ossature bois (FOB), visées par le NF DTU 31.4, qui n'assurent aucune fonction porteuse, ni de contreventement.

■ Mise à nu des éléments structuraux :

Il est nécessaire de déposer les parements intérieurs, le pare-vapeur éventuel et l'isolation.

■ Assèchement :

- Situation en classe de service 1 : $7 < H_{\text{équilibre}} \leq 13\%$ (murs intérieurs)

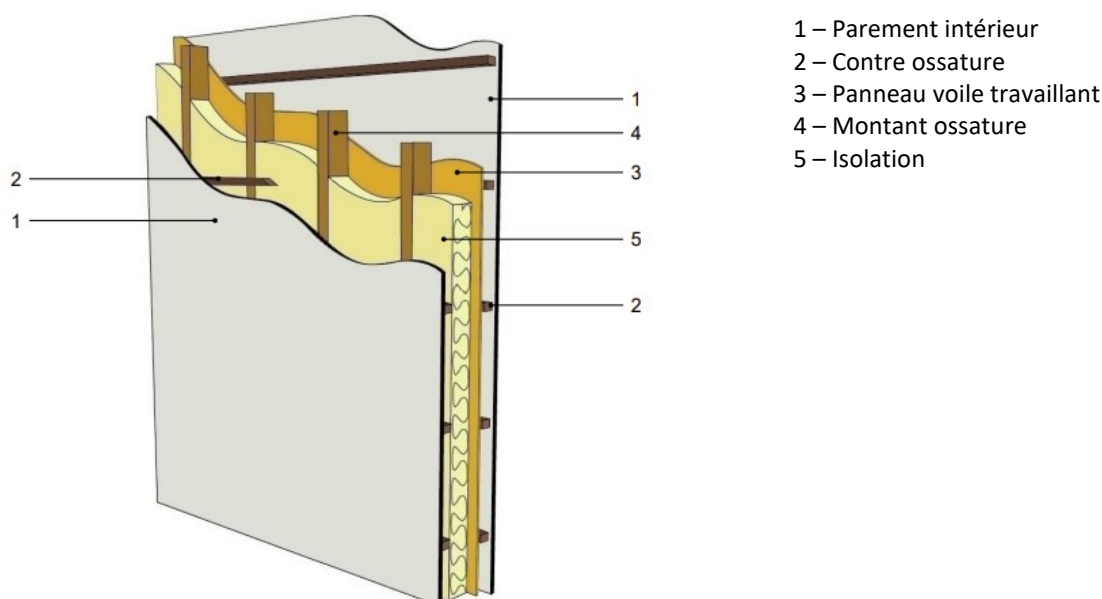


Figure 15 Mur intérieur Ossature Bois simple ossature (extrait Catalogue Bois Construction)

Plages d'humidité :

	Travaux de réparation/traitement	
	Taux d'humidité moyen visé	Taux d'humidité maxi localement
Ossature	10%	15%
Panneaux	10%	12%

Tableau 16 Valeurs recommandées de taux d'humidité du bois - classe de service 1

- Situation en classe de service 2 : $13 < H_{\text{équilibre}} \leq 20\%$ (murs extérieurs ou façades)

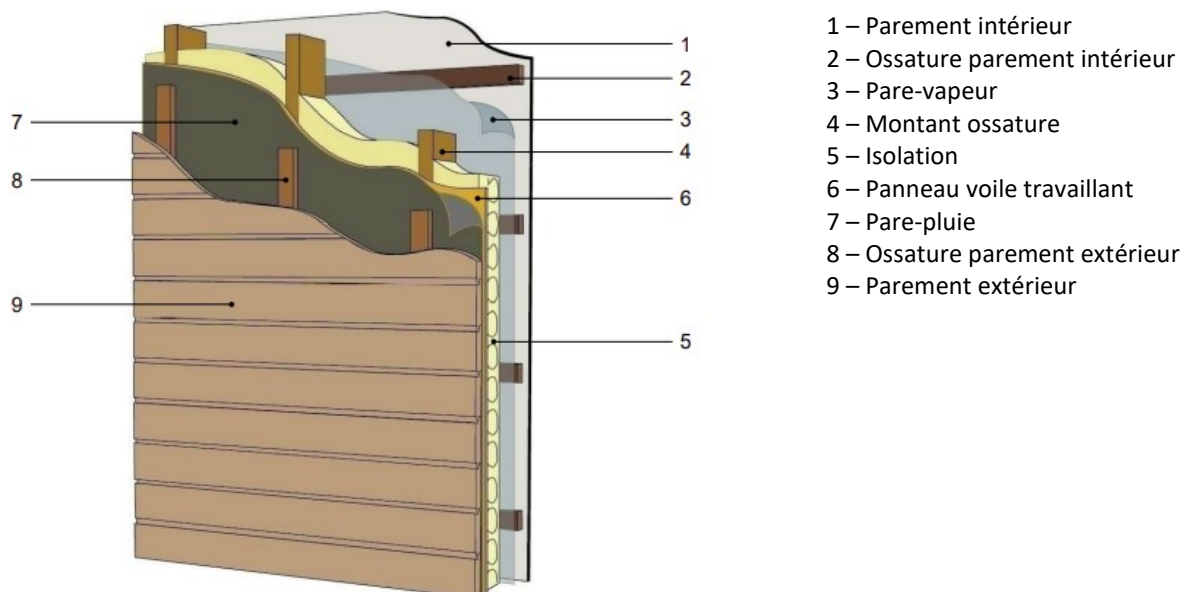


Figure 16 Mur extérieur Ossature Bois avec voile travaillant extérieur et isolant en âme
(extrait Catalogue Bois Construction)

Plages d'humidité :

	Travaux de réparation/traitement	
	Taux d'humidité moyen visé	Taux d'humidité maxi localement
Ossature	15%	20%
Panneaux	12%	15%

Tableau 17 Valeurs recommandées de taux d'humidité du bois - classe de service 2

■ Diagnostic

- L'humidification est généralement accrue en pied de paroi en raison de l'accumulation gravitaire de l'eau et affecte prioritairement les lisses et traverses basses, la base des montants et la partie basse des panneaux.
- Les encadrements de baies requièrent une attention particulière.
- La vérification de l'aptitude à l'usage des panneaux peut être menée, en fonction de la variation d'épaisseur produite par l'humidification, suivant les prescriptions du §2.3.

■ Réparations

- Le remplacement des éléments d'ossature endommagés est généralement à privilégier.
- Pour les murs assurant le contreventement, des dispositions doivent être prises lors des opérations de dépose / remplacement des panneaux défectueux, tels qu'un phasage alterné ou l'ajout d'éléments de confortement provisoires, afin d'assurer la stabilisation.
- En alternative à la dépose/remplacement des panneaux, le doublage des panneaux peut être envisagé après assèchement.

Panneaux bois lamellé-croisé

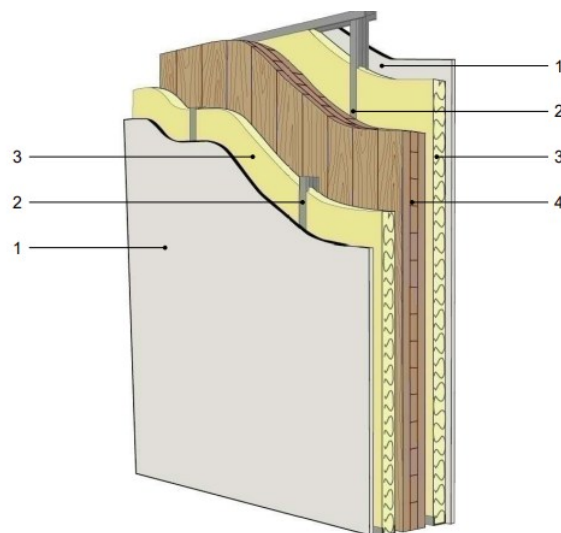
Les murs constitués de panneaux massifs bois lamellé-croisé, assemblés entre eux pour former un mur sont visés par le Cahier des Prescriptions Techniques (cahier CSTB 3802) pour les procédés sous Avis Techniques.

■ Mise à nu des éléments structuraux :

Il est nécessaire de déposer les parements intérieurs, le pare-vapeur éventuel et l'isolation.

■ Assèchement

- Situation en classe de service 1 : $7 < H_{\text{équilibre}} \leq 13\%$ (murs intérieurs)



- 1 – Parement intérieur
- 2 – Ossature parement
- 3 – Isolation
- 4 – Panneau bois lamellé-croisé

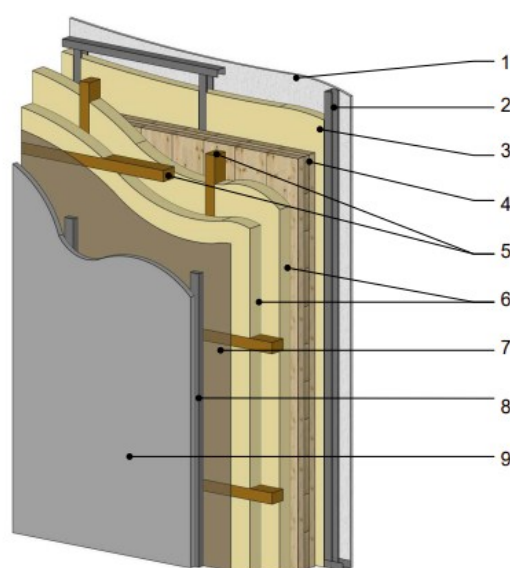
Figure 17 Mur intérieur panneau bois lamellé-croisé (extrait Catalogue Bois Construction)

Plages d'humidité :

Travaux de réparation/traitement	
Taux d'humidité moyen visé	Taux d'humidité maxi localement
10%	15%

Tableau 18 Valeurs recommandées de taux d'humidité du bois - classe de service 1

- Situation en classe de service 2 : $13 < H_{\text{équilibre}} \leq 20\%$ (murs extérieurs)



- 1 – Parement intérieur
- 2 – Ossature parement intérieur
- 3 – Complément d'isolation par l'intérieur
- 4 – Panneau bois lamellé-croisé
- 5 – Contre ossature extérieure
- 6 – Isolation
- 7 – Pare-pluie
- 8 – Ossature parement extérieur
- 9 – Parement extérieur

Figure 18 Mur extérieur panneau bois lamellé-croisé avec isolant extérieur (extrait Catalogue Bois Construction)

Plages d'humidité :

Travaux de réparation/traitement	
Taux d'humidité moyen visé	Taux d'humidité maxi localement
15%	20%

Tableau 19 Valeurs recommandées de taux d'humidité du bois - classe de service 2

- Diagnostic
 - L'humidification est généralement accrue en pied de paroi en raison de l'accumulation gravitaire de l'eau.
 - Des sondages au résistographe permettent d'évaluer d'éventuelles dégradations ou des décollements entre plis.
 - En cas de doute ou si le panneau est excessivement humidifié (moyenne $>20\%$ ou valeur individuelle $>25\%$), une vérification de la résistance des plans de collage doit être menée par des essais en laboratoire de résistance au cisaillement ou de délamination suivant EN 16351 sur des échantillons prélevés par carottage.
- Réparations
 - Les dégradations localisées peuvent être réparées par la technique de greffe.
 - Dans le cas de dégradation massive et étendue, le remplacement des panneaux constitue généralement la solution la plus adaptée.

2.10. SPECIFICITES PLANCHERS BAS SUR VIDE SANITAIRE

Les dégâts des eaux affectant les planchers bas sur vide sanitaire peuvent résulter :

- d’une insuffisance de ventilation du vide sanitaire (rappel : la surface minimale totale des orifices de ventilation doit être au minimum égale au 1/150ème de la superficie du plancher pour une bonne ventilation suivant le NF DTU 51.3);
- d’une hauteur insuffisante du vide sanitaire avec des éléments bois trop proches du sol (rappel : la hauteur de l’élément bois le plus bas doit être au minimum de 30 cm suivant le NF DTU 51.3) ;
- d’inondations ;
- de fuites d’eau dues à la rupture de canalisations, de débordements ou de défauts d’étanchéité des pourtours des installations sanitaires.

Panneaux ou lames sur solivages

Les planchers bas sur vide sanitaire constitués de lames en bois massif ou panneaux à base de bois fixés sur un solivage de manière à former le platelage de plancher sont visés par le NF DTU 51.3. Les spécifications relatives au solivage et à la fonction diaphragme relèvent du NF DTU 31.1.

Ces planchers peuvent être composés d’éléments préfabriqués de type caissons visés par le NF DTU 31.2.

■ Mise à nu des éléments structuraux :

Il est nécessaire de déposer la sous-face, l’isolation et le pare-vapeur ainsi que le revêtement de sol s’il s’agit d’un sol souple ou d’un parquet, en l’absence de chape à base de liants hydrauliques.

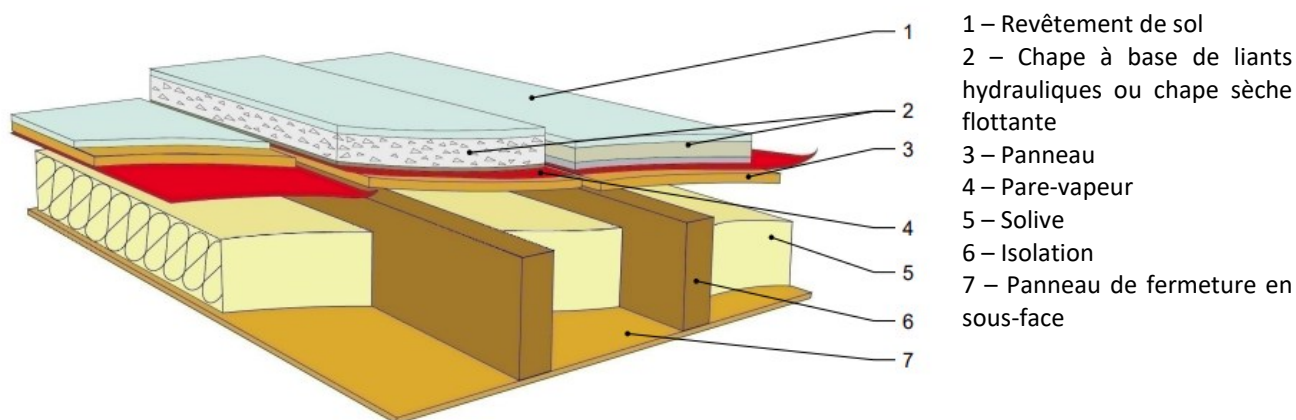


Figure 19 Plancher bas sur vide sanitaire par panneaux sur solivage bois avec sous-face continue
(extrait Catalogue Bois Construction)

▪ Assèchement :

Plages d'humidité :

	Travaux de réparation/traitement	
	Taux d'humidité moyen visé	Taux d'humidité maxi localement
Ossature	15%	20%
Panneaux	12%	15%

Tableau 20 Valeurs recommandées de taux d'humidité du bois - classe de service 2

▪ Diagnostic

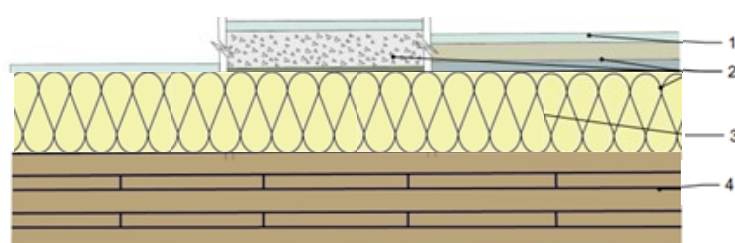
- La vérification de l'aptitude à l'usage des panneaux en fonction de l'épaisseur se fait suivant la méthode décrite au §2.3.

▪ Réparations

- Les éléments endommagés doivent être remplacés.

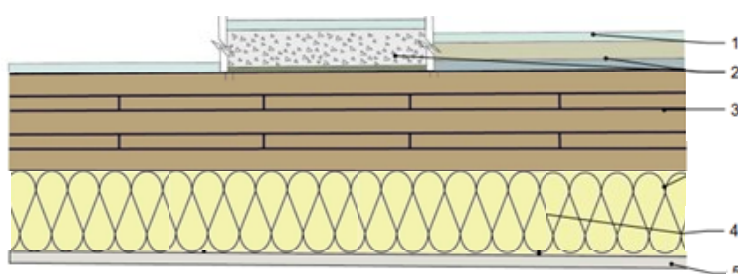
Panneaux massifs bois lamellé-croisé

Les planchers bas sur vide sanitaire en panneaux massifs bois lamellé-croisé peuvent être isolés par le dessus ou par le dessous.



- 1 – Revêtement de sol
- 2 – Chape à base de liants hydrauliques ou chape sèche flottante
- 3 – Isolation
- 4 – Panneau bois lamellé-croisé

Figure 20 Plancher bas sur vide sanitaire par panneaux bois lamellé-croisé avec isolation au-dessus des panneaux



- 1 – Revêtement de sol
- 2 – Chape à base de liants hydrauliques ou chape sèche flottante
- 3 – Panneau bois lamellé-croisé
- 4 – Isolation
- 5 – Panneau de fermeture en sous-face

Figure 21 Plancher bas sur vide sanitaire par panneaux bois lamellé-croisé avec isolation en-dessous des panneaux

- Mise à nu des éléments structuraux :

Il est nécessaire de déposer la sous-face, l'isolation et le pare-vapeur éventuel ainsi que le revêtement de sol s'il s'agit d'un sol souple ou d'un parquet, en l'absence de chape à base de liants hydrauliques.

