ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

Méthodologie de diagnostic et d'évaluation des performances pour le réemploi des charpentes industrialisées

FONDATION
BÂTIMENT
ENERGIE

MÉTHODOLOGIE DE DIAGNOSTIC ET
D'ÉVALUATION DES PERFORMANCES POUR LE
RÉEMPLOI DES CHARPENTES INDUSTRIALISÉES

FONDATION
BÂTIMENT
ENERGIE

ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

Cadre général 4
Préambule 5

1. Introduction 8

1.1 Domaine d'application du document 9

1.2 Description de la méthodologie 10

2. Diagnostic du produit dans l'ouvrage existant 11

2.1 Introduction 12

2.2 Informations générales sur le bâtiment existant 12

2.3 Diagnostic relatif au produit 13
2.3.1 Description technique du produit pendant la vie en œuvre avant dépose 13
2.3.1.1 Enregistrement des pathologies. 17
2.3.1.2 Analyse structurell 17
2.3.2 Quantité disponible en réemploi 18
2.3.3 Accès au gisement (déconstruction) 18

2.4 Diagnostic relatif au domaine d'emploi initial 19
2.4.1 Usage et localisation du produit sur/dans l'ouvrage existant 20
2.4.2 Localisation géographique du bâtiment 20
2.4.3 Historique de la vie du produit 20
2.4.4 Typologie de l'ouvrage initial 21
2.4.5 Conditions d'exposition extérieure 21
2.4.6 Conditions d'exposition intérieure 21
2.4.7 Sollicitations mécaniques 21

3. Performances et modes de preuve 22

3.1 Introduction 23

3.2 Performances pour le réemploi 24
3.2.1 Qualité de l'air intérieur (réglementaire) 24
3.2.1.1 Substances dangereuses (réglementaire) 24
3.2.1.2 Performances environnementales et sanitaires (réglementaire) 25
3.2.1.3 Performance acoustique (réglementaire) 25
3.2.1.4 Caractéristiques physico-mécaniques (réglementaire) 25
3.2.1.5 Mesurage de la teneur en humidité et des gradients d'humidité du bois (aptitude à l'emploi) 27
3.2.1.6 Caractérisation du dommage biologique 28
3.2.1.7 Classement du bois selon la résistance 28
3.2.1.8 Différents instruments de mesures pour la caractérisation du bois 29
3.2.1.9 Reclassement du bois selon la résistance 33

3.3 Récapitulatif des performances 34

Annexe A
Glossaire 36

Annexe B
Chronologie d'un diagnostic réemploi du bois de charpentes industrialisées 42

Annexe C
Normes, règles de l'art et marque de qualité 45

Annexe D
Performances requises pour pour les bois de charpentes industrialisées 53

Annexe E
Logigramme 57

Annexe F
Fiche réemploi 59

Annexe G
Précautions à respecter de la dépose à la remise en œuvre 65

MÉTHODOLOGIE DE DIAGNOSTIC ET D'ÉVALUATION DES PERFORMANCES POUR LE RÉEMPLOI DES CHARPENTES INDUSTRIALISÉES

FONDATION BÂTIMENT ENERGIE

ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

Coordination de l'enjeu
Olivier **DUPONT** / MECD

Responsable du document
Zaratiana MANDRARA / FCBA

Contributeurs groupe recherche
Hugo BONNET / CYCL'UP
Ingrid BERTIN / SETEC
Mathieu FAILLE, **Carole LE BLOAS** / QUALICONSULT
N. BLANCHARD / CSTB

Contributeurs groupe utilisateurs
AQC
Bellastock
Cycle Up
Doyère Déconstruction
Raedificare

Coordination générale de l'atelier sur l'Économie Circulaire
Sylvain LAURENCEAU / CSTB

Décembre 2020

Créée à l'initiative de l'ADEME et du CSTB, la Fondation Bâtiment Énergie est financée par les partenaires fondateurs suivants :

ArcelorMittal EDF GRDF LafargeHolcim

Cadre général

Le secteur du bâtiment est à la fois un important producteur de déchets, un important consommateur de ressources, un des secteurs les plus émetteurs de gaz à effet de serre, et un important pourvoyeur d'emplois. Dans ce contexte, un consensus se dégage autour du fait que l'économie circulaire s'imposera progressivement comme alternative durable au modèle économique linéaire dans ce secteur et qu'elle sera créatrice de valeur. Cependant, si le concept général est bien établi, de nombreuses zones d'ombres existent encore à ce jour sur son périmètre, sa déclinaison précise, les indicateurs associés, les moyens de la mettre en œuvre et de la déployer dans des modèles économiques performants.

