# DIAGNOSTIC DE LA PÉRENNITÉ DU BOIS

## CONTEXTE

### Généralités

La durabilité des bois mis en œuvre est largement conditionnée par le choix d'une essence adaptée au site et notamment aux conditions d'exposition et par le respect de dispositions constructives appropriées [1].

Concernant le choix de l'essence, l'atteinte de la durée d'utilisation visée peut être obtenue de deux façons [2] :

– sur la base de la durabilité naturelle de l'essence choisie ;
– sur la base d'une durabilité conférée à l'essence au moyen d'un traitement de préservation.

Concernant la résistance mécanique, il convient de rappeler que le bois est un matériau anisotrope dont le comportement dépend du sens de sollicitation par rapport à l'orientation des fibres. Il présente de bonnes caractéristiques mécaniques parallèlement aux fibres avec toutefois un comportement fragile en traction. Perpendiculairement aux fibres, ses caractéristiques sont médiocres.

Le matériau bois présente un coefficient de dilatation thermique différent et généralement plus faible que celui des matériaux classiques de génie civil que sont le béton et l'acier. Ce coefficient est différent selon le sens des fibres.

Dans le sens transversal aux fibres, le bois présente d'importantes variations dimensionnelles d'origine hydrique.

Le diagnostic d'une structure en bois comprend généralement :

– l'analyse de la pertinence du choix initial de l'essence et de son éventuel traitement de préservation ;
– l'analyse des dispositions constructives retenues pour assurer la protection des bois pendant la durée d'utilisation de l'ouvrage ;
– l'analyse du mode de fonctionnement des éléments et de leurs assemblages ;
– la caractérisation de l'hygrométrie de ses différentes parties qui conditionne largement le risque d'attaques fongiques ;
– la détection d'attaques par insectes à larves xylophages ou de la présence de termites ;
– la caractérisation des désordres structurels ou liés à une mauvaise appréciation des variations dimensionnelles d'origine thermique et/ ou hydrique (fissuration, désorganisation d'assemblage, écrasement des fibres du bois, etc.).

La présente fiche est limitée au diagnostic de l'état en place du matériau bois et ne couvre pas les pathologies structurelles.

### Rappel sur les differents agrésseurs du bois


Source photo (Cerema)

#### Les champignons lignivores

Principal risque des ouvrages d'art en bois, ces champignons se nourrissent de la lignine du bois détruisant ainsi sa cohésion et dégradant sa résistance.

Leur développement est possible lorsque l'humidité relative du bois est comprise entre 20 et 80% environ. C'est pourquoi, un bois abrité ou immergé n'est pas sujet à ce type d'attaque.

Ce désordre est caractérisé par une fibre dégradée en surface, une humidité du bois anormale, ou des spores. Ce dernier cas est le signe d'un bois fortement dégradé.


Source photo (FCBA)

#### Les insectes à larves xylophages

Ce sont des coléoptères qui pondent sur les bois mis en œuvre (capricornes, vrillettes, charançons, etc.). Leurs larves se développent et creusent des galeries au sein du matériau en se nourrissant de ce dernier.

La présence de trous d'envol ou de sciure est un indice pouvant indiquer une attaque d'insectes à larves xylophages.


Source photo (FCBA)

#### Les termites

Très difficiles à détecter, les termites se trouvant sur le territoire français creusent des galeries dans le sol afin de rejoindre l'ouvrage en bois qui ne présente pas de signe extérieur lorsqu'il est attaqué. La carte des arrêtés préfectoraux relative au risque « termites » publiée par le FCBA [3] permet d'apprécier la probabilité de l'attaque selon la localisation de l'ouvrage sur le territoire de la France métropolitaine.

En milieu marin, les térébrants marins constituent un autre agresseur du bois. Il s'agit d'organismes (mollusques ou crustacés) qui creusent des galeries au sein des bois immergés. La présente fiche ne traite pas de ce type de pathologie très spécifique.