- Assèchement :

Plages d'humidité :

Travaux de réparation/traitement	
Taux d'humidité moyen visé	Taux d'humidité maxi localement
15%	20%

Tableau 21 Valeurs recommandées de taux d'humidité du bois - classe de service 2

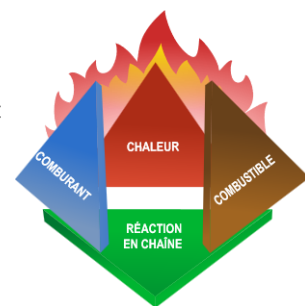
- Diagnostic
 - Des sondages au résistographe permettent d'évaluer d'éventuelles dégradations ou des décollements entre plis.
 - En cas de doute ou si le panneau est excessivement humidifié (moyenne >20% ou valeur individuelle >25%), une vérification de la résistance des plans de collage doit être menée par des essais en laboratoire de résistance au cisaillement ou de délamination suivant EN 16351 sur des échantillons prélevés par carottage.
- Réparations
 - Le renforcement des plans de collage insuffisamment résistants par vis est potentiellement envisageable, après justification par étude structurale.
 - Les dégradations localisées peuvent être réparées par la technique de greffe.
 - Dans le cas de dégradation massive et étendue, le remplacement des panneaux constitue généralement la solution la plus adaptée.

SINISTRES INCENDIE

3.1. ORIGINES ET PROPAGATION

Un incendie est un phénomène de combustion non maîtrisée, se propageant dans le temps et l'espace.

Le processus de combustion est une réaction d'oxydo-réduction d'un combustible par un comburant et nécessite une énergie d'activation. Cette réaction exothermique libère des radicaux libres hautement réactifs qui se recombinent pour former de nouveaux produits de combustion dans un processus en chaîne.



Dans les bâtiments, la source d'inflammation provient généralement :

- de défaillances d'installations ou d'équipements électriques ;
- de sources de chaleur liées aux installations de chauffage ;
- d'autres sources de chaleur telles que des travaux par points chauds, des appareils de cuisson, des foyers déterminés ou flammes nues (allumettes, briquets, bougies, cigarettes, ...), des lampes halogènes ;
- d'impacts de foudre.

La source de chaleur doit être en contact avec un matériau combustible pour que le feu s'initie. L'énergie d'activation va permettre au combustible de dégager des gaz/vapeurs et de les enflammer. Si le combustible et le comburant sont disponibles en quantité suffisante, le feu peut se développer, ce qui libère de la chaleur, de la fumée, et des gaz. L'inflammation s'étend alors à d'autres matériaux combustibles à proximité de la source initiale d'incendie, entraînant une propagation rapide via :

- la convection, par la circulation des fumées et gaz chauds ;
- le rayonnement thermique qui transmet la chaleur aux matériaux environnants ;
- la conduction au sein des matériaux ;
- la projection de particules incandescentes, pouvant être causée par des courants de convection, par des chutes d'éléments en combustion ou par des écoulements de solides liquéfiables enflammés.

Dans un bâtiment, le développement de l'incendie est un processus complexe et aléatoire, faisant intervenir un grand nombre de paramètres, parmi lesquels :

- la nature des combustibles, leur masse, leur pouvoir calorifique et leur capacité d'inflammation ;
- la répartition et la position relative des éléments combustibles ;
- les conditions de ventilation et d'apport d'air frais ;
- la configuration des locaux, en particulier leur volumétrie (compartimentage), la présence d'ouvertures, gaines et conduits ;
- la nature des parois (isolation thermique) ;
- les conditions météorologiques (vent, température extérieure).

Le feu peut ainsi principalement se propager :

- verticalement le long des murs, des gaines et conduits de ventilation, des cages d'escaliers ou d'ascenseurs ;
- horizontalement à travers des espaces ouverts tels que des couloirs, des plafonds, ou des planchers ;

- au travers des complexes de parois horizontales ou verticales et à leurs jonctions ;
- par les ouvertures en façade.

Certains matériaux favorisent également des modes de propagation plus lents, on parle en particulier des phénomènes de feu couvant plus difficiles à déceler.

3.2. CONSEQUENCES

Lorsque le feu brûle suffisamment longtemps, il peut compromettre l'intégrité structurale du bâtiment en affaiblissant les éléments de construction. Cela peut entraîner des effondrements partiels ou complets, mettant en danger la sécurité des occupants et des premiers intervenants.

Combustion des éléments de construction bois

Bien que le bois soit un matériau combustible, les éléments de construction en bois ont un excellent comportement en situation d'incendie.

Compte tenu de sa faible conductivité thermique, le bois brûle lentement et se consume en surface, formant progressivement une enveloppe carbonisée qui constitue une protection thermique accrue de la partie interne.

La perte de capacité résistante de l'élément bois soumis au feu se traduit essentiellement par une diminution progressive de la section dont les propriétés physico-mécaniques restent intègres.

Sommairement, on peut considérer que la dégradation thermique du matériau bois se déroule en trois phases qui marquent les zones d'altération et reflètent le profil de températures au travers de la section transversale :

1. le séchage : évaporation de l'eau libre puis de l'eau liée, jusqu'à environ 110°C ;
2. la pyrolyse : à partir d'environ 250-300°C, décomposition chimique du matériau, libération de gaz inflammables et formation d'une couche carbonisée (20% à 25% de la masse initiale du bois) ;
3. la combustion : après consommation des gaz, combustion lente, sans flamme, des résidus solides carbonés

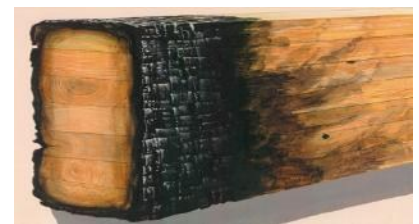


Photo 10 Carbonisation du bois

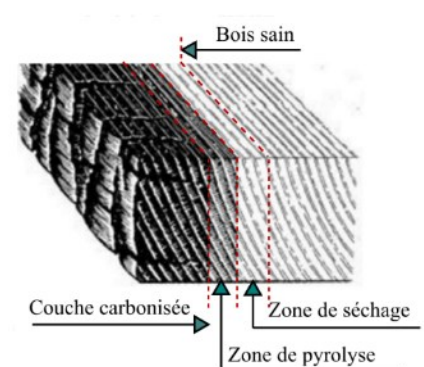


Figure 22 Phase de dégradation thermique du bois

La vitesse de combustion du bois, correspondant à la vitesse de propagation de la couche carbonisée au travers de la section de bois, dépend la forme géométrique de la section, de l'essence, la densité, et la teneur en humidité du bois :

- Un rapport surface/volume important favorise la combustion. Ainsi, les angles aigus et les entailles augmentent ce rapport et donc la combustibilité. De même que les fentes et gerces qui peuvent conduire en outre à une élévation de température au-delà de la zone carbonisée, localement.

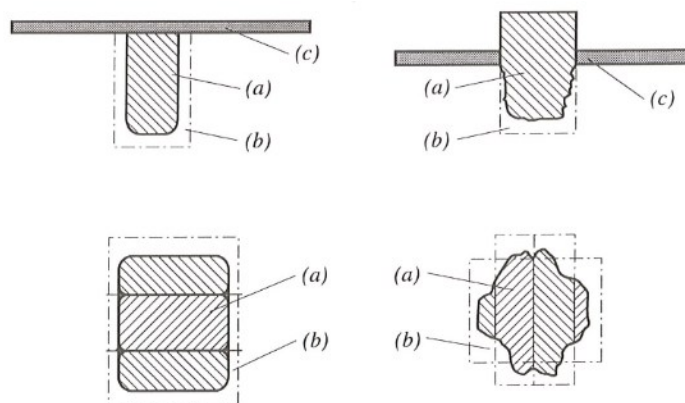


Figure 23 Sections de poutres et poteaux avant et après exposition au feu (extrait STEP)
(a) section résiduelle, (b) bois carbonisé, (c) protection

- Plus la masse volumique du bois est élevée, plus le temps d'inflammation du bois et la progression de la combustion seront longs.
- La teneur en eau du bois joue un rôle de temporisateur de l'inflammation, puisque le bois ne peut s'enflammer qu'après son assèchement, donc la température plafonne à 100-110°C tant que l'eau libre puis l'eau liée ne sont pas évaporées. Son influence sur la vitesse de combustion est en revanche négligeable dans la plage de variation du taux d'humidité d'équilibre du bois dans un bâtiment.

On considère une relation linéaire entre le temps d'exposition au feu et la profondeur de bois carbonisé, avec une vitesse de combustion constante. Les valeurs de vitesse de combustion données par l'Eurocode 5 (NF EN 1995-1-2) sous situation de feu normalisé, reproduites dans le tableau ci-dessous, permettent ainsi de calculer la résistance au feu d'une section, à partir de deux types de vitesse :

- la vitesse de combustion de base pour une carbonisation unidimensionnelle β_0 ;
- la vitesse de combustion fictive β_n , prenant en compte l'arrondi des angles, utilisée pour une méthode simplifiée de calcul d'éléments où la section résiduelle est considérée rectangulaire.

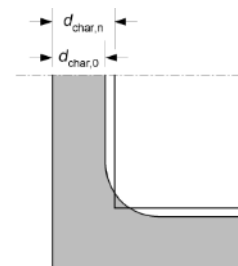


Figure 24 Profondeurs de carbonisation de base ($d_{char,0}$) et fictive ($d_{char,n}$)

Matériau	β_0 (mm/min)	B_n (mm/min)
RESINEUX ET HETRE		
Bois massif de masse volumique caractéristique $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,8
Bois lamellé-collé de masse volumique caractéristique $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
FEUILLUS		
Bois massif ou lamellé-collé de masse volumique caractéristique $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Bois massif ou lamellé-collé de masse volumique caractéristique $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,50	0,55
LVL		
LVL de masse volumique caractéristique $\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
PANNEAUX A BASE DE BOIS de masse volumique caractéristique $\geq 450 \text{ kg/m}^3$ et d'épaisseur $\geq 20 \text{ mm}$		
Contreplaqué	1,0	-
Panneaux à base de bois autres que contreplaqué	0,9	-

Tableau 22 Valeurs de calcul des vitesses de combustion suivant tableau 3.1 NF EN 1995-1-2

Au-delà de la profondeur carbonisée, il convient de prendre en compte l'épaisseur de bois dégradé par l'élévation de température pour déterminer la section efficace dont les propriétés mécaniques sont supposées non modifiées.

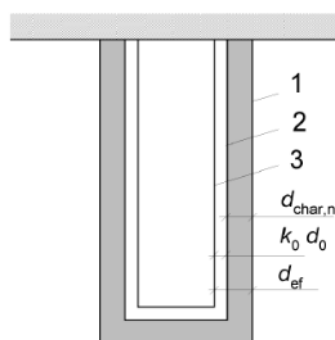


Figure 25 Section résiduelle et section efficace

(1) section initiale exposée au feu, (2) limite de la section résiduelle, (3) limite de la section efficace

Les conditions d'exposition des surfaces (éléments plans, éléments linéaires individuels, éléments d'ossature avec panneau), la durée d'exposition et la présence et la nature d'une éventuelle protection influent sur cette épaisseur.

Il est à noter que même en l'absence de carbonisation, dans le cas où le bois était initialement protégé, l'élévation de température dans le bois derrière la protection affecte les propriétés mécaniques sur une certaine profondeur.

Dans le cas d'un élément non protégé, exposé sur une face à un feu normalisé pendant plus de 20 min, l'élévation de température au sein du bois est négligeable au-delà d'une distance de l'ordre de 30 mm de la limite de carbonisation (300°C). Compte tenu du profil de températures et de l'évolution des propriétés mécaniques du bois en fonction de la température, cette couche dégradée est assimilée dans les calculs à une couche d'épaisseur équivalente de 7 mm dont les propriétés mécaniques sont nulles.

Altération des joints de collage des bois lamellés

Le lamellé-collé a un comportement au feu similaire à celui du bois massif. Sa vitesse de carbonisation est même un peu plus faible étant donnée son homogénéité accrue. L'intégrité des joints de collage en situation d'incendie est assurée avec l'utilisation d'adhésifs de types phénolique ou aminoplaste qui résistent à des températures de l'ordre de 200°C sans diminution significative des propriétés.

Ce n'est en revanche pas toujours le cas avec d'autres adhésifs tels que les polyuréthanes monocomposants durcissant à l'humidité, dont les performances en situation d'incendie peuvent être moindres. Un affaiblissement de la résistance d'un joint de collage situé à proximité immédiate de la couche carbonisée est susceptible d'entraîner une perte d'adhérence entre lamelles. Ces délaminations réduisent significativement la tenue des éléments lamellés, en exposant le plan de collage à une température importante, accélérant la combustion du bois qui n'est plus protégé par la couche carbonisée.

Les panneaux massifs en bois lamellés-croisé, fréquemment fabriqués avec ce type d'adhésif polyuréthane, sont plus particulièrement sujets à ce risque d'endommagement.

Endommagement des panneaux à base de bois

Pour les panneaux à base de bois (OSB, contreplaqué et panneaux de particules), des dégradations internes significatives peuvent survenir sous l'effet de températures supérieures à 100-150°C, même sans carbonisation visible, avec la perte d'intégrité des colles et l'endommagement progressif des constituants lignocellulosiques.

Tenue des assemblages

Les organes et pièces métalliques d'assemblage peuvent être considérablement affectés par la chaleur et conditionnent le plus souvent la tenue au feu des structures.

Les propriétés mécaniques de l'acier décroissent significativement avec l'élévation de température, dès 100°C pour la rigidité et à partir de 400°C pour la limite élastique.

L'acier étant un excellent conducteur thermique, il constitue un vecteur de chaleur dans le bois qui l'entoure à l'intérieur des sections. Les dilatations des pièces métalliques avec l'élévation de température peuvent conduire en outre à des déformations et redistributions d'effort excessifs vis-à-vis de la stabilité de la structure.

La tenue au feu des assemblages avec éléments métalliques extérieures directement exposées est très variable en fonction de la forme du connecteur (rapport surface/volume), de la nature et épaisseur de l'acier et de l'épaisseur de bois des pièces assemblées. On peut cependant indiquer à titre indicatif qu'une résistance au feu de 15 min voire 30 min est généralement atteinte avec des plaques métalliques d'au moins 6 mm d'épaisseur ou avec des sabots de 4 mm d'épaisseur. Pour les connecteurs à plaques métalliques embouties, principalement utilisés en charpentes industrialisées, avec des éléments bois de faible épaisseur, la résistance au feu est inférieure à 15 min.

Pour les assemblages avec éléments externes en bois connectés par organes métalliques de type tige (pointes, vis, broches, boulons), non protégés, une résistance minimale au feu de 15 min est considérée, dès lors qu'ils sont correctement dimensionnés à froid.

La durée de tenue au feu est accrue :

- avec des dispositions spécifiques des organes (augmentation des distances aux extrémités et aux rives des pièces de bois) ;
- si la capacité résistante est largement supérieure aux sollicitations de calcul à froid ;
- avec la protection des assemblages, en recouvrant les extrémités non débouchantes des organes métalliques par des bouchons en bois collés ou en recouvrant les faces externes des éléments bois par des panneaux à base de bois ou plaques de plâtre.

Pour les assemblages traditionnels fonctionnant par contact bois/bois, la progression du front de carbonisation conduit à une diminution graduelle des surfaces de transmission des efforts. La présence éventuelle de jeux expose plus directement les surfaces internes du joint, favorisant la carbonisation des zones habituellement protégées ce qui aggrave l'affaiblissement.

Contamination par des substances préjudiciables

Outre l'endommagement des matériaux, leur combustion ou leur décomposition thermique produit une grande quantité de gaz et fumées composées de vapeurs et d'aérosols. Avec le refroidissement, une partie de ces produits se dépose sous forme de suie sur les surfaces. Avec le ruissellement des eaux, les substances peuvent également se propager dans d'autres parties du bâtiment ou s'infiltrer dans les couches sous-jacentes des parois.

Cette contamination par différents polluants peut avoir un impact sur la santé et leurs contenus acides sont susceptibles de corroder les éléments métalliques.

Dégâts des eaux

En dehors des spécificités liées à d'éventuelle contamination engendrée par le ruissellement des eaux d'extinction après incendie, on se référera au §2 relatif aux dégâts des eaux.

3.3. EVALUATION DES DOMMAGES

Estimation des sections résiduelles de bois

Les dimensions de la section résiduelle d'un élément dégradé par le feu peuvent être directement mesurées après avoir gratté la couche carbonisée. L'application d'une réduction forfaitaire de 10 mm par face carbonisée à ces dimensions mesurées permet de tenir compte de l'affaiblissement des propriétés mécaniques du bois sous la couche carbonisée. Cette approche, conservatrice par rapport à l'épaisseur théorique de 7 mm de l'Eurocode 5, vise à tenir compte de l'incertitude liée au grattage de la couche carbonisée et à l'hétérogénéité de la dégradation.