La Fondation Bâtiment Energie (FBE), reconnue d'utilité publique en 2005, a été créée par quatre acteurs majeurs du secteur du bâtiment et de l'énergie, ArcelorMittal, EDF, GRDF et LafargeHolcim, avec le soutien financier des pouvoirs publics et le support technique de l'ADEME et du CSTB.
Elle se mobilise en soutenant des travaux de recherche sur les enjeux environnementaux actuels pour le secteur du bâtiment.

C'est donc tout naturellement que la Fondation Bâtiment Energie a souhaité soutenir des travaux de recherche sur le développement de bases scientifiques à la caractérisation de l'économie circulaire dans le secteur du bâtiment.
Ces travaux, coordonnés par le CSTB et menés sur une durée de deux ans -jusqu'en octobre 2020-, ont impliqué de manière transnationale 40 acteurs issus d'horizons très divers : acteurs du monde de la recherche et acteurs opérationnels, acteurs de l'offre et acteurs de la demande, acteurs publics et acteurs privés.
La méthodologie innovante déployée ici -déjà mise en place sur d'autres ateliers soutenus par la FBE- structure les travaux autour de l'articulation entre un « groupe recherche », qui a vocation à développer de nouvelles méthodes ou de nouveaux outils, et un « groupe utilisateurs », qui a vocation à apporter un retour de terrain sur l'applicabilité et l'opérationnalité des connaissances développées. Ce croisement des approches et des compétences est au cœur de la méthodologie que nous avons voulu déployer ici.
Les travaux de recherche sur l'économie circulaire ont porté sur cinq enjeux différents :

- L'évaluation des performances en vue d'un réemploi pour huit familles de produits, afin de proposer un cadre à la sécurisation de ces pratiques qui émergent à nouveau ;
- La caractérisation du contexte local et les méthodologies d'analyse de l'allongement du cycle de la matière, afin de valoriser la conservation de l'existant et d'activer les ressources humaines et matérielles des territoires ;
- La conception pour des bâtiments transformables et réversibles, afin de limiter les déconstructions futures ;
- La conception pour la démontabilité, afin de mieux valoriser les composants après leur future dépose ;
- La capitalisation de la donnée, et en particulier l'identification des données à conserver sur l'ensemble du premier cycle afin de favoriser un réemploi ou un recyclage ultérieur, ainsi que les modalités de conservation et de transfert de ces informations.

FONDATION
BÂTIMENT
ENERGIE

Préambule

Courantes dans de nombreux secteurs d'activités, les pratiques de réemploi sont pour le moment marginales dans le secteur du bâtiment. Cependant, celui-ci est à la fois un très gros producteur de déchets – environ 46 millions de tonnes, soit 50% de plus que l'ensemble des déchets ménagers, et un gros consommateur de ressources. Ainsi, le développement des pratiques de réemploi est une piste importante pour diminuer les extractions de ressources, limiter la production de déchets et réduire les émissions de gaz à effet de serre associées aux activités du bâtiment, tout en activant les ressources humaines des territoires.

Bousculant les pratiques, le développement du réemploi soulève de nombreuses questions. On peut en identifier cinq principales :

- Une question juridique, autour notamment du statut des composants d'ouvrage issus du réemploi (déchet, produit, ...) ou du besoin de marquage CE des composants d'ouvrage destinés au réemploi ;

- Une question sur l'organisation de la filière et des responsabilités de chaque acteur, dans un schéma où les responsabilités usuellement prises par le fabricant sont potentiellement à redistribuer. La révision en cours du diagnostic déchet -qui devient un diagnostic relatif à la gestion des produits, matériaux et déchets selon l'article 51 de la loi du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire- et la structuration de premières filières devraient permettre de préciser cette répartition. Le rôle du diagnostiqueur, premier maillon de la chaine d'acteurs, est en effet crucial ;

- Une question sur l'évaluation des performances environnementales associées aux pratiques de réemploi : avec l'entrée en vigueur prochaine de la RE2020 et l'intégration croissante de critères environnementaux dans les stratégies et les commandes des maîtres d'ouvrage, la quantification des impacts environnementaux associés au réemploi est un besoin important. Là encore, différents travaux sont en cours, notamment dans un autre enjeu des travaux FBE et en particulier autour de la préparation de la RE2020 ;

- Une question sur les modèles économiques : avec des coûts parfois faibles pour les produits neufs et l'apparition de nouveaux postes de dépense (dépose sélective, requalification, ...) les modèles économiques du réemploi ne sont pas évidents a priori, ou en tout cas pas pour tous types de produits ou matériaux. Les différentes expérimentations en cours, très diverses dans l'organisation du jeu d'acteurs, permettront de clarifier les conditions de réussite du réemploi ;

- Enfin, une question sur la caractérisation des performances des produits issus du réemploi et de l'assurabilité des pratiques. Ce sujet s'avère complexe du fait de la grande diversité des produits, matériaux et équipements et des performances à considérer ainsi que des conditions de vieillissement propres à chaque situation. De fait, il convient d'avancer par étape en se concentrant progressivement sur des familles de produits spécifiques.