### Les matériels et les techniques d'auscultation disponibles

Les principaux matériels d'auscultation non destructive sont :

– les hygromètres résistifs (cf. NF EN 13183-2 [4]) ou capacitifs, qui donnent une valeur de l'hygrométrie du bois (fiches Auscultation B4-1 et B4-3) ;
– les radars qui fonctionnent en émission-réception et qui permettent de détecter des zones de plus forte humidité, y compris à travers d'autres éléments de l'ouvrage comme la chaussée par exemple (fiche Auscultation B4-2) ;
– les appareils à ultrasons qui fonctionnent sur le même principe que ceux utilisés pour le classement machine des bois de construction (cf. NF EN 14081-2 [5]) et qui permettent d'associer des vitesses de transmission de l'onde ultrasonore à une résistance mécanique ou de détecter d'éventuels plans de fissuration (fiche Auscultation B4-4) ;
– le « test au marteau », qui consiste à frapper les éléments de bois et à écouter le son produit afin de détecter une éventuelle cavité due à une attaque de termites.

L'auscultation à l'aide du radar ou de la sonde capacitive plane est généralement basée sur une comparaison des mesures entre une zone saine et une zone a priori dégradée. Lorsque qu'une quantification est recherchée des calibrations en laboratoire sur échantillons prélevés peuvent s'avérer nécessaires.

En dehors de ces techniques non destructives, il peut être nécessaire de recourir à des investigations destructives appliquées localement, sans porter atteinte à l'intégrité fonctionnelle de l'élément. Il peut s'agir :

– de prélèvements pour mesure de l'hygrométrie réelle par dessiccation (voir norme NF EN 13183-1 [6]) ;
– de prélèvements pour essais mécaniques – Essai de compression longitudinale (NF ISO 13061 [7]), Essai de flexion statique (NF B 51- 008 [8]) ;
– de prélèvements pour microscopie et analyse chimique ;
– du test dit « du tournevis » qui consiste à enfoncer une lame dans les premières fibres du bois, à la faire pivoter, et à reconnaitre ensuite la forme de la rupture ; en effet, en cas d'attaque fongique la fibre sera plus molle et pourra rompre, alors qu'en cas de bois sain le mouvement a tendance à séparer les fibres ;
– de tests de pénétration dynamique qui consistent à enfoncer une aiguille dans le bois à l'aide d'un dispositif mécanisé à énergie fixe et à mesurer la profondeur de pénétration. En cas d'attaque fongique ou de présence de cavités dues à des insectes à larves xylophages ou à des termites la pointe s'enfoncera plus facilement ;
– de l'examen à l'aide d'un résistographe qui consiste à mesurer l'énergie nécessaire à l'enfoncement d'une pointe dans le bois pour différentes longueurs d'enfoncement. On obtient ainsi une courbe de dégradation fonction de la profondeur d'enfoncement (cette technique est couramment utilisée pour les arbres sur pied).

## MÉTHODOLOGIE DU DIAGNOSTIC

D'une manière générale, le déroulement des investigations et leur nombre dépendent du niveau de finesse recherché et de l'enjeu stratégique de l'élément étudié. En effet, un platelage en bois ne nécessitera pas les mêmes niveaux d'investigation que des poutres porteuses.

Si, par exemple, l'inspection détaillée a suspecté une attaque biologique dans un élément secondaire de la structure pouvant être remplacé sans pour autant interrompre l'exploitation de l'ouvrage, un simple zonage des zones dégradées pourra être suffisant et l'étape 3 de la présente fiche ne sera pas forcément nécessaire.