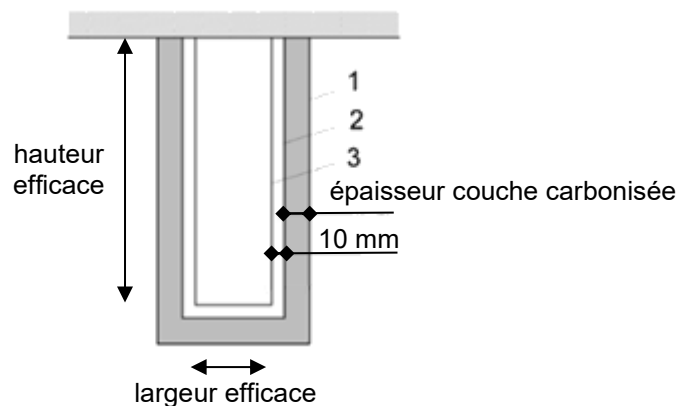


Figure 26 Section résiduelle et section efficace

(1) section initiale exposée au feu, (2) limite de la section résiduelle apparente, (3) limite de la section efficace

L'utilisation de méthodes d'auscultation non destructives ou semi destructives, telles que décrites au § 4, peut permettre d'évaluer la profondeur d'altération du bois, en particulier :

- des sondages au résistographe (cf. §4.5) ;
- des mesures de propagations d'ondes ultra-sonore ou d'ondes radar (cf. §4.4).

Détermination des propriétés mécaniques des sections résiduelles

Dans le cas du bois massif, la section efficace de bois n'ayant pas été affectée par l'élévation de température, ses propriétés mécaniques peuvent être évaluées suivant les mêmes principes que pour le classement visuel des pièces issues de sciages afin de leur affecter une classe de résistance.

L'application de ces principes, décrits au §4.3 du présent document, suppose de connaître l'essence de bois et son origine géographique. Pour l'identifier l'essence de bois (cf. §4.2), un prélèvement d'échantillon pour examen en laboratoire peut s'avérer nécessaire.

Après avoir complètement mis à nu le bois sain par décapage de la partie carbonisée, on peut appliquer à l'élément de structure examiné les critères visuels définis par la norme de classement adéquate, pour l'essence considérée, aux dimensions de la section résiduelle.

La perte de section peut conduire à affecter une classe mécanique inférieure à la classe initiale, compte tenu d'un rapport accru entre dimension des singularités (nœuds principalement) et dimension de section.

Les limites d'accessibilité aux différentes faces des pièces sur toute leur longueur peuvent compromettre cette caractérisation visuelle.

L'évaluation des propriétés mécaniques du bois peut également être menée à l'aide de mesures de propagations d'ondes (cf. §4.4).

Prise en compte des fentes

L'importance des fentes et leur impact sur le comportement mécanique doivent être évalués suivant leur localisation, étendue et profondeur en prenant en compte la manière dont l'élément est sollicité.

Pour les bois massifs, les critères sur l'acceptation des fentes définis dans les normes de classement visuels des bois sciés (cf. §4.3) avant mise en œuvre ne sont pas nécessairement adaptés à des éléments structuraux en service.

Les Règles professionnelles « Prise en compte des fentes dans les bois massifs de grosses sections à usage structural et faiblement chargés » publiées dans les Cahiers d'Irabois donnent des règles d'acceptation spécifiques.

Pour les bois lamellé-collé, on pourra se référer à la Note SNBL « Structures en bois lamellé-collé – Recommandations pour la réparation de bois lamellé structural présentant des fissures ou des fentes » qui définit des catégories d'importance en fonction notamment de la longueur des fentes, de leur largeur d'ouverture et de leur profondeur.

Dans tous les cas, les fentes intéressant les zones d'assemblage doivent faire l'objet d'une évaluation particulière.

Evaluation des panneaux à base de bois

Les principaux signes d'altération des panneaux sont : carbonisation superficielle, délamination, perte de cohésion et déformation.

Cependant l'absence d'indices visuels ne peut suffire à statuer sur l'intégrité des panneaux, qui peuvent être affectés par des dégradations internes non visibles dès lors qu'ils ont été exposés à des températures élevées.

En cas de doute - que celui-ci provienne de la configuration du sinistre, de la durée d'exposition, de l'état des ouvrages connexes - seuls des essais mécaniques en laboratoire sur un échantillonnage représentatif de la zone à caractériser permettent de vérifier le niveau de performance des panneaux (cf. §2.3).

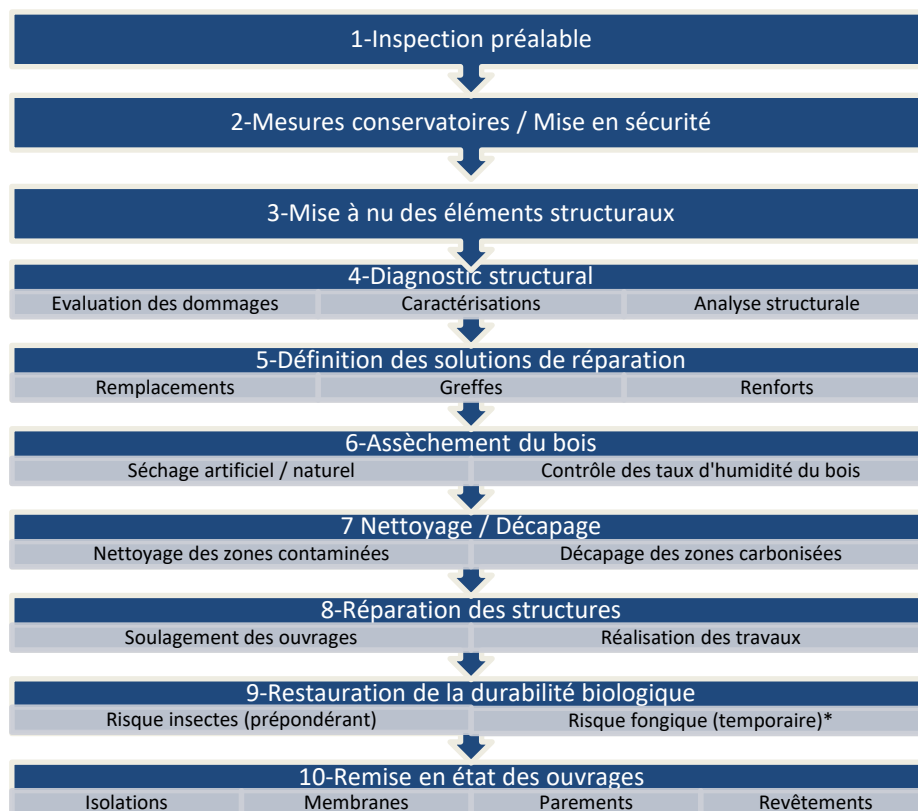
Examen des assemblages

Pour les connecteurs et organes de fixations métalliques, il convient de rechercher toute manifestation d'échauffement telle que des changements de couleur du métal ou des déformations. On s'assure qu'ils sont ancrés dans du bois sain.

L'examen des assemblages traditionnels vise, dans la limite des possibilités d'observation, à identifier tout affaiblissement des zones de reprise d'effort, liées à la réduction de surface de contact par carbonisation du bois ou à des développements de fentes.

3.4. DEMARCHE DE REHABILITATION

La démarche de réhabilitation d'ouvrages bois sinistrés par un incendie relève d'un processus méthodique et structuré schématisé par le logigramme ci-dessous :



*Dans certains cas de figure, non idéaux, l'assèchement se poursuit dans l'ouvrage après achèvement de la phase 8-Réparation des structures d'où une préconisation de protection anti fongique temporaire le temps d'un assèchement définitif.

Figure 27 Logigramme de démarche de réhabilitation

Nota : Les dispositions générales relatives aux repérages réglementaires, à la protection des intervenants et à la gestion des déchets sont identiques à celles présentées au § 2.4.

Mise en sécurité du bâtiment

Un premier examen du bâtiment après sinistre par un « homme de l'art » doit permettre d'identifier les principaux risques et de définir les premières mesures conservatoires pour assurer la sécurité des futurs intervenants et préserver au mieux le bâti , telles que notamment:

- mise hors service de l'électricité, du système de ventilation, coupure des réseaux d'eau et de gaz ;
- restriction d'accès, mise en place de périmètre de sécurité ;
- confortement provisoire des parties porteuses d'ouvrages partiellement effondrés et des structures présentant des dégradations significatives ou des déformations excessives ;
- dépose et évacuation des éléments effondrés ou instables et débris.

Rappel légal : quiconque, sans condition de qualité (pompiers, propriétaire, occupant, voisin, technicien, ingénieur...) constate un risque d'effondrement doit en alerter le maire de la commune ou le président de l'Etablissement Public de Coopération Intercommunale (EPCI), conformément au Code de la construction et de l'habitation ; il incombe alors à cette autorité de faire constater la dangerosité du bâtiment et, le cas échéant, de prescrire par arrêté de mise en sécurité les mesures nécessaires à la protection des personnes.

Rétablissement provisoire du clos et couvert

Toutes les dispositions doivent être prises pour assurer efficacement la protection à l'eau du bâti jusqu'au rétablissement du clos et couvert définitif.

Cela inclut la fermeture provisoire des ouvertures dans les murs et la toiture, voire la mise en place d'une couverture temporaire en cas de besoin.

Mise à nu des éléments structuraux

Les doublages, les panneaux de fermeture, les films et les isolants doivent être entièrement déposés jusqu'à la mise à nu des structures.

Assèchement

Les principes d'assèchement des ouvrages sont les mêmes que pour les dégâts des eaux qui sont décrits au §2.4.

Nettoyage des surfaces contaminées

L'élimination des dépôts de suie sur les parties non carbonisées est généralement effectuée par une entreprise spécialisée intervenant dans le cadre de la décontamination après incendie. Le procédé utilisé est choisi en fonction de l'étendue et du degré de salissures. Pour les ouvrages de structures bois, il est généralement fait appel aux techniques suivantes :

- Nettoyage à sec par brossage manuel ou mécanisé à la brosse nylon :

Cette méthode permet l'élimination des suies et poussières peu adhérentes, sans apport d'eau ni d'abrasif, et sans modification notable de l'état de surface du bois.

Son efficacité est limitée en présence de dépôts gras, épais ou fortement incrustés et elle ne permet pas d'éliminer le bois altéré ou carbonisé

Elle est principalement adaptée aux zones faiblement exposées à l'incendie ou pour un pré-nettoyage.

- Aérogonnage :

L'aérogonnage consiste à projeter un abrasif fin à basse pression par passes contrôlées pour adapter l'agressivité au support.

Cette technique permet une élimination efficace des suies épaisses et des dépôts incrustés. Elle offre également la possibilité de mettre à nu le bois sain lorsque la couche carbonisée est superficielle, de l'ordre de 1 à 2 mm d'épaisseur maximale.

- Cryogénie :

De la glace carbonique est projetée afin de provoquer un choc thermique qui conduit à une désolidarisation des dépôts sur le support bois, sans abrasion.

Ce procédé est particulièrement adapté à l'élimination des suies grasses et des dépôts adhérents, tout en préservant l'intégrité du matériau bois et la géométrie des éléments

À l'issue des opérations de nettoyage, les ouvrages bois présentent un état de surface permettant un diagnostic fiable de l'altération éventuelle du matériau, lequel conditionne la nécessité d'un décapage.

Décapage des zones carbonisées

Le décapage vise à éliminer par action mécanique la couche de bois carbonisé jusqu'à la mise à nu du bois. Il doit être réalisé de manière progressive et maîtrisée afin de préserver le bois non affecté et limiter les pertes de section résistante.

Cette opération est généralement réalisée à l'aide d'outils à arête coupante, tels que des ciseaux à bois et des racloirs pour le « décroutage » initial de la couche sans cohésion puis des rabots pour la mise à nu du bois sain et le dégauchissage lorsque l'obtention de surfaces planes est nécessaire. Ces opérations se font manuellement ou de manière électroportative en fonction de la configuration des ouvrages afin de s'adapter aux surfaces accessibles et aux zones plus sensibles, notamment au droit des assemblages.

Réparation des structures

Les principes généraux relatifs à la réparation des ouvrages déjà décrits au §2.4 pour les dégâts des eaux s'appliquent de la même manière et ne sont pas repris ici.

Les solutions de réparation après incendie relèvent des techniques décrites au § 5.

Leur choix et leur dimensionnement sont directement conditionnés par les résultats de l'évaluation des dommages (cf. §3.3), notamment la section résiduelle efficace à prendre en compte, la caractérisation mécanique du bois conservé, l'incidence des fissurations et l'aptitude des assemblages à assurer la transmission des efforts.

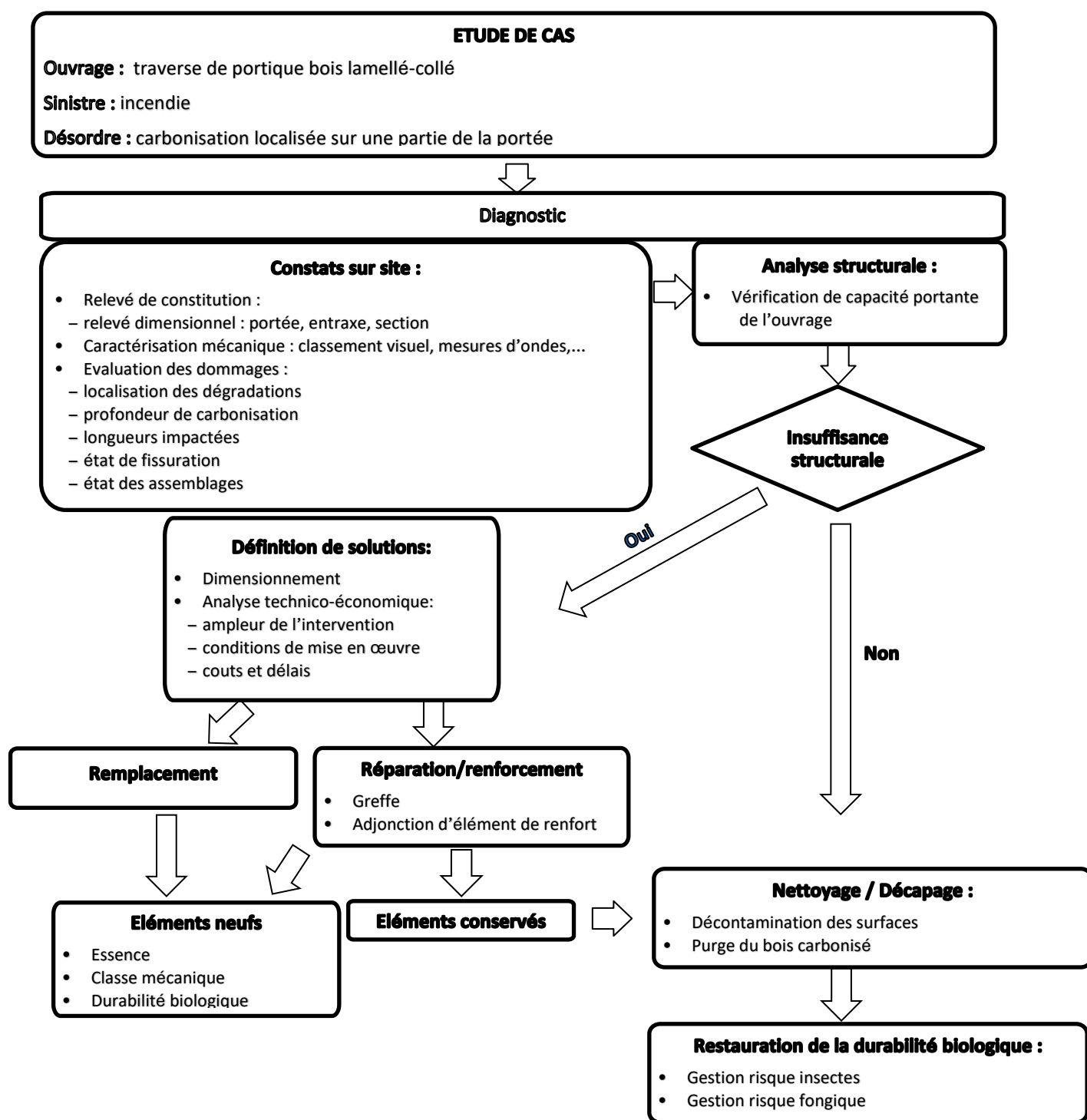


Figure 28 Logigramme étude de cas – diagnostic / définition de solutions

Réhabilitation des ouvrages

Comme précisé précédemment au §2.4, les opérations de réhabilitation des ouvrages doivent nécessairement permettre de rétablir l'ensemble des performances attendues, non seulement en termes de solidité, mais également de durabilité, de sécurité incendie, ainsi que vis-à-vis des exigences thermiques et acoustiques.

3.5. SPECIFICITES CHARPENTES

Dans les combles aménagés, les charpentes sont généralement protégées, en partie au moins, par des parements intérieurs, qui limitent la montée en température initiale et retardent ou réduisent l'exposition au feu. Mais lorsque ces parements cèdent par détérioration du matériau constitutif ou des fixations, la structure déjà fragilisée par l'échauffement se trouve brutalement exposée aux flammes.

Dans les combles non aménagés, la charpente est directement exposée dans un volume vaste et ventilé, où le feu se propage rapidement.