FONDATION
BÂTIMENT
ENERGIE

Préambule

C'est ce dernier point qui est particulièrement abordé par les travaux de la Fondation Bâtiment Energie. Ces travaux sont basés sur une approche développée au cours de travaux de recherche préalables par le CSTB.
L'approche proposée repose sur le développement de guides de caractérisation des performances de produits en vue d'un réemploi spécifique à certaines familles de produits. Il s'agit de préciser, sur une famille de produit ciblée : les différentes performances qui doivent être justifiées pour l'aptitude à l'emploi futur ; les modes de preuves qui peuvent être utilisés pour caractériser chacune de ces performances ; et les précautions à respecter de la dépose sélective à la remise en œuvre. L'objectif est de préciser l'ensemble des modalités qui permettent de justifier un réemploi.
Ces différents guides poursuivent un objectif simple : sortir de l'analyse chantier par chantier et proposer une méthodologie partagée qui permet de définir un mode opératoire précis de caractérisation des performances en vue d'un réemploi. Cette méthodologie peut ainsi servir de base pour répartir les rôles et les responsabilités des différents acteurs en fonction des différentes configurations. Suivant les différentes configurations envisageables (chantier à chantier, transit par un tiers-lieu de reconditionnement, AMO réemploi, ...), la responsabilité des acteurs sera à questionner.

La méthodologie de travail repose sur une collégialité entre experts du domaine de la caractérisation des performances des produits et experts du réemploi, avec un objectif double : d'une part que ces guides soient le plus cohérents possible avec les pratiques des acteurs déjà en place ; d'autre part, que des évolutions de ces guides puissent ensuite être reconnues par l'ensemble de la profession pour intégrer, à terme, les techniques courantes au sens de l'assurabilité. Les principales étapes du développement des guides ont été les suivantes : Etat de l'art, déclinaison par famille de produit, confrontation des guides avec groupes utilisateurs et consolidation finale.

Les guides développés ici constituent une première étape pour chacune des 8 familles de produits ciblées. Il y a fort à parier que ceux-ci auront besoin d'être précisés ou ajustés en fonction des retours d'expérience et des modèles économiques, notamment sur les modes de preuve ou les règles d'échantillonnage. Ils constituent donc un premier pas vers la reconnaissance des pratiques de réemploi dans l'objectif d'accompagner leur développement.

Ces guides ont vocation à servir de source d'inspiration pour la structuration des filières de requalification et de reconditionnement.
En premier lieu, ils s'adressent aux filières concernées par le réemploi des 8 familles de produits visées ici : elles pourront se les approprier et poursuivre la voie vers la reconnaissance en techniques courantes.
Les autres filières pourront également s'en inspirer pour soutenir le développement de nouveaux guides, afin d'élargir progressivement le champs des possibles et le périmètre des composants d'ouvrage disposants de guides reconnus.
Le monde de la recherche et de l'évaluation technique pourra également s'en inspirer pour questionner les modes de preuve, qui reposent actuellement en grande partie sur la réalisation d'essais de caractérisation. Une amélioration des connaissances sur le vieillissement ou un développement des moyens de

FONDATION
BÂTIMENT
ENERGIE

Préambule

contrôles portatifs pourraient à terme limiter le coût de caractérisation des performances et favoriser les modèles économiques.
Enfin, ces guides pourront nourrir le développement des passeports matériaux, en identifiant les données importantes à capitaliser pour justifier d'un réemploi futur. En ce sens, ils pourront aider à structurer de nouvelles bases de données sur la traçabilité des produits et servir de source d'inspiration pour les fabricants soucieux de développer leurs pratiques d'écoconception.

Liste des participants du groupe « Recherche » de l'enjeu sur le réemploi : CSTB, CTICM, CTMNC, Cycl'Up, FCBA, FEDEREC, IFPEB, MECD, Qualiconsult, Setec Ingénierie.

Liste des participants du groupe « Utilisateurs » de l'enjeu sur le réemploi : Alto Ingéniérie, AQC, Bellastock, Bruxelles Environnement, CSTB, Doyère Déconstruction, Grenoble Alpes Metropole, Raedificare, Réavie, Rotor, UMGO, VLA Architecture.

FONDATION
BÂTIMENT
ENERGIE

ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

1. Introduction

FONDATION BÂTIMENT ENERGIE

ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

1.1. Domaine d'application du document

L'allongement de la durée de vie de produits/procédés/équipements (désignés par la suite « produit ») peut passer par l'intégration de ce produit dans un ouvrage à la suite d'une première vie en œuvre. On parle alors de réemploi ou de réutilisation. La distinction entre réemploi et réutilisation est actuellement sujette à discussion (cf. document « Atelier FBE ECB du 20 juin 2019 - Méthodologie de diagnostic et d'évaluation des performances résiduelles pour le réemploi des produits de construction »). L'Annexe A précise la définition de ces termes dans le cadre du présent document.