| | |
|---|---|
| ÉTAPE 1<br>ANALYSE DU DOSSIER DE L'OUVRAGE | La consultation des archives doit viser le recueil d'un maximum d'informations sur la nature des bois et le fonctionnement de la structure. En effet, cette analyse peut permettre de relever un défaut de conception en relation avec la durabilité du bois et de mauvaises dispositions constructives.<br><br>Cette analyse permet également de recueillir la date de construction, des informations sur la qualité des bois mis en œuvre (essence, classe de résistance, traitement de préservation, etc.), sur les résultats des contrôles de chantier effectués lors de la construction, ainsi que sur la conception des assemblages et sur la maintenance passée de l'ouvrage. |
| ÉTAPE 2<br>INSPECTION DÉTAILLÉE | Cette étape est indispensable, elle peut faire partie du programme de suivi périodique de l'ouvrage dans le but de s'assurer de son bon comportement ou découler d'une action de surveillance particulière, par exemple, lorsque l'ouvrage a connu un sinistre. Le guide technique du LCPC [8] constitue une bonne aide pour mener cette inspection détaillée.<br><br>Si la nature du bois n'est pas indiquée dans le dossier d'ouvrage, l'inspecteur doit essayer de l'identifier.<br><br>L'inspection détaillée des ouvrages en bois a la particularité de comprendre des mesures d'hygrométrie permettant de détecter des zones de forte humidité. L'objectif de l'inspection est d'identifier l'origine des éventuelles attaques du bois, de les localiser et d'en réaliser une première quantification.<br><br>En extérieur, les bois issus d'essences de résineux doivent normalement présenter, au sein des structures de génie civil, une humidité relative inférieure à 20% pendant la majeure partie de l'année.<br><br>En utilisation intérieure, la valeur limite se situe plutôt à 12%. Les mesures d'hygrométrie permettent ainsi de détecter les zones de forte humidité. Dans ces zones, l'inspecteur identifie les éventuels signes d'attaques fongiques (zones de pourriture, présence de champignons, etc.) et évalue l'importance du phénomène. A cet effet, le test dit « du tournevis » peut être utilement mis en œuvre. |