L'accumulation de chaleur sous la couverture accélère la pyrolyse du bois. Les petites sections brûlent ou disparaissent rapidement, ce qui favorise le risque d'effondrement de la couverture.

Charpentes traditionnelles



- Diagnostic
 - Les pièces maitresses de charpente traditionnelle sont souvent surdimensionnées, en particulier dans l'ancien, ce qui leur permet de conserver une capacité portante suffisante pendant une longue durée d'exposition au feu malgré la perte progressive de section.
 - La dégradation des pièces contribuant à la stabilisation, généralement de section plus réduite, peut provoquer d'importantes déformations, voire compromettre l'équilibre global de l'ouvrage.
 - L'état des assemblages traditionnels à entailles peut être difficile à évaluer dans la mesure où il n'est apprécié qu'indirectement. Leur endommagement par la carbonisation des surfaces de contact, l'apparition de fentes ou l'ouverture de jeux importants est susceptibles de constituer le maillon faible de la structure.
- Réparations
 - Des dispositifs d'étaieement conséquents sont nécessaires pour reprendre les charges importantes qui descendent sur les éléments structuraux à réparer
 - Les pièces massives se prêtent bien aux différentes techniques de réparation par greffes ou adjonction d'éléments de renfort (cf. §5).
 - Les assemblages peuvent être renforcés à l'aide d'organes métalliques de type tiges (vis, boulons) ou par des goussets en panneaux à base de bois fixés par pointes ou vis sur les faces latérales des éléments assemblés.

Charpentes industrialisées



- Diagnostic
 - Compte tenu de leur faible section, les éléments constitutifs des charpentes industrialisées sont rapidement affectés de manière significative par la carbonisation.
 - La tenue des assemblages est vite compromise sous l'effet combiné de l'élévation de température des plaques métalliques embouties et de la carbonisation du bois dans lequel leurs dents sont ancrées.
 - Ces structures triangulées sont particulièrement vulnérables à la défaillance d'un nœud d'assemblage, qui conduit à une redistribution brutale des efforts susceptible d'entraîner leur ruine.
 - Le risque d'instabilité de la charpente est accru par la destruction des différents éléments participant à la stabilisation tels que liteaux, lisses, entretoises,

- Réparations
 - Un remplacement des ouvrages de charpente est généralement à privilégier.
 - Des réparations ne sont à envisager que dans le cas de dégradations très localisées :
 - Les pièces défectueuses peuvent être renforcées par l'adjonction de pièces de renfort en faces latérales ou en sous-face assemblées à l'existant par organes de fixation.
 - Les assemblages peuvent être renforcés à l'aide de goussets en panneaux à base de bois ou de plaques métalliques clouées.

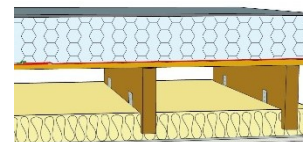
3.6. SPECIFICITES TOITURES-TERRASSES

Lorsque les éléments porteurs des toitures-terrasses sont protégés vis-à-vis de feu sous-jacent par des parements intérieurs, ceux-ci limitent la montée en température initiale et retardent l'exposition directe au feu. La dégradation thermique des éléments porteurs s'amorce néanmoins avant la défaillance des parements et accélère ensuite lorsque ceux-ci cèdent.

Le volume confiné du plénum favorise la propagation horizontale du feu qui peut s'étendre à des zones éloignées du foyer, a fortiori lorsque les cloisons séparatives s'interrompent au niveau du plafond, et provoquer des dégâts invisibles en sous-face. Cela peut également être le cas au sein de caissons de toiture.

Les eaux d'extinction sont susceptibles d'humidifier très significativement les éléments porteurs. On se reportera au §2.6. pour les dégâts des eaux des toitures-terrasses.

Eléments porteurs en bois ou panneaux à base de bois



- Diagnostic
 - Les panneaux présentant des indices visuels d'altération (carbonisation superficielle, délamination, perte de cohésion, déformation) sont à considérer comme affaiblis et sont à remplacer.
 - La conservation des panneaux d'aspect sain mais susceptibles d'avoir été significativement échauffés ne peut être envisagée sans une vérification de performances par essais en laboratoire.
- Réparations
 - Lorsque le toit-terrasse assure la fonction diaphragme, des dispositions doivent être prises lors des opérations de dépose / remplacement des panneaux tels qu'un phasage alterné ou l'ajout d'éléments de confortement provisoires, afin d'assurer la stabilisation.

Panneaux massifs bois lamellé-croisé

La sous-face des panneaux massifs bois lamellé-croisé peut être laissée visible ou recevoir un parement intérieur assurant une protection initiale vis-à-vis d'un feu sous-jacent.

- Diagnostic
 - Des sondages au résistographe permettent d'évaluer la profondeur de carbonisation et de déceler des décollements entre plis.

- En cas de doute une vérification de la résistance des plans de collage doit être menée par des essais en laboratoire de résistance au cisaillement ou de délamination suivant EN 16351 sur des échantillons prélevés par carottage.
- Réparations
 - Le renforcement des plans de collage insuffisamment résistants par vis est potentiellement envisageable, après justification par étude structurale.
 - Les dégradations localisées peuvent être réparées par la technique de greffe.
 - Dans le cas de dégradation massive et étendue, le remplacement des panneaux constitue généralement la solution la plus adaptée.

3.7. SPECIFICITES STRUCTURE POTEaux-POUTRES

- Diagnostic
 - Les porteurs principaux peuvent généralement conserver une capacité portante suffisante pendant une longue durée d'exposition au feu malgré la perte progressive de section.
- Réparations
 - Les sections relativement massives des porteurs principaux se prêtent bien aux différentes techniques de réparation par greffes ou adjonction d'éléments de renfort (cf. §5).

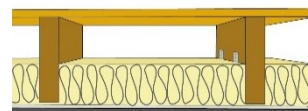
3.8. SPECIFICITES PLANCHERS

Lorsque les éléments porteurs des planchers sont protégés vis-à-vis de feu sous-jacent par des parements intérieurs, ceux-ci limitent la montée en température initiale et retardent l'exposition directe au feu. La dégradation thermique des éléments porteurs s'amorce néanmoins avant la défaillance des parements et accélère ensuite lorsque ceux-ci cèdent.

Le volume confiné du plénum favorise la propagation horizontale du feu qui peut s'étendre à des zones éloignées du foyer, a fortiori lorsque les cloisons séparatives s'interrompent au niveau du plafond, et provoquer des dégâts invisibles en sous-face. Cela peut également être le cas au sein de caissons de plancher.

Les eaux d'extinction sont susceptibles d'humidifier très significativement les éléments porteurs. On se reportera au §2.8. pour les dégâts des eaux des planchers.

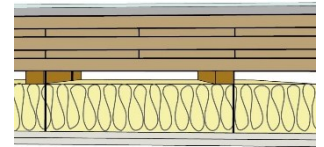
Panneaux ou lames sur solivages



- Diagnostic
 - Les panneaux présentant des indices visuels d'altération (carbonisation superficielle, délamination, perte de cohésion, déformation) sont à considérer comme affaiblis et sont à remplacer.
 - La conservation des panneaux d'aspect sain mais susceptibles d'avoir été significativement échauffés ne peut être envisagée sans une vérification de performances par essais en laboratoire.
- Réparations

- Lorsque le plancher assure la fonction diaphragme, des dispositions doivent être prises lors des opérations de dépose / remplacement des panneaux tels qu'un phasage alterné ou l'ajout d'éléments de confortement provisoires, afin d'assurer la stabilisation.

Panneaux massifs bois lamellé-croisé

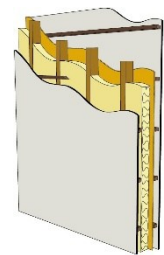


La sous-face des panneaux massifs bois lamellé-croisé peut être laissée visible ou recevoir un parement intérieur assurant une protection initiale vis-à-vis d'un feu sous-jacent.

- Diagnostic
 - Des sondages au résistographe permettent d'évaluer la profondeur de carbonisation et de déceler des décollements entre plis.
 - En cas de doute, une vérification de la résistance des plans de collage doit être menée par des essais en laboratoire de résistance au cisaillement ou de délamination suivant EN 16351 sur des échantillons prélevés par carottage.
- Réparations
 - Le renforcement des plans de collage insuffisamment résistants par vis est potentiellement envisageable, après justification par étude structurale.
 - Les dégradations localisées peuvent être réparées par la technique de greffe.
 - Dans le cas de dégradation massive et étendue, le remplacement des panneaux constitue généralement la solution la plus adaptée.

3.9. SPECIFICITES MURS

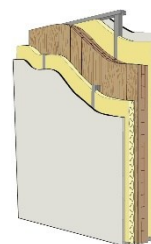
Ossature bois



- Diagnostic
 - Compte tenu de leur épaisseur limitée, les éléments d'ossature peuvent être rapidement affectés de manière significative par la carbonisation.
 - Les panneaux présentant des indices visuels d'altération (carbonisation superficielle, délamination, perte de cohésion, déformation) sont à considérer comme affaiblis et sont à remplacer.
 - La conservation des panneaux d'aspect sain mais susceptibles d'avoir été significativement échauffés ne peut être envisagée sans une vérification de performances par essais en laboratoire.
- Réparations
 - Le remplacement des éléments d'ossature endommagés est généralement à privilégier.
 - Pour les murs assurant le contreventement, des dispositions doivent être prises lors des opérations de dépose / remplacement des panneaux défectueux, tels qu'un phasage alterné ou l'ajout d'éléments de confortement provisoires, afin d'assurer la stabilisation.

Panneaux massifs bois lamellé-croisé

- Diagnostic
 - Des sondages au résistographe permettent d'évaluer la profondeur de carbonisation et de déceler des décollements entre plis.
 - En cas de doute une vérification de la résistance des plans de collage doit être menée par des essais en laboratoire de résistance au cisaillement ou de délamination suivant EN 16351 sur des échantillons prélevés par carottage.
- Réparations
 - Le renforcement des plans de collage insuffisamment résistants par vis est potentiellement envisageable, après justification par étude structurale.
 - Les dégradations localisées peuvent être réparées par la technique de greffe.
 - Dans le cas de dégradation massive et étendue, le remplacement des panneaux constitue généralement la solution la plus adaptée.



MOYENS DE DIAGNOSTIC

4.1. MESURES DU TAUX D'HUMIDITE DU BOIS

MESURE PAR RESISTANCE ELECTRIQUE

La méthode d'estimation du taux d'humidité d'une pièce de bois scié par mesure de résistance est définie dans la norme NF EN 13183-2.

Elle est valable pour du bois ayant un taux d'humidité compris entre 7% et 30% environ (point de saturation des fibres).

L'humidimètre doit être équipé de système de réglage ou accompagné de tableaux pour apporter les corrections relatives à l'essence de bois et à la température ambiante.

Les électrodes doivent être enfoncées profondément dans le bois (0,3 fois l'épaisseur de la pièce). L'emplacement de la mesure doit être exempt de singularité telle que nœud, écorce, poche de résine.



Photo 11 Humidimètre à pointes

MESURE CAPACITIVE

La méthode d'estimation du taux d'humidité d'une pièce de bois scié par mesure capacitive est définie dans la norme NF EN 13183-3.

Elle est valable pour du bois ayant un taux d'humidité compris entre 7% et 30% environ (point de saturation des fibres).

L'humidimètre doit être équipé de système de réglage ou accompagné de tableaux pour apporter les corrections relatives à la masse volumique du bois et l'épaisseur de la pièce.

De bonnes conditions de contact entre le capteur et la surface du bois sont nécessaires pour ne pas fausser le résultat de la mesure.



Photo 12 Humidimètre capacitif

4.2. IDENTIFICATION D'ESSENCE

L'identification s'effectue généralement par examen macroscopique ou microscopique permettant de reconnaître des particularités de la structure du bois qui sont propres à une essence ou un groupement d'essences. Il s'agit d'un processus comparatif, à partir de banques de données en utilisant des clés de détermination. Cela requiert des connaissances avancées en anatomie du bois.

EXAMEN MACROSCOPIQUE

L'examen réalisable sur site, à l'aide d'une loupe de grossissement sur une coupe transversale fraîchement mise à nu avec une lame tranchante, permet de distinguer des caractéristiques macroscopiques, telles que la teinte, la largeur et régularité des cernes d'accroissement, la présence de rayons ligneux, le grain et la porosité, pouvant permettre l'identification à partir de clés simplifiées.

Il est également possible d'utiliser un outil automatisé de reconnaissance des bois, tel que l'application sur téléphone Xylorix Inspector, capable d'identifier certaines essences dont le chêne et les principales essences résineuses utilisées en construction : douglas, épicéa, pins, mélèze, sapin.

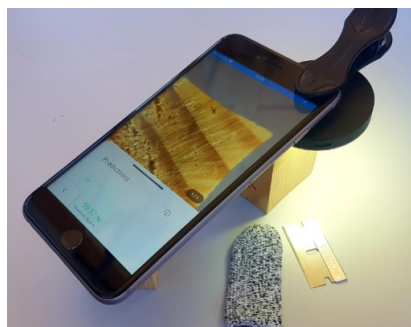


Photo 13 Xylorix Inspector

EXAMEN MICROSCOPIQUE

L'examen microscopique d'échantillons en laboratoire est mené selon les trois plans d'observation (transversal, tangentiel et radial) afin de mettre en évidence l'ensemble des éléments caractéristiques de l'organisation cellulaire du plan ligneux.

La microscopie optique avec des grossissements allant jusqu'à 400x est généralement suffisante. Il peut être nécessaire dans certains cas d'effectuer des mesures de dimension ou de fréquence de certains éléments.

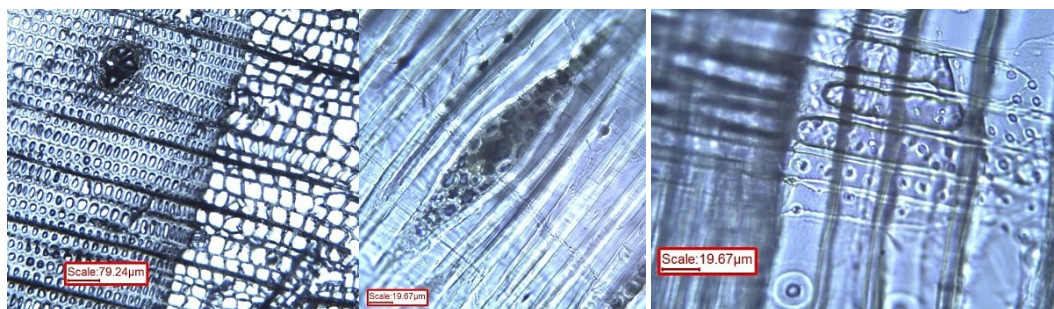


Photo 14 Photographies au microscope sur coupes transversale, tangentielle et radiale d'un échantillon d'épicéa

Les caractéristiques microscopiques de certaines espèces sont identiques et ne peuvent donc pas être différenciées au-delà du genre botanique et/ou d'un groupement d'essences.

4.3. CLASSEMENT VISUEL

Les normes de classement visuel permettent d'affecter une classe de résistance à une pièce de bois de structure en vérifiant différents critères de caractéristiques visuelles affectant le comportement mécanique, telles que :

- les dimensions des nœuds au regard des dimensions de la pièce ;
- les déviations de pente de fil par rapport à l'axe longitudinal de la pièce ;
- la largeur des cernes d'accroissement ;
- la présence de fentes et leurs dimensions ;
- les irrégularités géométriques sur les dimensions de section (flaches)
- les déformations ;
- l'inclusion de singularités (entre-écorce, poche de résine) ;
- la présence d'altérations biologiques.

Les règles de classement diffèrent selon les pays, compte tenu des différentes essences présentes, de leurs origines géographiques, de la qualité et disponibilité des matériaux ainsi que de l'héritage des pratiques.

Les différentes normes de classement visuel permettant d'affecter une classe de résistance de la NF EN 338 « Bois de structure - Classes de résistance » sont répertoriées dans la norme NF EN 1912 « Bois de structure - Classes de résistance - Affectation des classes visuelles et des essences ».