L'objectif de ce document est de décrire une méthodologie, sans identifier le rôle de chaque acteur qui pourra varier selon le type d'opérations (de chantier à chantier, via des intermédiaires, …) :

- de **diagnostic** (diagnostic ressource sur le bâtiment existant),
- et de **caractérisation des performances** (in-situ lorsque ceci est applicable ou après dépose),

des charpentes industrielles, émanent d'un ouvrage existant en perspective d'un réemploi.

Ce document a été élaboré en perspective d'un nouvel usage identique et un domaine d'application identique à l'application initiale ou potentiellement différente présentant de moindres contraintes.

Ce diagnostic est complémentaire aux diagnostics/repérages réglementaires et à d'autres diagnostics volontaires réalisés sur l'ouvrage

Pour faciliter la récupération et minimiser les risques de détérioration lors du prélèvement et moindre reconditionnement, ce document vise exclusivement les **charpentes industrielles** :

- Portée des fermettes limitées à 12m ;
- Mises en œuvre conforme au DTU 31.3 ;
- Conformité à la norme NF EN 14250 ;
- Ne vise pas les produits ayant déjà fait l'objet d'un réemploi ;
- Vise le réemploi des fermettes dans leur intégralité « élément en Bois et connecteurs » : il n'est pas prévu le démontage des connecteurs, des noues ou autres éléments bois d'assemblage

Les informations indiquées sur ces derniers peuvent néanmoins être prises en compte pour le réemploi dans d'autres charpentes en bois sans toutefois être nécessairement suffisantes.

Ce document porte uniquement sur un réemploi d'anciennes charpentes industrielles mise en œuvre selon les dispositions visées par la NF DTU 31-3. Dès lors que le matériau et/ou la mise en œuvre des charpentes industrielles déroge aux Règles de l'Art (techniques non traditionnelles et au sens assurantiel, techniques non courantes (cf. Annexe A)), une évaluation du respect des réglementations applicables, de l'aptitude à l'emploi et de la durabilité seront très certainement demandées par les acteurs de la construction.

FONDATION BÂTIMENT ENERGIE

ÉCONOMIE CIRCULAIRE DES BÂTIMENTS

1.2. Description de la méthodologie

Les principales étapes chronologiques d'un diagnostic réemploi sont décrites en Annexe B.

Le cœur de ce document s'attache à présenter les principales étapes du diagnostic :

- Etape 1 : recueil des informations documentaires relatives au bâtiment ayant accueilli le produit dans son « emploi initial », diagnostic visuel et/ou par mesure in-situ du produit afin de dresser une « carte d'identité du produit », diagnostic du domaine d'emploi initial pour dresser le « curriculum vitae » (typologie de bâtiment de « l'emploi initial », exposition intérieure et humidité, sollicitations mécaniques, … cf. §3). A cette étape, il s'agit de caractériser, visuellement ou par mesure in-situ, le produit et son domaine d'emploi initial afin de recenser un maximum d'informations permettant de faire un lien avec les futurs domaines de réemploi ;
  → Cette étape est basée sur l' annexes C « Normes, Règles de l'Art et Marque de Qualité », ainsi que sur l'Annexe D « Performances requises pour les bois des charpentes industrialisées »
- Etape 2 : Identification des conditions de justifications des modes de réemploi possibles. A cette étape, il s'agit de faire un lien entre les caractéristiques observées et/ou mesurées in-situ et les potentiels domaines d'emploi afin d'identifier les éventuels besoins complémentaires en termes de justifications de performances ;
  → Cette étape est basée sur le §3 « Performances pour le réemploi » et Annexe E « Logigrammes »
- Etape 3 : identification des spécificités de dépose et de remise en œuvre.

Le mode opératoire proposé est donc le suivant :

- Au moment du diagnostic réemploi, établissement d'une fiche réemploi pour chaque typologie de charpentes industrielles, sur le modèle proposé en Annexe F ;
- Mise en perspective des informations/caractéristiques/… recueillies dans la fiche diagnostic en fonction des performances requises pour les différents domaines d'emploi ;
- Identification des domaines de réemploi directement possibles ou des performances complémentaires à justifier pour les autres domaines d'emploi ;
- Pour les domaines d'emploi nécessitant une justification de performances complémentaires, proposition de modes de preuve en se basant les performances du §3 ;
- Ensuite, en fonction de la taille du gisement, de la valeur des produits réemployables, de l'élargissement des domaines d'emploi permis pour chaque justification de performance complémentaire, des coûts associés aux modes de preuve (ou de tout autre paramètre comme par exemple les externalités environnementales ou l'existence d'un débouché identifié), les acteurs pourront décider de l'intérêt ou non d'aller vers une dépose sélective et d'un réemploi. .