| | |
|---|---|
| ÉTAPE 2<br>INSPECTION DÉTAILLÉE | La détection d'attaques fongiques, si elle est faite suffisamment tôt, permet de prévenir l'apparition de défauts plus graves qui nécessiteraient des travaux lourds voire le remplacement de tout ou partie de l'ouvrage.<br><br>L'inspecteur recherche parallèlement la présence de trous d'envols caractéristiques d'attaques par larves xylophages.<br><br>L'auscultation au marteau permet de détecter la présence de cavités internes dont l'origine pourrait être imputée à des attaques de termites dans les territoires exposés à ce risque. Cette auscultation est tout particulièrement recommandée dans le cas des bois situés à proximité du sol. Le cas échéant, l'auscultation au marteau est complétée par un examen de confirmation à l'aide d'un endoscope. |
| ÉTAPE 3<br>AUSCULTATION | **Auscultation sur site**<br><br>L'objectif principal de cette étape est de confirmer l'origine des attaques identifiées lors des inspections détaillées et de caractériser l'ampleur des phénomènes en classant les bois exposés en quatre catégories :<br><br>– bois sain ;<br>– bois présentant une attaque de champignon lignivore ;<br>– bois présentant une attaque d'insectes à larves xylophages ;<br>– bois présentant une attaque par les termites.<br><br>Pour cela, il peut être nécessaire de mettre en œuvre plusieurs techniques non destructives ou partiellement destructives en fonction de différents paramètres comme la forme et l'importance de l'ouvrage, la nature des bois, les conditions d'accès, les conditions d'exploitation, etc.<br><br>Il faut garder à l'esprit que l'un des principes de l'auscultation est de limiter les tests destructifs pour éviter de porter atteinte à la durabilité de l'ouvrage et d'optimiser les informations relevées afin de diminuer les coûts. Il est souvent pertinent de combiner plusieurs méthodes. Les méthodes non destructives peuvent permettre de sélectionner les zones où des prélèvements seraient pertinents.<br><br>Dans le cas d'attaque fongique, il est important de localiser les zones attaquées, de caractériser l'avancement du phénomène et d'en apprécier les effets sur la résistance de la structure (dimensions des zones atteintes en surface et en profondeur, quantification de l'humidité du bois, etc.).<br><br>La campagne d'investigations sur site comprend en général des mesures hygrométriques. Ces mesures viennent compléter les mesures réalisées lors de l'inspection détaillée et consistent le plus souvent en des mesures de résistivité. Elles sont réalisées selon un maillage plus dense que lors de l'inspection détaillée et à différentes profondeurs (utilisation d'aiguilles de différentes longueurs généralement comprises entre 1 et 5 cm).<br><br>Pour les ouvrages les plus importants, les mesures de résistivité sont généralement accompagnées d'une auscultation par sonde capacitive et à l'aide d'un radar.<br><br>Ces deux dernières techniques qui permettent de dresser une cartographie de l'hygrométrie du bois de façon plus aisée que les mesures ponctuelles de résistivité, sont complémentaires. La sonde capacitive donne une information sur l'humidité moyenne « de surface », alors que la technique radar permet d'ausculter le matériau plus en profondeur.<br><br>NOTE : A titre d'ordre de grandeur, le volume d'investigation de la sonde capacitive dépend principalement des dimensions des électrodes et de leur écartement, 7-8 cm de profondeur pour les grandes électrodes et 2-3 cm pour les électrodes intermédiaires.<br><br>Pour ces deux techniques, il est rappelé que lorsqu'une quantification de l'humidité est recherchée, des calibrations en laboratoire sur échantillons prélevés sont nécessaires.<br><br>Les mesures de détection de pourriture par ultra-sons restent d'utilisation plus marginale, elles nécessitent l'accès aux deux faces et sont plus longues à mettre en œuvre.<br><br>Les investigations sont systématiquement accompagnées du test au tournevis qui permet d'apprécier, en surface, les conséquences de l'humidité sur les propriétés mécaniques du bois.<br><br>La mise en œuvre in-situ de tests d'enfoncement d'aiguilles dans le bois (pénétromètre dynamique, résistographe) dans le cadre du diagnostic de structures en bois est aujourd'hui peu répandue.<br><br>Une fois la campagne de mesures réalisée, il est possible d'effectuer des cartographies et d'analyser les valeurs obtenues afin de déterminer si des prélèvements sont nécessaires et le cas échéant de les localiser (ces prélèvements peuvent éventuellement être réalisés lors de la phase de reconnaissance sur site si les désordres sont avérés et si les conditions d'accès sont contraintes).<br><br>Dans le cas d'attaque d'insectes à larves xylophages, l'organisme parasite peut-être détecté par simple observation des trous d'envol, en principe dès le stade de l'inspection détaillée. Ce type d'attaque, sauf si détecté extrêmement tardivement n'ont pas une forte influence sur le comportement de l'ouvrage et un simple traitement chimique insecticide suffit. |

ÉTAPE 3
AUSCULTATION

Si le « test du marteau » mis en œuvre lors de l'inspection détaillée a donné une résonance particulière (présence d'une cavité), la présence de termites est possible. S'il n'a pas été mis en œuvre lors de l'inspection détaillée, un examen à l'aide d'un endoscope au droit de trous d'observation doit permettre de confirmer une telle attaque (voir la fiche C1-5 rédigée pour la précontrainte et adaptable au bois). Ces trous doivent être rebouchés avec de la pâte à bois Il existe également des méthodes d'écoute phonique, toutefois coûteuses, qui permettent de mettre en évidence la présence de termites.

**Réalisation de prélèvements et essais en laboratoire**

Dans certains cas, la réalisation de prélèvements est nécessaire, notamment lorsque les contrôles sur site ne sont pas suffisants pour qualifier le bois mis en œuvre dans l'ouvrage ou quantifier les conséquences des désordres.