Pour les sciages issus de forêts françaises, c'est la norme NF B 52-001 « Règles d'utilisation du bois dans la construction - Classement visuel pour l'emploi en structures des bois sciés résineux et feuillus » qui définit les règles de classement visuel pour leur emploi en structure. Elle comporte deux parties :

- Partie 1 : bois massif
- Partie 2 : méthode alternative pour le bois massif entrant dans la fabrication de bois lamellé collé BLC et bois massif reconstitué BMR

Pour les principaux bois massifs résineux, les correspondances entre les classes de résistance de la NF EN 338 et les classes visuelles définies par la NF B52-001-1 sont données dans le tableau ci-dessous :

Classe de résistance	Classe visuelle	Essences
C30	ST-I	Douglas Pins sauf pin maritime (section $\leq 16000 \text{ mm}^2$) Sapin-Epicéa (section $\leq 20000 \text{ mm}^2$)
C27	ST-I	Mélèze (section $\leq 20000 \text{ mm}^2$)
C24	ST-II	Douglas Mélèze (section $\leq 20000 \text{ mm}^2$) Pins Sapin-Epicéa
C18	ST-III	Douglas Mélèze (section $\leq 20000 \text{ mm}^2$) Pins Sapin-Epicéa

Tableau 23 Correspondance entre classes de résistance et classes visuelles des résineux suivant NF B 52-001

Pour ces essences résineuses, les principaux critères définis par la NF B52-001-1 sont présentés dans le tableau ci-dessous :

			ST-I	ST-II	ST-III
LARGEUR DES CERNES D'ACCROISSEMENT					
Douglas	section ≤ 18000 mm ²		≤ 6 mm	≤ 6 mm	≤ 8 mm
	section > 18000 mm ²		≤ 8 mm	≤ 10 mm	≤ 12 mm
Mélèze	section ≤ 20000 mm ²		≤ 6 mm	≤ 8 mm	≤ 10 mm
Pins	section ≤ 16000 mm ²		≤ 8 mm	≤ 8 mm ≤ 5 mm pin maritime	≤ 10 mm
	section > 16000 mm ²			≤ 8 mm	
Sapin-Epicéa	section ≤ 20000 mm ²		≤ 6 mm	≤ 8 mm	≤ 10 mm
	section > 20000 mm ²				
DIAMETRE DES NŒUDS (l : largeur de la pièce, e : épaisseur de la rive)					
Douglas	section ≤ 18000 mm ²	Nœuds de face	≤ min { $\frac{l}{6}$ 30 mm }	≤ min { $\frac{l}{2}$ 50 mm }	≤ min { $\frac{3l}{4}$ 100 mm }
		Nœuds de rive	≤ min { $\frac{2e}{3}$ 40 mm }		
	section > 18000 mm ²	Nœuds de face	≤ min { $\frac{l}{6}$ 40 mm }	≤ min { $\frac{l}{2}$ 50 mm }	≤ min { $\frac{3l}{4}$ 100 mm }
		Nœuds de rive	≤ min { $\frac{2e}{3}$ 80 mm }	≤ min { $\frac{2e}{3}$ 40 mm }	
Mélèze	section ≤ 20000 mm ²	Nœuds de face	≤ min { $\frac{l}{4}$ 35 mm }	≤ min { $\frac{l}{2}$ 75 mm }	≤ min { $\frac{3l}{4}$ 100 mm }
		Nœuds de rive	≤ min { $\frac{2e}{3}$ 40 mm }		
Pins	section ≤ 16000 mm ²	Nœuds de face	≤ min { $\frac{l}{10}$ 15 mm }	≤ min { $\frac{l}{3}$ 50 mm }	≤ min { $\frac{2l}{3}$ 80 mm }
		Nœuds de rive	≤ min { $\frac{e}{3}$ 15 mm }	≤ min { $\frac{e}{2}$ 30 mm }	
	section > 16000 mm ²	Nœuds de face		≤ min { $\frac{l}{3}$ 70 mm }	≤ min { $\frac{2l}{3}$ 100 mm }
		Nœuds de rive		≤ min { $\frac{e}{2}$ 50 mm }	≤ min { $\frac{3e}{5}$ 60 mm }
Sapin-Epicéa	section ≤ 20000 mm ²	Nœuds de face	≤ min { $\frac{l}{6}$ 30 mm }	≤ min { $\frac{l}{2}$ 50 mm }	≤ min { $\frac{3l}{4}$ 100 mm }
		Nœuds de rive	≤ min { $\frac{2e}{3}$ 40 mm }	≤ min { $\frac{2e}{3}$ 40 mm }	
	section > 20000 mm ²	Nœuds de face		≤ min { $\frac{l}{2}$ 50 mm }	≤ min { $\frac{3l}{4}$ 100 mm }
		Nœuds de rive		≤ min { $\frac{2e}{3}$ 80 mm }	
Douglas Mélèze Pins Sapin-Epicéa	PENTE DE FIL	Locale	1:10 (10%)	1:4 (25%)	
		Générale	1:14 (7%)	1:6 (17%)	
	GROSSES POCHES DE RESINE		Non admises	Admises si < 80 mm	
	ENTRE ECORCE		Non admise		
	FLACHES	Longueur	Non admises	< 1/3 longueur pièce et 100 mm	
		Largeur		< 1/3 épaisseur de la rive	
	FENTES	Traversantes	Longueur ≤ 2 x largeur pièce		Longueur ≤ 600 mm
		Non traversantes	Longueur ≤ 1/2 x longueur pièce		Non limitée
		Roulures	Exclues		
	DEFORMATIONS pour une longueur de 2 m	Flèche de face	< 10 mm		< 20 mm
		Flèche de rive	< 8 mm		< 12 mm
		Gauchissement	1 mm /25 mm large		2 mm /25 mm large

Tableau 24 Principaux critères de classement visuel des résineux suivant NF B 52-001

Pour le chêne, les correspondances entre les classes de résistance de la NF EN 338 et les classes visuelles définies par la NF B52-001-1 sont données dans le tableau ci-dessous :

Classe de résistance	Classe visuelle
D30	1
D24	2
D18	3

Tableau 25 Correspondance entre classes de résistance et classes visuelles du chêne suivant NF B 52-001

Les principaux critères définis par la NF B52-001-1 pour le chêne sont présentés dans le tableau ci-dessous :

			1	2	3
LARGEUR DES CERNES D'ACCROISSEMENT					
Epaisseur ≤ 100 mm			≤ 10 mm		
Epaisseur > 100 mm			< 10 mm		
DIAMETRE DES NŒUDS (l : largeur de la pièce, e : épaisseur de la rive)					
Epaisseur ≤ 100 mm	Nœuds sains et adhérents	sur la face	≤ l/5	≤ l/3	≤ l/2
		sur la rive	$\leq \min \left\{ \frac{e}{3} \right. \\ 30 \text{ mm}$	$\leq \min \left\{ \frac{e}{2} \right. \\ 30 \text{ mm}$	$\leq \min \left\{ \frac{4e}{5} \right. \\ 45 \text{ mm}$
	Autres nœuds		Exclus	$\leq \min \left\{ \frac{e}{3} \text{ ou } \frac{l}{3} \right. \\ 30 \text{ mm}$	$\leq \min \left\{ \frac{e}{3} \text{ ou } \frac{l}{3} \right. \\ 45 \text{ mm}$
Epaisseur > 100 mm	Nœuds sains et adhérents	sur la face	≤ l/3	≤ l/2	≤ 3l/4
		sur la rive	≤ e/2	≤ e/2	≤ 3e/4
	Autres nœuds		Exclus	$\leq \min \left\{ \frac{e}{3} \text{ ou } \frac{l}{3} \right. \\ 50 \text{ mm}$	$\leq \min \left\{ \frac{e}{3} \text{ ou } \frac{l}{3} \right. \\ 60 \text{ mm}$
PENTE DE FIL					
Epaisseur ≤ 100 mm	Locale		1:3 (33%)		
	Générale		1:5 (20%)		
Epaisseur > 100 mm	Locale		1:5 (20%)	1:4 (25%)	1:3 (33%)
	Générale		1:10 (10%)	1:10 (10%)	1:10 (10%)
AUBIER			Aubier sain admis sur les arêtes si <à la moitié de la largeur des faces et des rives		
FLACHES			Moins de 10% de la face et de la rive sur moins de 25 % de la longueur		Moins de 10% de la face et de la rive sur moins de 35 % de la longueur
FENTES	Traversantes		Admissibles en bout avec une longueur < à la largeur de la pièce		
	Non traversantes		Longueur ≤ 1/2 x longueur pièce		Non limitée
	Roulures		Exclues		< ½ circonférence du cerne
	Epaisseur ≤ 100 mm	Gélivure	Exclue		Exclue
	Epaisseur >100 mm				Non visible sur une face ou une rive
	Gerces		Permeses		
DEFORMATIONS pour une longueur de 2 m	Flèche de face		< 10 mm		< 20 mm
	Flèche de rive		< 8 mm		< 12 mm
	Gauchissement		1 mm /25 mm large		2 mm /25 mm large
	Tuilage		Pas de restriction		

Tableau 26 Principaux critères de classement visuel du chêne suivant NF B 52-001

Les critères sur les fentes et les déformations donnés dans les tableaux ci-dessus à titre informatif, applicables au moment du classement, indépendamment des effets des conditions de chargement et des variations hygrothermiques dans la durée en service ne sont pas forcément pertinents pour l'évaluation d'éléments de structure in-situ.

L'effet de la présence des fentes sur la résistance doit être apprécié au regard de leur situation, orientation et importance (longueur, profondeur et largeur d'ouverture) et de la nature et intensité des sollicitations dans l'élément (compression, flexion, traction, cisaillement...). Dans certains cas, la présence de fentes non traversantes, qui ont pu se développer en séchant en place sur des longueurs supérieures aux valeurs limites définies ci-dessus n'a pas forcément d'effet significatif sur la résistance.

Pour cette évaluation on pourra notamment se référer aux Règles professionnelles « Prise en compte des fentes dans les bois massifs de grosses sections à usage structural et faiblement chargés » publiées dans les Cahiers d'Irabois.

Les déformations des éléments de structure en service, comprenant les effets du fluage dans le temps, sont principalement à considérer du point de vue de leur compatibilité avec l'usage attendu.

4.4. MESURES DE PROPAGATION D'ONDES

MESURES DE VITESSE DE PROPAGATION D'ONDES SONORES OU ULTRASONORES

La mesure de vitesse de propagation d'ondes au sein du bois peut être utilisée pour :

- évaluer les propriétés mécaniques du bois en se basant sur une évaluation du module d'élasticité dynamique ;
- détecter des altérations.

Le principe est de mesurer le temps parcouru par un train d'ondes sonores (fréquence < 20 kHz) ou ultrasonores (fréquence > 20 kHz), sur une distance connue dans le matériau entre les transducteurs émetteur et le récepteur.

Les mesures peuvent être réalisées dans les directions longitudinale et transversale, par transmission directe en plaçant les transducteurs sur les faces opposées lorsque cela est possible ou bien par transmission de surface en plaçant les transducteurs sur la même face.

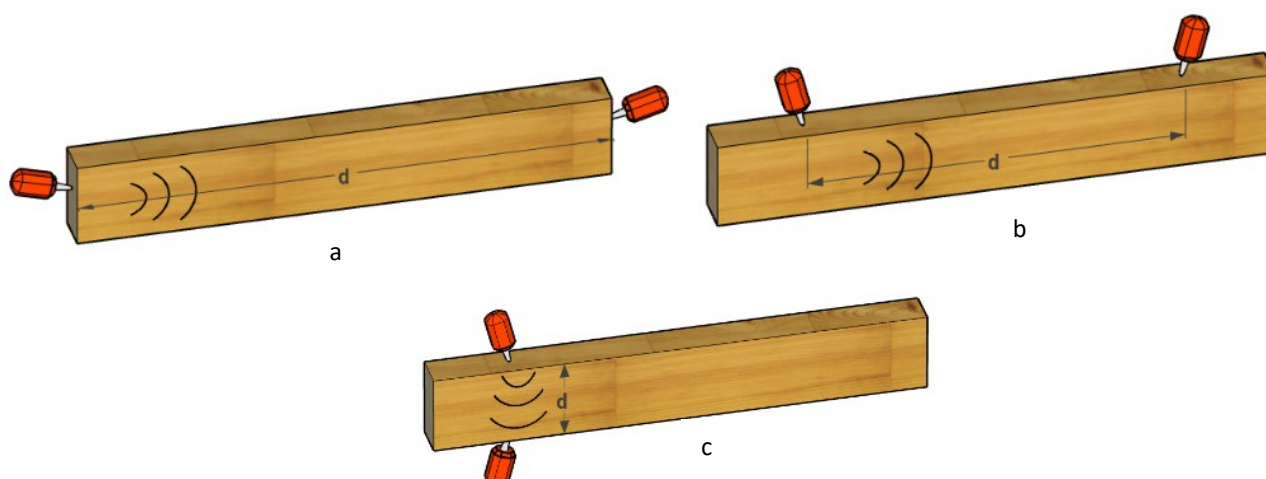


Figure 29 Mesures de vitesse du son
a) longitudinale par transmission directe
b) longitudinale par transmission de surface
c) transversale par transmission directe

- Les mesures dans la direction longitudinale donnent une indication globale de qualité le long de l'élément ausculté. Elles peuvent être affectées par des défauts ou singularités, que les ondes contournent, les temps de parcours les plus rapides étant enregistrés. L'interprétation des résultats peut permettre d'en déduire une estimation du module d'élasticité longitudinal moyen à condition de disposer de données de références permettant de faire le lien entre vitesse et module pour l'essence de bois, en prenant notamment en compte les effets de l'humidité.
- Les mesures suivant la direction transversale intéressent une zone limitée de l'élément ausculté. La réalisation de différentes mesures le long de l'élément peut permettre de mettre en évidence des zones détériorées ou défauts localisés.

MESURES D'ONDES ELECTROMAGNETIQUES AUX FREQUENCES RADAR

Les géoradars ou radars de structures sont des appareils légers portatifs qui utilisent la réflectométrie d'impulsions électromagnétiques à fréquence radar, permettant de fournir des informations physiques et/ou géométriques sur les matériaux sous-jacents à la surface balayée.

L'équipement est composé d'un générateur d'impulsions d'ondes électromagnétiques, d'antennes émettrices et réceptrices et d'un système d'acquisitions de données. L'énergie électromagnétique émise se propage à travers le matériau, étant atténuée, réfléchi et réfractée sur toute interface ou hétérogénéité présentant des contrastes de permittivité. Les mesures sont réalisées en déplaçant l'antenne de mesure sur la zone à ausculter.

Les résultats des mesures se présentent couramment sous la forme de profils radars (radargrammes) représentant le temps de réponse du signal - généralement converti en profondeur - en fonction de la distance parcourue le long du linéaire analysé, avec un dégradé de teintes correspondant à l'amplitude du signal reçu permettant de visualiser les interfaces entre les matériaux, les vides et hétérogénéités.

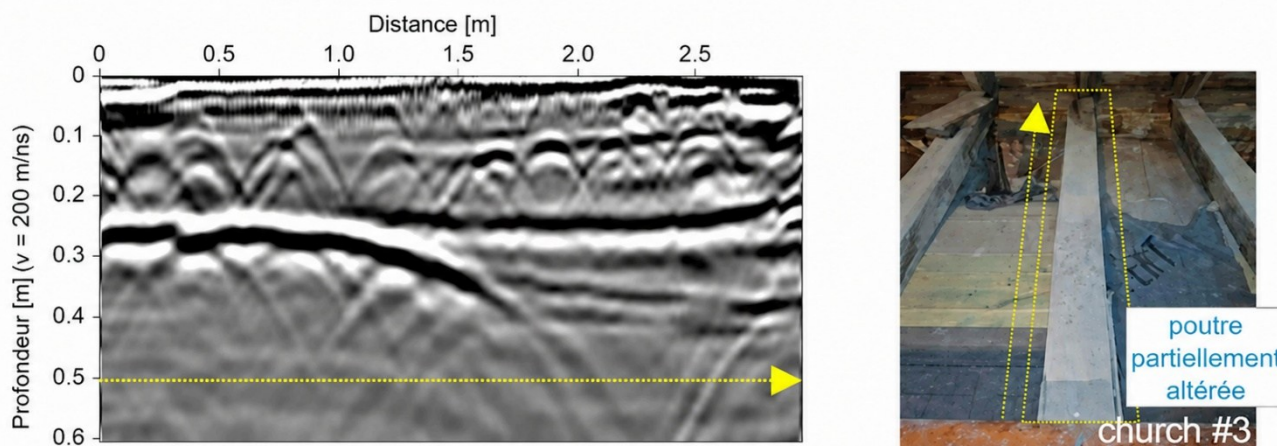


Figure 30 Mesures Radar - Source : adapté de Zybała et al. Heritage Science (2024), CC BY 4.0.

4.5. SONDAGES AU RESISTOGRAPHE

Le résistographe est un appareil qui mesure et enregistre les paramètres de percement d'un foret constitué d'une pointe de 3 mm de diamètre en extrémité d'une tige de 1,5 mm de diamètre qui pénètre dans le bois avec des vitesses de rotation et d'avancement constantes.

Les courbes d'enregistrement de la résistance au percement (couple) et de la force de poussée en fonction de la profondeur peuvent révéler de brusques variations de densité, au-delà des alternances normales correspondant aux cernes d'accroissement annuel et ainsi mettre en évidence des vides, fentes, décollements, dégradation biologique, etc...



Photo 15 Sondage au résistographe
(Source : IML®)

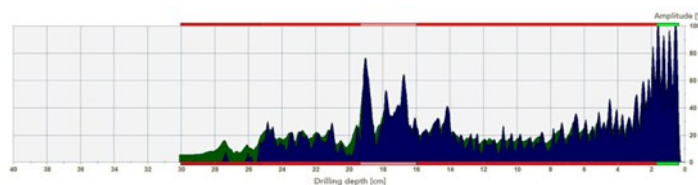


Figure 31 Courbe d'enregistrement résistographe
(Source : IML®)

4.6. THERMOGRAPHIE INFRAROUGE

La thermographie infrarouge à l'aide de caméras thermiques qui détectent à distance les rayonnements infrarouges émis par la surface des objets visés produit des images représentant les gradients de température sous forme de carte de couleurs.