FONDATION
BÂTIMENT
ENERGIE

ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

2. Diagnostic du produit dans l'ouvrage existant[1]

1 Ce chapitre s'appuie notamment sur des travaux réalisés conjointement entre le CSTB et Bellastock et le document « Atelier FBE ECB du 20 juin 2019 - Méthodologie de diagnostic et d'évaluation des performances résiduelles pour le réemploi des produits de construction »

FONDATION BÂTIMENT ENERGIE

ÉCONOMIE CIRCULAIRE DES BÂTIMENTS

2.1. Introduction

Il faut faire appel à un « diagnostiqueur/qualificateur réemploi » dont les compétences sont à définir.

Le diagnostic du produit dans l'ouvrage existant dépend des paramètres suivants :

- Intrinsèques au produit : par exemple sa durée de vie en œuvre ou ses performances originelles ;
- Dépendant de sa liaison avec les autres produits et avec les différents éléments constitutifs du produit: en particulier les modes de liaisons aux autres produits constitutifs du bâti vont impacter les conditions de dépose et les performances
- Dépendant de l'ouvrage dans lequel il est situé. Suivant le type d'ouvrage et sa localisation dans l'ouvrage, le produit peut avoir fait face à différentes sollicitations mécaniques récurrentes (ex : mise en charge, usure, exceptionnelles (ex : séisme) ou environnementales (ex : conditions climatiques, hygrométriques, d'entretien), … lors de son « emploi initial » qui peuvent avoir un impact sur ses performances.

La suite de ce paragraphe propose les points clés d'un diagnostic d'une charpente industrielle.

Afin de réaliser un constat exhaustif sur le produit, un échantillonnage est nécessaire à chaque pièce du bâtiment, et dans chaque lieu présentant des usages ou conditions spéciales, susceptibles d'altérer la qualité ou l'apparence du produit (trafic, espaces humides, exposition forte à la lumière).

Les informations ci-dessous sont à collecter quels que soient les domaines d'emploi futurs envisagés (car pas nécessairement connus) et doivent être reportés dans un rapport de diagnostic complet. Elles sont synthétisées dans la fiche réemploi proposée en Annexe E. Pour la mobilisation de ce diagnostic et le mode opératoire proposé, voir paragraphe 1.2.

2.2. Informations générales sur le bâtiment existant

- Adresse du bâtiment
  → *Cela permettra d'identifier les hypothèses de dimensionnement à la construction (accélérations sismiques et charges climatiques)*
- Date d'obtention du permis de construire
  → *Les exigences réglementaires applicables sont celles en vigueur à la date d'obtention du permis de construire*
- Année de mise en œuvre du produit
  → *Si évolution de la réglementation, un produit installé dans le respect de la réglementation de l'époque, même dans l'hypothèse du maintien des performances dans le temps, peut ne plus répondre aux nouvelles exigences réglementaires.*
- Date de réception du bâtiment
  → *Date de départ pour la garantie décennale*
- Usage et historique
  → *Préciser les éventuels changements de destination du bâtiment dans lequel la charpente industrielle était implantée*
  → *Préciser les éventuelles interventions (rénovations, …) sur les charpentes industrielles*
  Ces précisions apportent les informations sur les charges supportées par les éléments de structure pendant une durée définie et permettent d'évaluer leurs caractéristiques pour un réemploi.

→ *Préciser les éventuelles pathologies, sinistres connues/constatés sur l'ouvrage (se reporter aux éventuels rapports d'experts (cadre d'une expertise), rapport de diagnostic, …). Les points importants à analyser sont les suivants :*

- *Présence d'humidité : fuite d'eau depuis la toiture ou l'extérieur, fuite d'eau de canalisation, descente d'eau de pluie encastrée, humidité par capillarité des murs, ou condensation de vapeur d'eau,*
- *Présence de développement fongique : tâches, filaments, champignons visibles*
- *Dégradation des éléments constitutifs : fissures, déformations mécaniques,*
- *Présence ou soupçon attaques d'insectes à larves xylophages : trous galeries, vermoulures*
- *attaques de termites : vides sous une pellicule de surface ou galeries étroites sans sciure, galerie-tunnels ou cordonnets construits sur des matériaux durs, présence de petits trous de 2mm environ*

- Autres informations disponibles

Le diagnostic doit faire état des informations réglementaires, techniques et de prescriptions contractuelles connues (Diagnostics techniques amiante, plomb, termites, …, Dossier des Ouvrages Exécutés (DOE) et documents liés à la nature des matériaux et à leur pose).