La localisation et le nombre de prélèvements dépendent des cartographies réalisées in-situ et doivent être représentatifs de différents niveaux de dégradation. Des prélèvements doivent aussi être réalisés dans une zone saine.

L'objectif des essais en laboratoire peut être de :

– qualifier l'essence si celle-ci est inconnue ;
– confirmer l'origine de la pathologie ;
– calibrer les mesures obtenues par techniques non-destructives ;
– déterminer la classe de résistance des bois, dans le cas par exemple d'une évaluation structurale.

Les investigations en laboratoire peuvent consister en :

– reconnaissance au microscope de l'essence mise en œuvre ;
– reconnaissance au microscope du type de champignon concerné en cas d'attaque fongique ;
– reconnaissance du phénomène biologique de dégradation (perte de masse, activité biologique, etc.) ;
– calibration des mesures d'essais non destructifs sur échantillons prélevés ;
– réalisation d'essais mécaniques (essai de compression longitudinale suivant la norme NF ISO 13061 [7], essai de flexion statique suivant la norme NF B 51-008 [9], etc.).

Selon l'importance et l'étendue des désordres affectant le matériau bois, différentes actions de gestion peuvent être envisagées :

– surveillance classique de l'ouvrage ;
– surveillance renforcée ;
– mesure de sauvegarde ou d'exploitation : confortement provisoire, limitation de tonnage, etc. ;
– entretien spécialisé :
    – traitement localisé : fongique, insecticide,
    – modification locale des dispositions constructives : assainissement, étanchéité, protection par bardage, etc.,
    – remplacement d'éléments secondaires de la charpente ;
– réparation :
    – modification d'ampleur de la structure,
    – remplacement d'éléments porteurs de la charpente ;
– démolition / reconstruction.

## RÉFÉRENTIEL


[1] Guide pour la conception des ouvrages en bois. – AFGC – Février 2013

[2] Ponts en bois. Comment assurer leur durabilité ? – Sétra – Novembre 2006

[3] FCBA – Site internet www.fcba.fr

[4] NF EN 13183-2 - Teneur en humidité d'une pièce de bois scié - Partie 2 : estimation par méthode électrique par résistance. Juin 2002

[5] NF EN 14081-2 - Structures en bois - Bois de structure à section rectangulaire classé pour sa résistance - Partie 2 : classement mécanique par machine; exigences supplémentaires concernant les essais de type. Octobre 2018

[6] NF EN 13183-1 - Teneur en humidité d'une pièce de bois scié - Partie 1 : détermination par la méthode par dessiccation. Juin 2002

[7] NF ISO 13061- Propriétés physiques et mécaniques du bois - Méthodes d'essais sur petites éprouvettes de bois sans défauts - Partie 17 : détermination de la contrainte maximale en compression longitudinale. Juin 2018

[8] Recommandations pour l'inspection détaillée des ouvrages en bois. Guide Technique du LCPC. Avril 2008

[9] NF B 51-008 - Bois - Essai de flexion statique - Détermination de la résistance à la flexion statique de petites éprouvettes sans défaut. Juillet 2017

Recueil de méthodes d'auscultation des matériaux et structures d'ouvrages d'art :

- B4-1 : Contrôle de l'humidité du bois par résistivité
- B4-2 : Détection de l'humidité et de la pourriture par radar
- B4-3 : Détection humidité par sonde capacitive
- B4-4 : Détection de pourriture et/ou de fissures dans le bois par ultrasons
- C1-5 : Endoscopie (Application à la recherche de vide et / ou de zones corrodées dans les conduits de précontrainte

## LOGIGRAMME

Un logigramme ou un schéma décisionnel résume la méthodologie du diagnostic en visualisant de façon séquentielle et logique les actions à mener et les décisions à prendre.

# D4-1 : DIAGNOSTIC DE LA PÉRENNITÉ DU BOIS