Cette technique est couramment utilisée sous forme passive, c'est-à-dire dans les conditions ambiantes avec les variations naturelles de température, pour rechercher des zones d'infiltration d'eau à travers l'enveloppe du bâti ou la détection de fuites de canalisation. Les zones humides dans les murs, les plafonds ou les planchers apparaissent plus froides sur les images thermiques, l'eau absorbant et dissipant la chaleur différemment des matériaux secs.

La thermographie peut aussi être employée sous forme active en soumettant l'élément à contrôler à une excitation énergétique (au moyen de lampes, appareil de chauffage, etc...) pour initier la propagation d'un flux de chaleur.

4.7. DETECTION D'INSECTES XYLOPHAGES PAR METHODE ACOUSTIQUE

Les bruits émis par les mandibules des insectes xylophages lorsqu'ils grignent le bois peuvent être détectés à l'aide d'appareils de détection acoustique équipé de capteurs spécifiques.

Les ondes sonores transmises dans les fibres du bois lorsque les insectes sont en activité sont détectées par des capteurs piézoélectriques (assimilables à des stéthoscopes électroniques) et amplifiées et filtrées par un module de réception qui supprime les bruits de fond.

Elles peuvent le cas échéant être enregistrées et comparées à des banques de données pour identification de l'insecte.



Photo 16 Détection acoustique (source INADEC ® INsect Acoustic DEteCtion)

TECHNIQUES DE REPARATION

5.1. GENERALITES

Les principales techniques de réparation des éléments bois défectueux présentées dans ce chapitre se distinguent suivant le mode envisagé, le choix des matériaux et les critères de conception spécifiques à l'opération :

- Mode de réparation

- Remplacement complet :

La pièce de bois dégradée est déposée et remplacée intégralement par un élément de substitution.

- Remplacement partiel :

Seule la portion altérée est supprimée puis reconstituée par greffe d'une pièce de bois ou à base de mortier de résine, assemblée à la partie conservée.

- Adjonction d'éléments de renfort :

Des dispositifs complémentaires (moises, panneaux à base de bois, plaques métalliques, organes d'assemblage, etc.) sont ajoutés pour garantir le niveau de capacité portante adéquat sans remplacer la pièce.

- Matériaux utilisés

- Bois massif ou reconstitué :

- Bois massif : de section rectangulaire à usage structural conforme à la norme NF EN 14081-1, dont le classement mécanique est établi en référence aux classes définies dans la norme NF EN 338.
 - Bois massif abouté (BMA) : constitué d'éléments de bois massif assemblés bout à bout par entures multiples conforme à la norme NF EN 15497, dont le classement mécanique est établi en référence aux classes définies dans la norme NF EN 338.
 - Bois massif reconstitué (BMR) : constitué par collage de lames (2 à 5 lames) de bois massif d'épaisseur supérieure à 45 mm, conforme à la norme NF EN 14080 et classé mécaniquement suivant cette norme.
 - Bois lamellé-collé (BLC) : constitué par collage à plat de lames de bois massif d'épaisseur inférieure ou égale à 45 mm pouvant être aboutées, conforme à la norme NF EN 14080 et classé mécaniquement suivant cette norme.
 - Bois massif lamellé-croisé (CLT) : constitué par collage de couches croisées à 90° de lamelles de bois massif, conforme à la norme NF EN 16351 ou suivant une Evaluation Technique Européenne.
 - Lamibois (LVL) : constitué par collage de couches de placages de bois dont les fibres sont principalement orientées dans la même direction, conforme à la norme NF EN 14374.

Le taux d'humidité des pièces de bois à la mise en œuvre doit respecter les prescriptions spécifiques données dans les paragraphes 2.5 à 2.10 en fonction du type d'ouvrage.

- Panneaux à base de bois :

- Panneaux de contreplaqué : composés d'un empilage croisé de plis de bois liés entre eux par un collage organique, conformes aux normes NF EN 313-1 et 2 et NF EN 636.
 - Panneaux en lamibois (LVL) : constitués par collage de couches de placages de bois dont les fibres sont principalement orientées dans la même direction, conformes à la norme NF EN 14374.

- Panneaux OSB : constitués de grandes lamelles orientées et liées entre elles par un collage organique, conformes à la norme NF EN 300.

– Métal :

- Les nuances et qualités d'acier de construction métallique utilisées doivent être conformes aux spécifications de la NF EN 10025.
- Les nuances et qualités d'acier inoxydable à utiliser doivent être conformes aux normes NF EN 10088-2 et 3.
- Les organes de fixation métalliques de type tige (pointes, agrafes, vis ou tire-fonds, boulons) doivent être marqués CE conformément à la norme NF EN 14592 ou suivant une Evaluation Technique Européenne pour les assemblages de structures en bois dimensionnés conformément à l'Eurocode 5.
- Les connecteurs tels que plaques métalliques embouties, plaques de cisaillement, plaques à clouer sont conformes à la norme NF EN 14545.

– Adhésifs et résines :

Les résines utilisées pour sceller des tiges dans le bois sain et reconstituer une portion de section doivent faire l'objet d'une évaluation spécifique pour une utilisation en assemblage de structure bois.

Les adhésifs de type époxydique ou polyuréthane pour goujons collés dans les structures portantes en bois sont visés par la norme NF EN 17334.

Les adhésifs de type époxydique ou polyuréthane pour la réparation sur site de structures en bois fissurées sont visés par la norme NF EN 17418.

Les adhésifs utilisés pour le collage de panneaux à base de bois, de bois massif ou lamellé ou de lamibois doivent être classés comme des adhésifs de type I suivant les normes NF EN 301 ou NF EN 15425.

▪ Critères de conception :

– Sollicitations mécaniques :

Les solutions de réparation doivent permettre de garantir un niveau de performance mécanique au moins égal à celui de la pièce d'origine.

Les réparations ou renforcements associant le bois avec d'autres matériaux (métal ou résine) doivent être conçus en tenant compte des effets des différences de comportement des matériaux, en particulier les déformations différentielles liées aux variations hygroscopiques et au fluage du bois ainsi qu' à la dilatation du métal.

A défaut de spécifications contractuelles particulières, les justifications de dimensionnement sont à établir conformément aux règles de calcul Eurocodes.

– Conditions d'exposition :

Les pièces de bois doivent présenter une durabilité adaptée à la classe d'emploi.

Les risques de condensation sur les matériaux non hygroscopiques à l'interface avec le bois doivent être pris en compte.

Les éléments et organes métalliques doivent présenter une résistance à la corrosion suffisante compte tenu de l'environnement atmosphérique et de la corrosivité éventuelle du bois.

- Aspect :

L'aspect peut constituer un critère important, notamment pour les ouvrages visibles. Pour cela, on privilégie les solutions de réparation permettant de préserver au mieux l'esthétique initiale de l'ouvrage, en intégrant de manière discrète les renforts ou les greffes. Lorsque l'ouvrage est apparent ou patrimonial, les réparations en bois de même essence que l'existant sont souvent préférées afin d'assurer une homogénéité visuelle.

Les assemblages bois/bois et bois/métal à l'aide d'organes d'assemblage de type tige (pointes, vis, boulons, broches) ou connecteurs métalliques relèvent de la technique courante. Ils relèvent de l'Eurocode 5 (NF EN 1995-1-1 et NF EN 1995-1-2) et du NF DTU 31.1.

En revanche il n'existe pas de référentiel technique commun reconnu et partagé sur la réalisation d'assemblages et de reconstitution de section à l'aide de résine. Les entreprises spécialisées dans ce type de travaux s'appuient généralement sur des cahiers des charges validés par un bureau de contrôle. Ces documents décrivent notamment les principes de justification de dimensionnement et les différentes procédures permettant d'assurer la qualité et la fiabilité des assemblages, conformément aux recommandations du fabricant d'adhésif (ambiance hygrothermique et taux d'humidité du bois, préparation des surfaces, épaisseur des joints de collage, disposition des orifices d'injection et d'évents, dosage des composants, temps de polymérisation, ...).

Elles doivent disposer d'une police d'assurance mentionnant explicitement les techniques de réparation/renforcement à la résine.

5.2. SOULAGEMENT DE LA STRUCTURE

Au-delà de la nécessité éventuelle de conforter la structure endommagée pour assurer la sécurité du bâti et des intervenants, celle-ci doit impérativement être soulagée afin de réduire les efforts lors des opérations de réparation ou renforcement et assurer leur redistribution effective dans les parties réparées et les renforts après la remise en charge. Pour cela on utilise généralement les techniques suivantes :

- repos sur appuis provisoires telle que des étais réglables ou des tours d'étalement ;
- repos sur éléments de décharge rapportés temporairement, repris par d'autres parties de structure ;
- ajout d'éléments de renfort provisoire ;
- ajout d'une précontrainte provisoire, à l'aide de tirants métalliques par exemple.

5.3. REMPLACEMENT D'ELEMENTS DEFECTUEUX

Remplacement complet

Le remplacement complet des pièces endommagées est à privilégier lorsque la géométrie et l'accessibilité le permettent et que les solutions de réparation localisée (greffes, tiges collées et résine, renforts, ...) s'avèrent moins avantageuses car plus longues et plus coûteuses.

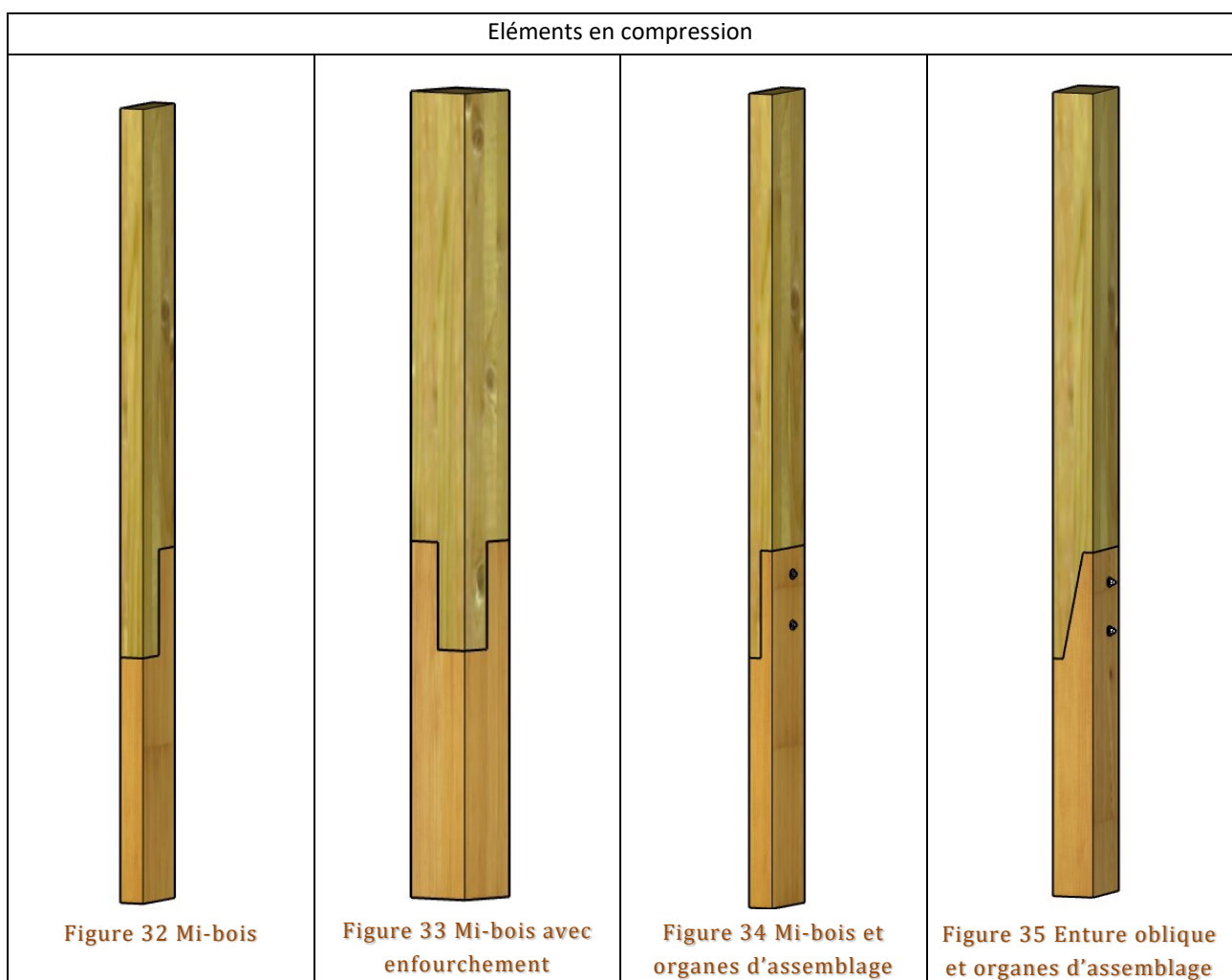
Greffes bois

La partie dégradée est coupée et remplacée par une nouvelle pièce bois de substitution.

- Greffe bois assemblée à la partie conservée par entailles sans ou avec organes de fixation

Pour les éléments en compression, les liaisons par entailles sont de type enture à mi-bois à simple épaulement, avec enfourchement ou oblique. L'ajout d'organes d'assemblage est nécessaire en cas d'efforts latéraux significatifs pour verrouiller la connexion.

- Le mi-bois permet de transmettre l'effort de la compression sur une surface d'appui horizontale et d'assurer le positionnement des éléments assemblés.
- L'enfourchement ajoute un maintien latéral grâce aux joues verticales et permet de reprendre de très faibles sollicitations transversales.
- L'enture oblique offre une résistance en compression accrue par la plus grande surface d'appui le long du plan incliné. Des organes d'assemblage sont systématiquement nécessaires, même en l'absence d'effort latéral, pour reprendre le glissement engendré par cette géométrie.



Pour les éléments en flexion, l'assemblage par entaille capable de reprendre la traction est l'enture oblique dite à trait de Jupiter où le plan incliné est interrompu par des épaulements en biseau empêchant le glissement longitudinal. Le verrouillage est assuré par l'insertion de clés en bois dur ou par des organes d'assemblage.

Eléments en flexion

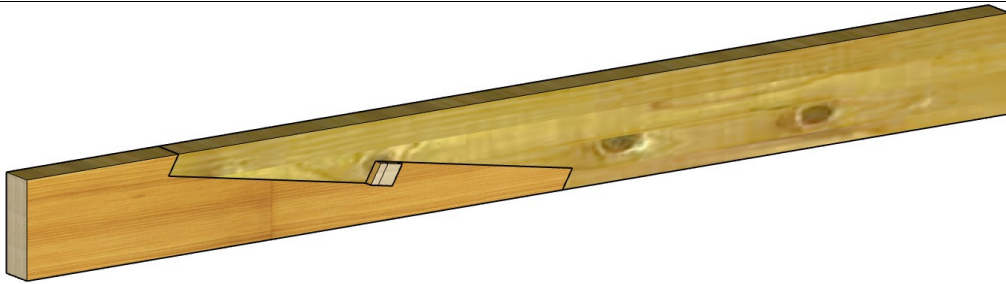


Figure 36 Trait de Jupiter avec clé



Figure 37 Trait de Jupiter avec organes d'assemblage

- Greffe bois assemblée à la partie conservée par plaques externes (panneaux à base de bois ou plaques métalliques) et organes de fixation

Les plaques externes ou panneaux à base de bois fixés sur les éléments à assembler de part et d'autre de la jonction permettent de recréer une continuité mécanique en transférant les efforts de traction, compression et cisaillement par l'intermédiaire des organes de fixation.