2.3. Diagnostic relatif au produit

Dans le diagnostic relatif au produit, il s'agit de compiler, **autant que possible** toutes les informations disponibles.

Le diagnostic doit être réalisé sur produit in-situ exclusivement sinon, il est impossible de connaître la mise en œuvre réalisée et les sollicitations subies.

2.3.1. DESCRIPTION TECHNIQUE DU PRODUIT

→ Informations disponibles dans le Dossier des Ouvrages Exécutés (DOE) et documents liés à la nature des matériaux et à leur pose sur le bâtiment avant dépose - **à confirmer via reconnaissance in-situ** : notes de calculs, plan d'exécution, Avis de contrôle technique, avis technique pour les produits non traditionnels.

Le diagnostic de la fermette doit aussi prendre en compte les constats sur la qualité et étanchéité à l'eau de la couverture, (cause d'infiltration ou traces d'humidités sur la charpente), la qualité des charpentes (contrôle des pathologies par un professionnel spécialisé et reconnu), contrôle de la qualité structurelle et l'état d'isolation de la toiture (matériau et état de l'isolant).

Tous les éléments bois de la charpente seront décrit dans le diagnostic : les fermettes, les noues, planches de noue qui constituent la charpente.

Une observation globale de la toiture peut expliquer l'état de dégradation de l'ensemble de la charpente.

FONDATION BÂTIMENT ENERGIE

ÉCONOMIE CIRCULAIRE DES BÂTIMENTS

CRITÈRES DE DIAGNOSTIC	CONSTATS POSSIBLES
Qualité générale des éléments de couverture	■ Fissurations, délitement ■ Éléments cassés ■ Porosité, faïençage
Qualité générale de la mise en œuvre	■ Déplacements de tuiles ■ Défaut de fixation
Éventuels défauts d'exécution des éventuels écrans de sous-toiture (rigide ou souple)	■ Mauvais recouvrement entre lés ■ Problème de continuité (faitage, raccordement de versant)
Éventuels défauts d'exécution des points singuliers	■ Problèmes de coupes ■ Défaut de dimensionnement des noues et chéneaux ■ Défaut dans la fixation des éléments ■ Recouvrement insuffisant de la première rangée sur noue

Source : Guide réhabilitation des Maisons individuelles (FCBA)

L'évaluation a pour but de déterminer si la structure est, au moment considéré, adéquate pour supporter les charges qui lui sont appliquées et qu'elle continuera à l'être après dépose des éléments de charpentes industrielles Bois. Il convient que ce travail soit réalisé par du personnel spécialisé dans les structures en bois. Il est à noter que les structures qui ont démontré leur adéquation dans le passé continueront à être adéquates et ne nécessiteront aucune évaluation détaillée des propriétés mécaniques du bois, sauf dans les situations suivantes :

- Il existe une éventuelle modification des charges (par exemple : isolation de toiture, une modification de l'utilisation de la structure, d'un changement de destination ou de charges climatiques…). Les documents d'exécutions devraient permettre d'identifier la date de mise en œuvre et la norme en vigueur correspondante pour évaluer ces charges.

- Les éléments en bois ont subi des altérations d'origine biologique

CRITÈRE DE DIAGNOSTIC	CONSTATS POSSIBLES	ILLUSTRATION
Attaques d'insectes à larves xylophages	■ Trous ■ Galeries ■ Vermoulures	
Attaques de termites	■ Vides sous une pellicule de surface ou galeries étroites sans sciure ■ Des galeries-tunnels ou cordonnets construits sur les matériaux durs ■ La présence de petits trous de 2 mm environ	
Attaques fongiques (champignons lignivores)	■ Pourriture cubique ■ Pourriture fibreuse ■ Pourriture molle	

Source : Guide réhabilitation des Maisons individuelles (FCBA)

Dans ce cas, soit il est possible de remplacer des pièces de bois, soit la fermette part aux rebus. Les pièces de bois d'une fermette étant de dimensions réduites, le traitement n'est pas indiqué pour le réemploi.

- Il y a eu des dommages mécaniques, des défaillances ou une déformation excessive (supérieure aux déformations admissibles dans sa fonction actuelle in-situ définie selon CB71 ou Eurocode 5) indiquant une surcharge des éléments en bois dans le passé, les matériaux utilisés sont de mauvaise qualité ou la conception initiale et/ou la qualité d'exécution sont médiocres,

CRITÈRE DE DIAGNOSTIC	CONSTATS POSSIBLES
Éléments constitutifs de la charpente	■ Fissuration importante des pièces ■ Qualité visuelle des bois (taille des nœuds, entre-écorce…) ■ Déformations importantes des pièces fléchies ■ Flambements ou déversement des pièces ■ Délamination des éléments lamellés-collés
Assemblages	■ Rupture des assemblages ■ Déchaussement des connecteurs de charpente industrielle

Dans ce cas, il est impossible de réemployer la fermette.