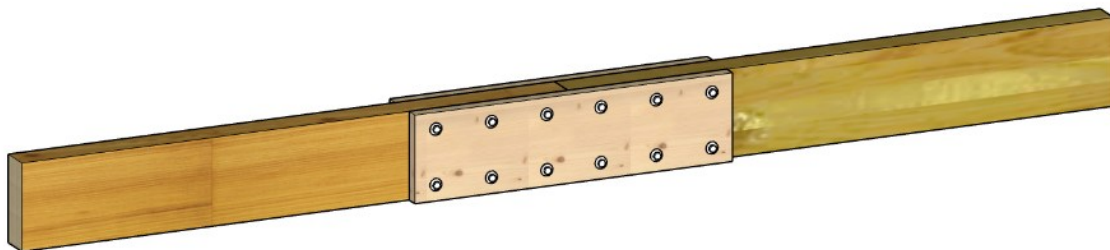


Figure 38 Panneau à base de bois et organes d'assemblage

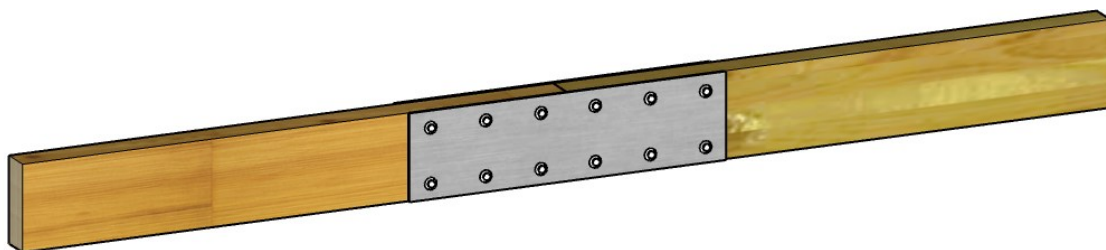
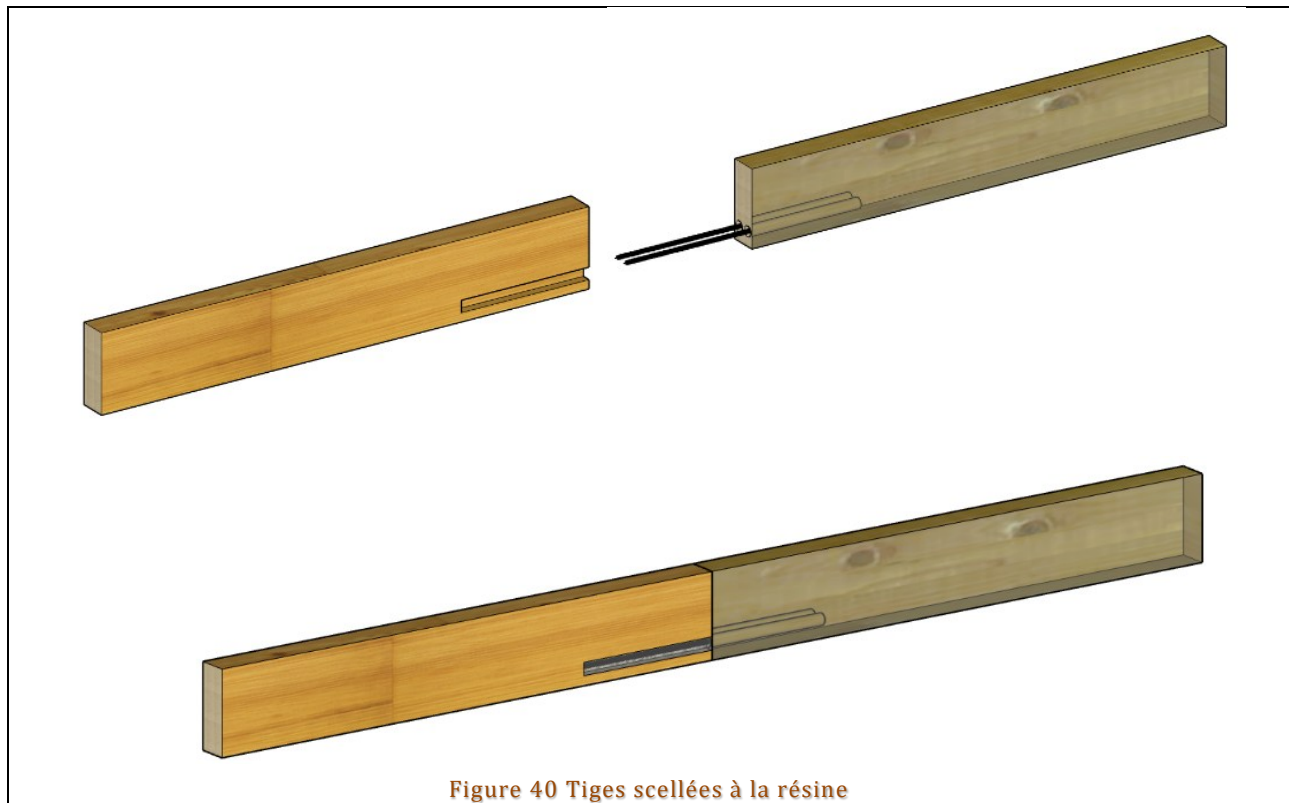


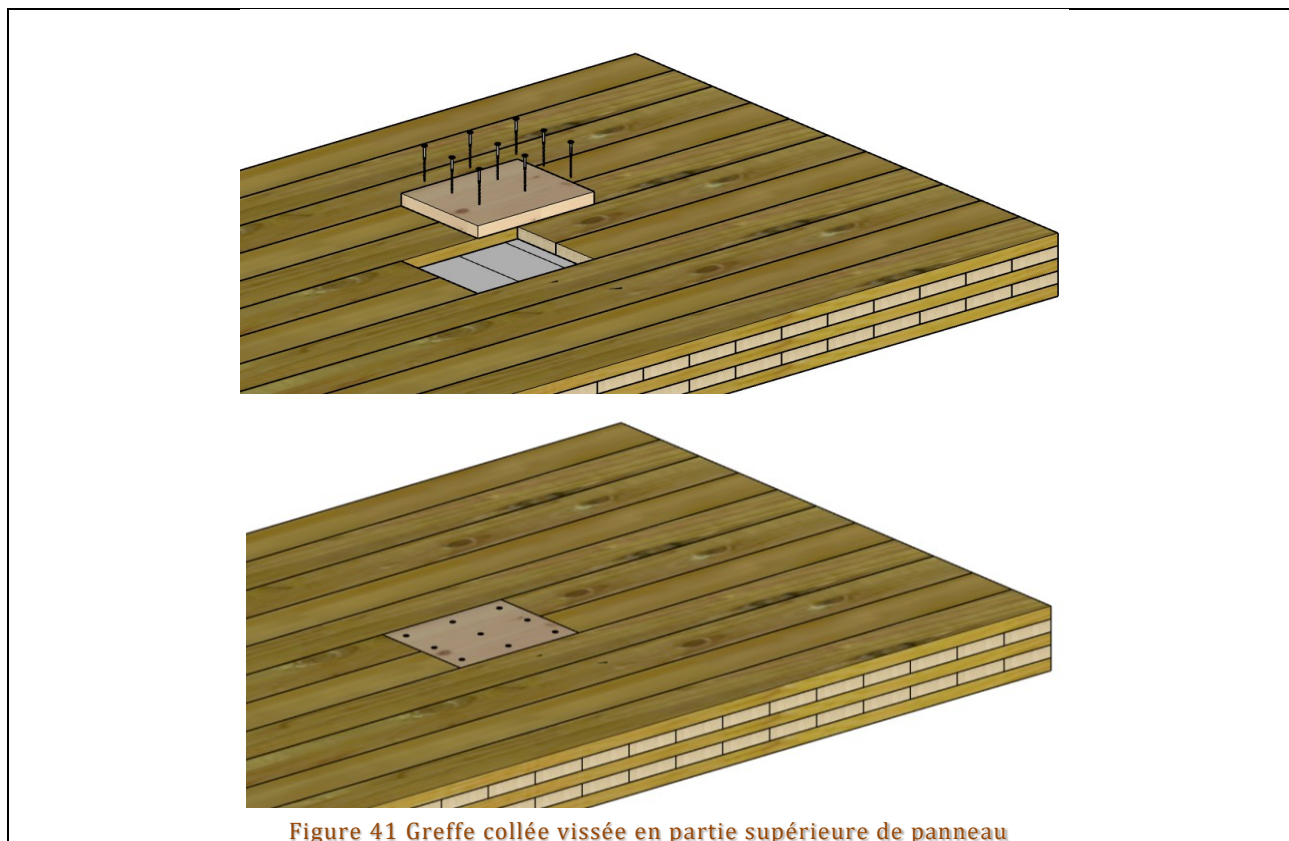
Figure 39 Plaque métallique externe et organes d'assemblage

- Greffe bois assemblée à la partie conservée par tiges collées

Les tiges sont scellées dans le bois sain par injection de résine dans des forages ou des saignées en face latérale. Elles permettent d'assurer le transfert d'efforts de traction et de cisaillement et éventuellement de compression lorsque celui-ci ne peut être repris uniquement par le contact greffe/bois.



- Greffe de panneau bois lamellé-croisé localisée assemblée par collage et vissage
La greffe mise en œuvre en substitution de la partie endommagée est assemblée à l'existant par collage structural avec vissage permettant d'appliquer la force de pressage durant la prise de l'adhésif.



Dans le cas d'une dégradation étendue, la greffe est constituée de plusieurs lamelles ou d'un segment de bois massif lamellé-croisé.

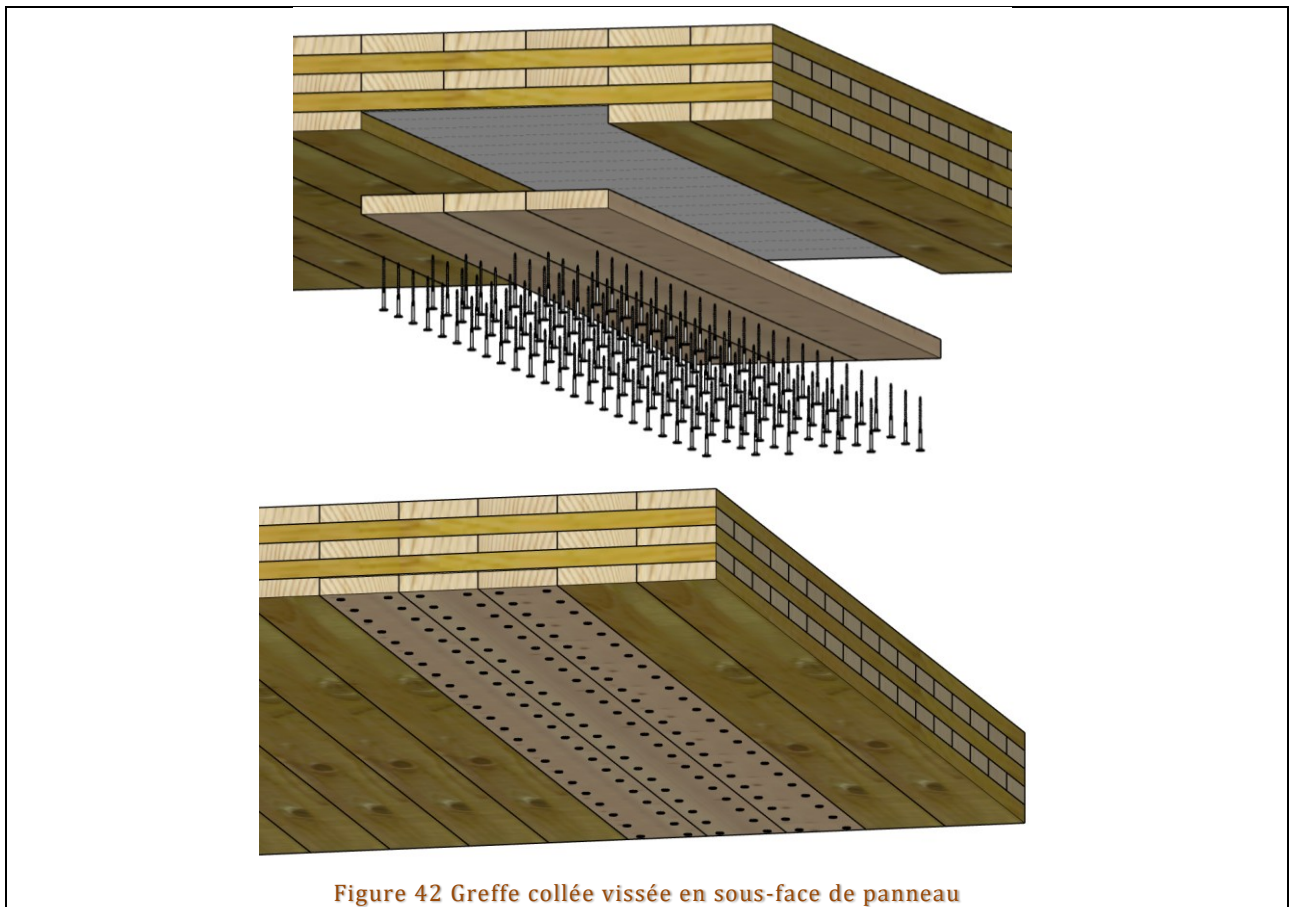


Figure 42 Greffe collée vissée en sous-face de panneau

Greffes à base de mortier de résine

Le bois dégradé est totalement purgé et substitué par un mortier de résine qui reconstitue la section manquante. La liaison avec l'existant est assurée par des tiges collées qui transmettent les efforts de traction, de cisaillement et éventuellement de compression, lorsque ceux-ci ne peuvent être intégralement repris par contact.

Le mortier de résine est mis en œuvre à l'aide d'un coffrage. Celui-ci peut-être à base de bois, choisi de manière à demeurer apparent.

Les tiges sont scellées dans le bois sain par injection de résine dans des forages ou des saignées en face latérale.

- About reconstitué au mortier de résine assemblé à la partie conservée par tiges collées



Figure 43 Greffe en mortier de résine et tiges collées

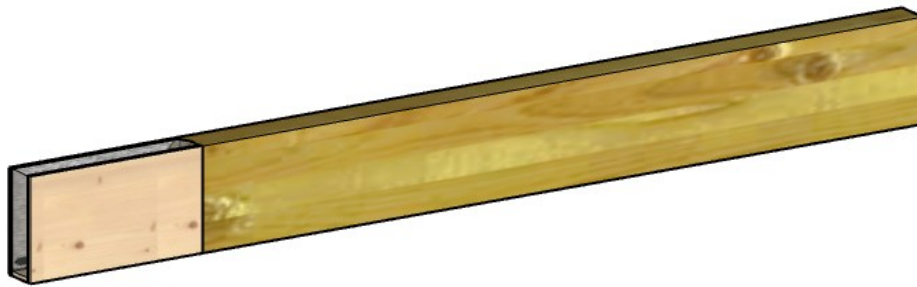


Figure 44 Greffe en mortier de résine et tiges collées avec parement bois

- Abouts reconstitués au mortier de résine assemblés entre eux et aux parties conservées par tiges collées

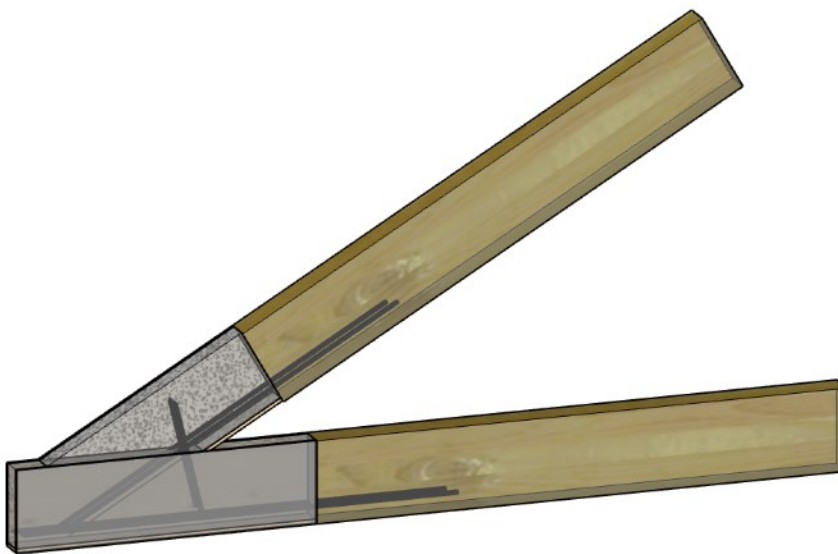


Figure 45 Greffes en mortier de résine et tiges collées

- Zone endommagée reconstituée au mortier de résine assemblée au bois sain par tiges collées
Dans le cas de dégradation localisée avec reconstitution partielle de section, la liaison entre le mortier de résine et le bois sain est systématiquement assurée par des tiges collées.

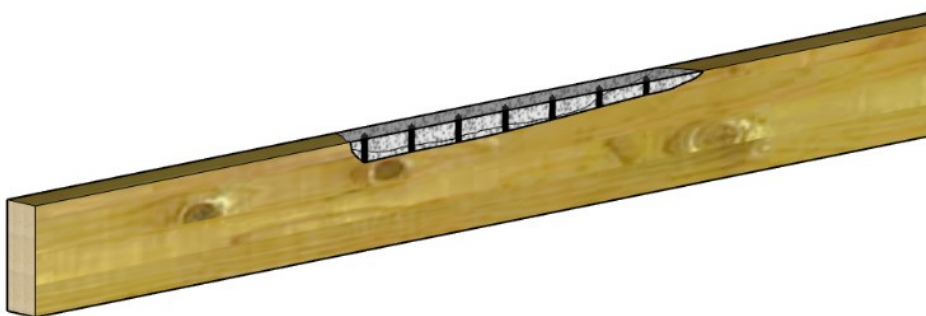


Figure 46 Reconstitution de section par mortier de résine et tiges collées

5.4. ADJONCTION D'ELEMENTS DE RENFORT

Des éléments de renfort peuvent être ajoutés afin de pallier la dégradation locale de la pièce en assurant la transmission des efforts au bois sain de part et d'autre de la zone défectueuse. Selon l'ampleur de la perte de section, deux types de solutions peuvent être envisagés :

- pontage intégral : le renfort reprend la quasi-totalité des efforts, déchargeant complètement la zone défectueuse, les assemblages assurant la transmission complète des sollicitations ;
- collaboration: si la section résiduelle le permet, le renfort fonctionne en collaboration avec celle-ci en étant associés mécaniquement de manière à former un système composite partiel dont l'efficacité dépend directement de la raideur de la liaison.

Au-delà des réparations, la nécessité d'un renforcement peut également être mise en évidence par l'étude de capacité structurale lorsque l'élément apparaît sous-dimensionné au regard des sollicitations auxquelles il est soumis. Dans ce cas les renforts ajoutés doivent contribuer à accroître la résistance ou la rigidité. Leur position sur la section (zone tendue, comprimée, neutre) et la disposition des organes métalliques (nombre, espacement, angle d'insertion, profondeur d'ancrage) jouent un rôle déterminant sur le fonctionnement composite.