Une évolution de la réglementation ou des règles de l'art rendrait les matériaux inutilisables pour le réemploi visé : critères mécaniques, environnementaux et sanitaires. Si la nouvelle destination est connue et nécessite de s'assurer que la structure est capable de résister aux conditions climatiques extrêmes ou aux séismes, il convient que l'évaluation préliminaire comprenne à minima les éléments suivants :

- Récupération de l'éventuelle documentation historique afin de dater la structure et d'identifier la séquence des modifications apportées (phases historiques) ;
- Description écrite de la structure (section, pose, assemblage) ainsi qu'une documentation photographique ; plan d'exécution
- Étude de la structure (mesure de la déformé) et représentation graphique de ses caractéristiques géométriques et constructives sous la forme de schémas (axonométriques) en 2D et 3D, plans côtés et à l'échelle ;
- Modes de fixation des éléments d'ancrages, nature et capacités techniques des connecteurs
- Identification des essences utilisées pour la structure (éléments porteurs et non porteurs) ;
- Description du schéma structurel. Il est à noter qu'il peut être nécessaire d'inclure une description de la maçonnerie portante ou d'un autre type de structure.
- Description précise des charges permanentes et d'exploitation de l'ouvrage pour comparer les codes de calculs utilisés pour le dimensionnement à la date d'exécution et ceux du réemploi ;
- Description des conditions thermo-hygrométriques dans les conditions normales de service et de la teneur en humidité du bois qui en découle (déterminé par abaque selon l'essence ou mesurée in situ ;
- Humidité des bois en œuvre selon la Norme NF EN 13183-2, Teneur en humidité d'une pièce de bois scié-Partie 2 : estimation par méthode électrique par résistance , qui décrit l'utilisation de cet appareil pour la mesure de la teneur en humidité

En fonction de l'état des éléments bois et des assemblages, le diagnostiqueur préconisera, soit de

- Stocker les fermettes intactes pour une conception en réemploi ;
- Remplacer les éléments ;
- Reclasser (déclasser) les éléments bois pour une réutilisation ;
- Désassembler pour le recyclage ;
- Classer en déchet.

Toutes les études d'état et les méthodes de diagnostic utilisées pour l'évaluation des structures bois doivent être semi-destructives ou non destructives, de sorte qu'aucune partie de la structure ne soit retirée pour des essais de laboratoire, sauf pour les petits échantillons utilisés pour l'identification des propriétés physiques et mécaniques, des essences de bois et des agents biologiques. Dans tous les cas, l'échantillonnage doit être conforme à l'EN 16085 et ne doit pas modifier les propriétés mécaniques des éléments ou avoir un impact sur les autres propriétés (par exemple : historiques ou esthétiques) de la structure en bois.

FONDATION BÂTIMENT ENERGIE

ÉCONOMIE CIRCULAIRE DES BÂTIMENTS

Voici la nature des investigations à mener :

- Sondage des bois en différents endroits ;
- Repérer toute trace d'humidité visible ;
- Effectuer des mesures d'humidité ;
- Vérifier s'il y a des arrivées visibles d'eau (toiture, fuite, …) ;
- Faire des observations conjointes de part et d'autre des zones infestées s'il y a des pathologies (au-dessus du plafond / en-dessous des combles, en faisant se correspondre les observations) ;
- Lorsque cela est pertinent, prélèvement d'échantillons pour analyse en laboratoire ;
- Effectuer des photos d'ensemble et des points de détails. Numéroter les éléments selon la composition de la fermette pour les identifier sur terrain.

Le diagnostic doit comprendre les éléments suivants :

- Indication des essences de bois. Dans un premier temps, cela peut être réalisé par le biais d'une rapide évaluation visuelle, en classant au minimum les éléments en bois au sein d'un groupe clairement identifié d'essences, ne serait-ce que pour différencier les résineux et les feuillus.
  Note : les structures utilisent parfois un mélange d'essences, quelquefois parce qu'il existe une différence dans les essences utilisées pour les éléments principaux et secondaires.
  Un personnel spécialisé dans le bois pourrait être sollicité pour la reconnaissance des essences.
  Il existe des outils et documents pratiques qui fonctionnent par comparaison visuelle **http://www.doc-developpement-durable.org/file/Arbres-Bois-de-Rapport-Reforestation/livres-guides/guide_de_bois.pdf**

- Détermination de la teneur en humidité du bois. Dans un premier temps, les mesures ne sont prises qu'au niveau d'emplacements spécifiques de la structure, où les conditions locales suggèrent la présence d'une teneur en humidité plus élevée. Cependant, les mesures doivent également être prises à d'autres emplacements afin de déterminer la teneur en humidité d'équilibre générale du bois au moment de l'étude d'état. Elles doivent être effectuées au moyen de la méthode électrique par résistance selon l'EN 13183-2:2002 et/ou de la méthode capacitative selon l'EN 13183-3:2005.