Renforts bois

- Renforts bois sur face latérale assemblés à l'existant par organes de fixation (pointes, vis, broches, boulons)

Les renforts latéraux constituent une solution efficace pour réaliser un pontage intégral car ils permettent un transfert d'efforts normaux et de cisaillement réparti sur une grande longueur avec de nombreux connecteurs, conférant à l'ensemble une rigidité rotationnelle suffisante pour reprendre la flexion.

En fonctionnement composite, leur implantation le long des faces latérales contribue significativement au transfert du cisaillement et leur efficacité en flexion dépend principalement de leur inertie, leur excentrement par rapport à l'axe neutre étant nécessairement limité.



Figure 47 Renforts bois sur faces latérales fixés par organes d'assemblage

- Renfort bois sur chant (face supérieure ou inférieure) assemblé à l'existant par vis

Les renforts bois fixés sur chant permettent d'augmenter significativement la rigidité efficace dans un fonctionnement composite avec l'existant.

Leur position en fibre tendue ou comprimée est principalement conditionnée par les contraintes sur site.

Les organes d'assemblages peuvent être disposés avec un espacement variable suivant la variation d'effort tranchant.

L'insertion de vis inclinées permet d'accroître la rigidité de la liaison, en réduisant le glissement entre le renfort et le bois existant.

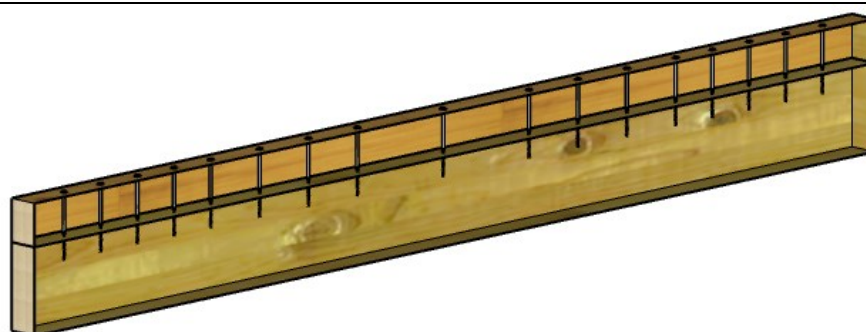


Figure 48 Renfort bois en face supérieure assemblé par vis à 90°

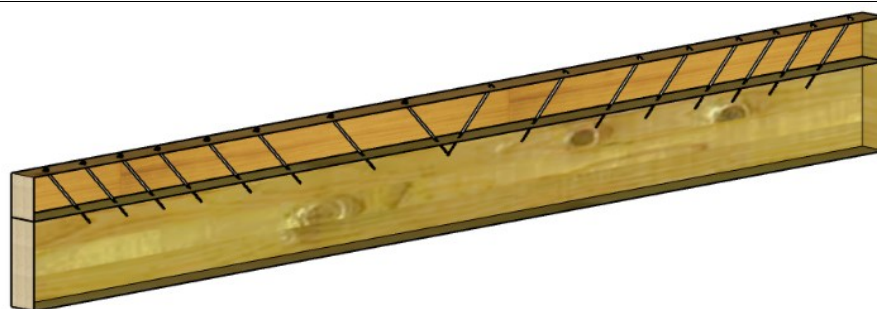


Figure 49 Renfort bois en face supérieure assemblé par vis inclinées

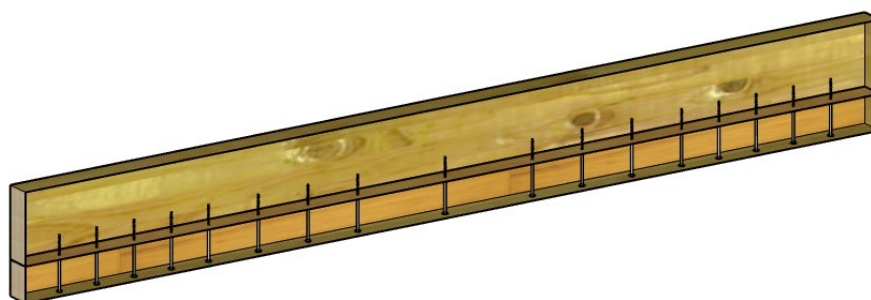


Figure 50 Renfort bois en face inférieure assemblé par vis à 90°



Figure 51 Renfort bois en face inférieure assemblé par vis inclinées

▪ Renfort bois pour reconstitution d'assemblage

La réparation d'un assemblage traditionnel peut être réalisée en ajoutant une nouvelle pièce de bois préalablement mortaisée afin de reconstituer un embrèvement, après retailage de l'about tenonné existant de manière à assurer l'ajustement. La pièce de renfort est fixée sur la pièce mortaisée existante par des organes de fixation et liaisonnée à l'about tenonné par une cheville bois.

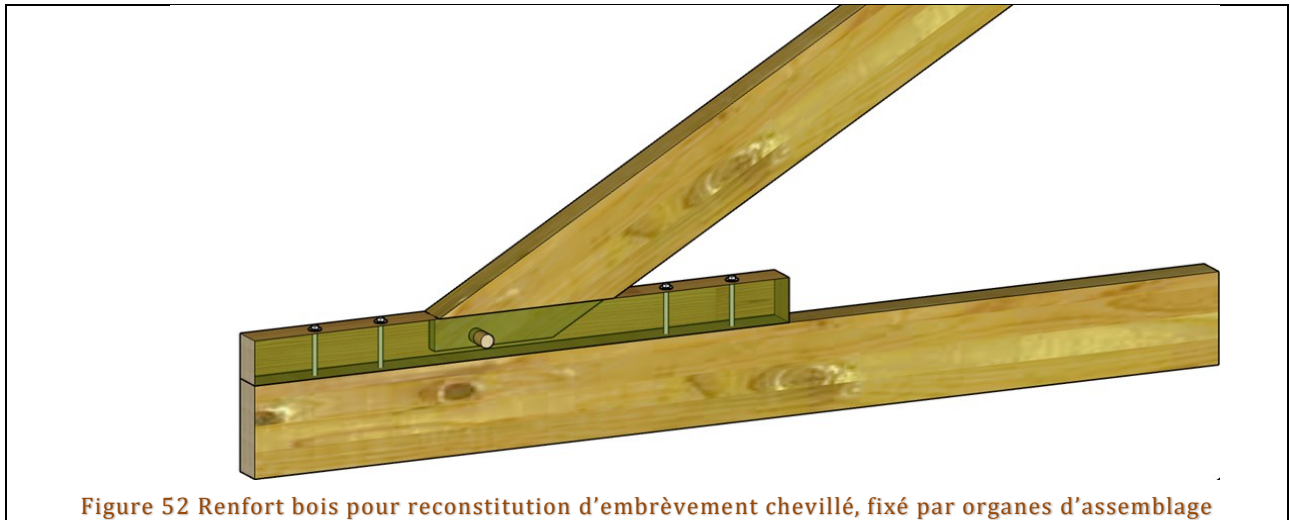


Figure 52 Renfort bois pour reconstitution d'embranchement chevillé, fixé par organes d'assemblage

- Renfort d'assemblage par goussets à base de bois

L'ajout de goussets en panneau à base de bois (contreplaqué, lamibois, ...) fixés par pointes ou vis sur les faces latérales des éléments assemblés au droit du nœud permet d'assurer la transmission des efforts de cisaillement et traction/compression.

La forme du gousset et la disposition des organes de fixation sont choisies de façon à éviter ou réduire au minimum les excentricités d'efforts.

Il convient également de tenir compte de la rigidité rotationnelle de l'assemblage, qui augmente avec la longueur de recouvrement et le nombre d'organes de fixation, pouvant influencer la distribution des efforts en introduisant de la flexion dans les barres.

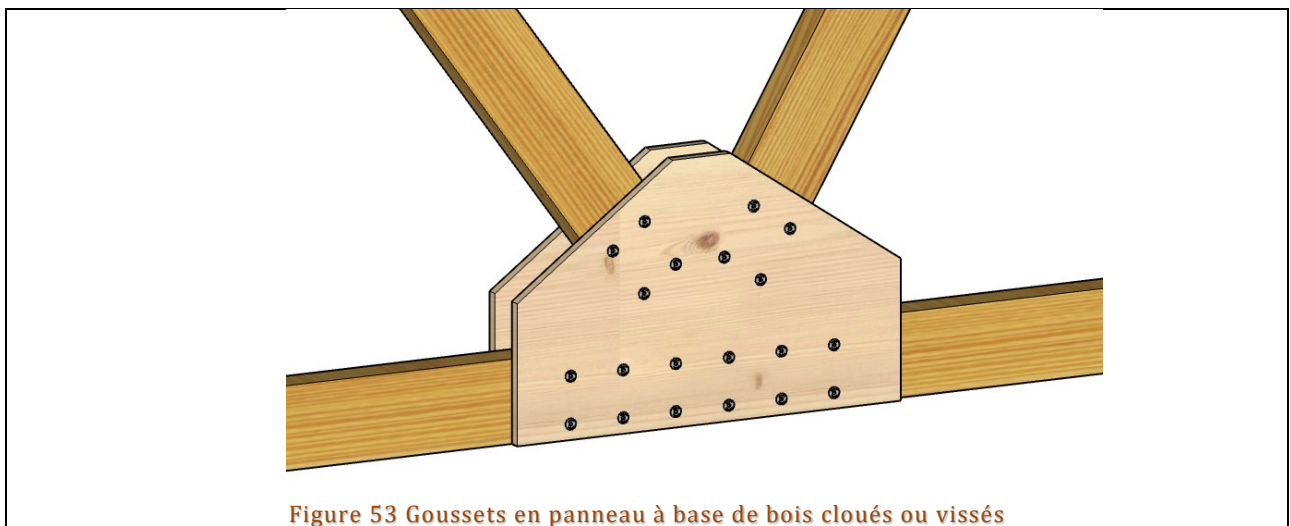


Figure 53 Goussets en panneau à base de bois cloués ou vissés

- Renfort d'appui

Le renforcement d'un appui défectueux peut être réalisé par adjonction d'éléments en bois, tels que jambe de force et pièces d'appui pouvant être associées pour former une triangulation, permettant de reporter les charges vers les zones saines.

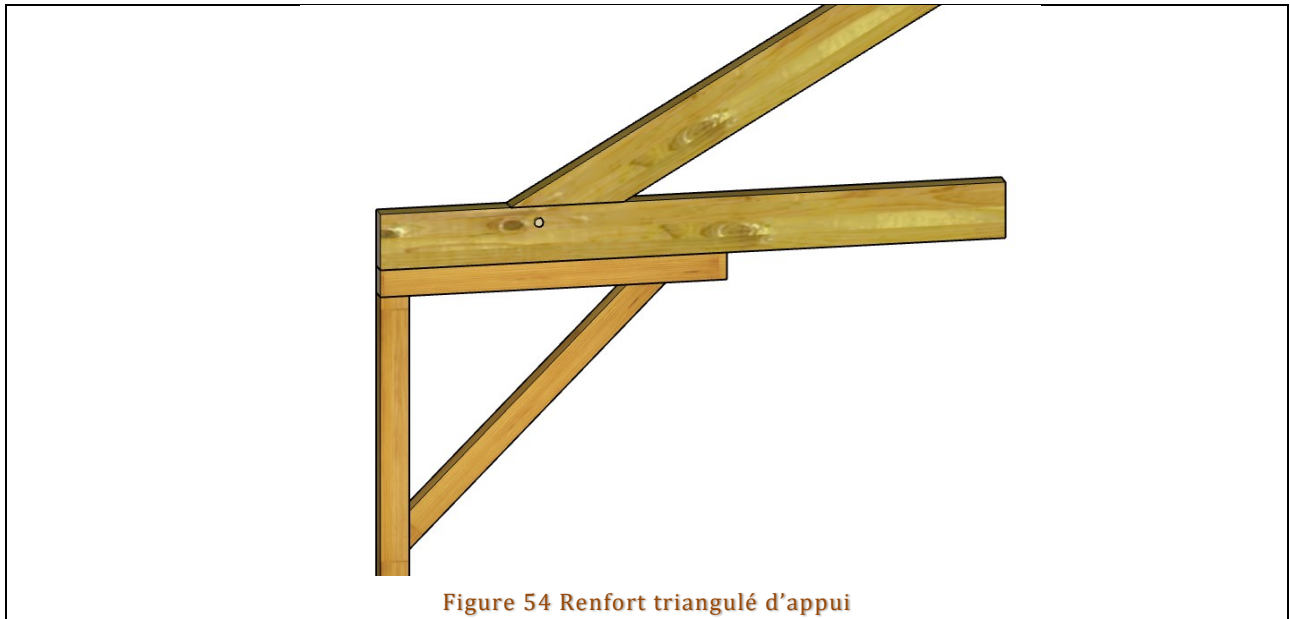


Figure 54 Renfort triangulé d'appui

Renforts par profilés métalliques

L'utilisation de profilés métalliques offre une large gamme de solutions permettant de reprendre efficacement les charges et améliorer la rigidité.

- Renforts par profilés métalliques en face latérale assemblés à l'existant par boulons

Les renforts sur face latérale réalisés avec des profilés métalliques, fixés à l'aide de vis ou boulons, apportent une rigidité élevée permettant d'assurer le pontage intégral de zone altérée ou d'augmenter significativement l'inertie efficace en fonctionnement composite.

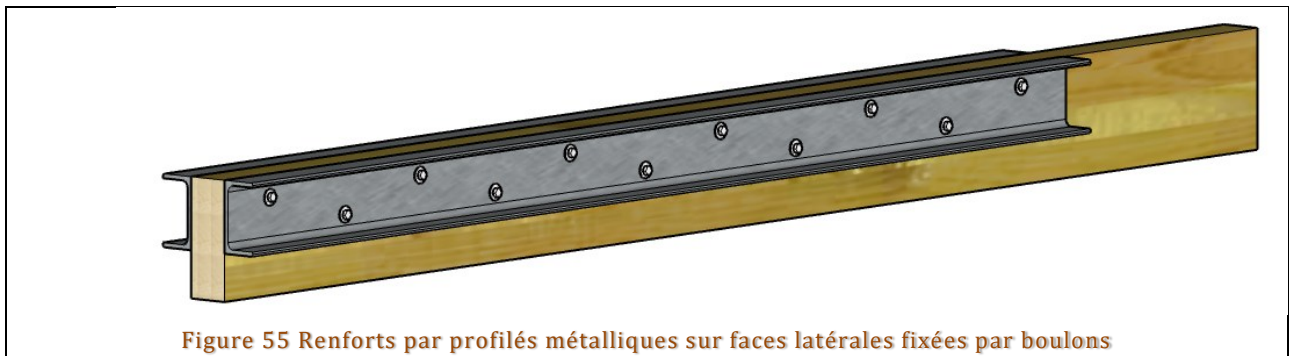


Figure 55 Renforts par profilés métalliques sur faces latérales fixées par boulons

- Renforts par profilés métalliques sur chant assemblé à l'existant par vis ou tire-fonds

L'ajout de plat métallique sur le chant d'une poutre, en face tendue ou comprimée, permet d'augmenter la résistance et la rigidité en flexion. Mais la capacité limitée de reprise en cisaillement de la section ainsi renforcée restreint les possibilités de pontage sans disposition complémentaire telles qu'un plat opposé, une pièce d'appui additionnelle ou tout autre élément assurant la continuité de la section.

L'insertion de profilé métallique en T dans une entaille longitudinale et fixée sur chant permet de cumuler les avantages des solutions précédentes.



Figure 56 Renfort par profilé métallique fixé sur face supérieure et inséré en âme

GUIDE PRATIQUE

REPARATION DES OUVRAGES BOIS APRES SINISTRES

DEGATS DES EAUX, INCENDIE

Intervenir sur un ouvrage bois après un sinistre exige de dresser un constat précis des désordres et d'en évaluer les conséquences afin de définir des solutions techniques adaptées. La singularité de chaque configuration impose une approche contextualisée ; ce guide met donc en avant les aspects déterminants à considérer pour restaurer les performances de l'ouvrage en privilégiant des interventions justes et proportionnées.

Il présente les principaux mécanismes d'altération des ouvrages bois par l'eau et le feu ainsi que les critères permettant d'apprécier l'étendue des désordres et l'état résiduel des éléments structuraux. Les principales techniques de réparation et de renforcement sont décrites afin de guider le choix de solutions, dans le cadre d'une démarche de réhabilitation structurée.

Destiné aux différents acteurs d'opération de réhabilitation, il constitue un support pratique pour concevoir et mettre en œuvre des interventions ciblées, maîtrisée et adaptée aux principales typologies d'ouvrages bois endommagés par un sinistre.

AUTEUR :



INSTITUT TECHNOLOGIQUE

Allée de Boutaut
33000 BORDEAUX
Tel +33 (0)5 56 43 63 00
Fax +33 (0)5 56 43 64 80
construction@fcba.fr
www.fcba.fr

FINANCEMENT :



Développement des Industries Françaises
de l'Ameublement et du Bois