- Détermination des conditions environnementales. Les classes de service définies dans l'EN 1995-1-1 (pertinentes pour les propriétés mécaniques) et les classes d'emploi définies dans l'EN 335 (liées aux phénomènes biologiques dangereux) auxquelles l'élément en bois est exposé doivent être identifiées.

Note : Les différentes parties ou les différents éléments d'une structure en bois peuvent appartenir à différentes catégories de phénomènes dangereux. Si les différences entre les conditions transitoires (avant ou pendant une éventuelle intervention) et cibles (finales) sont importantes, les deux situations peuvent être identifiées.

Les principes suivants s'appliquent dans un diagnostic :

- si le nombre de côtés visibles du élément en bois est inférieur à trois, cela doit être mentionné de façon explicite dans le rapport d'étude d'état ;
- si certaines zones ont subi des dommages mécaniques ou une attaque biologique localisée (attaque fongique ou attaque d'insectes en surface), il faut indiquer clairement que le classement s'applique uniquement à la partie non endommagée ;
- la présence de flache dans les zones critiques doit être notée et mesurée uniquement en tant que facteur limitant la section et non comme un défaut ayant une influence sur la classe de résistance comme dans les nouvelles structures en bois ;
- si certaines zones sont affectées par une attaque d'insectes xylophages qui s'est répandue dans l'ensemble de la section transversale (attaque étendue), il faut mettre au rebus les éléments concernés..

2.3.1.1. ENREGISTREMENT DES PATHOLOGIES.

Il convient que l'étude des défauts et dommages comprenne :

- Un enregistrement de l'emplacement et de l'extension de tout dommage mécanique, biologique ou causé par un incendie. L'agent responsable du dommage biologique doit être identifié et il doit être noté s'il est actif ou non ;
- Le type, l'emplacement et l'étendue des principaux défauts naturels (nœuds et inclinaison du fil) ;
- Une note recensant tout élément en bois manquant à la structure ;
- Une note relative au type et au degré de retenue assurée par les supports de maçonnerie ;
- Une note relative à toute indication de modification apportée à la structure au cours de sa vie. Ces modifications pourraient avoir été apportées afin de tenir compte d'un changement d'usage, de changements au niveau du plan ou de la forme extérieure du bâtiment, ou de réparations antérieures ;
- Une note recensant les changements indiquera de manière sûre leur nature ;
- Une note recensant tous les emplacements où les éléments en bois n'étaient pas clairement visibles et où des investigations complémentaires de la structure pourraient être nécessaires ;
- Une note recensant toute détresse structurelle au niveau des éléments en bois, telle que des fissures du bois, une défaillance structurale des éléments et des assemblages ou des déformations excessives ;
- Une note recensant toute détresse au niveau des éléments ou structures de soutien (structures de maçonnerie, fondations, etc.) et des éléments en bois non porteurs qui interagissent avec la structure en bois.

Note : Les trois derniers cas doivent être guidés par l'analyse structurelle qui aidera à localiser les zones critiques des structures en bois.

2.3.1.1. ANALYSE STRUCTURELLE

Suite à l'étude, il convient qu'un ingénieur effectue une analyse préliminaire de la structure. Cette analyse doit décrire le schéma structurel, c'est-à-dire montrer comment les charges sont transmises au sol.

L'objectif principal de cette analyse structurelle est l'identification des zones de la structure soumise à de fortes contraintes où une plus grande attention est requise, en particulier pour les zones critiques identifiées pendant l'étude d'état. Il convient qu'elle indique le niveau de sécurité de la structure en utilisant les codes de la norme CB71 ou Eurocode 5.

Il peut également être nécessaire de tenir compte des éléments qui sont tellement touchés par la pourriture qu'ils ont transféré des charges significatives aux autres éléments. En conséquence, l'ensemble des éléments affectés seront signalés et ne devront pas être réemployés. Il convient que l'analyse tienne compte des charges appropriées pour l'utilisation proposée du bâtiment et de la région (par exemple : surcharges, charges sismiques, charges dues à la neige ou au vent).

Dans le cadre d'une approche prudente, l'EN 1990 (destinée aux nouvelles structures) peut être suivi en ce qui concerne les combinaisons d'actions à prendre en compte pour la vérification de l'état limite de rupture. Dans une analyse plus détaillée, si les incertitudes relatives à l'historique des charges et aux propriétés des matériaux peuvent être réduites, d'autres combinaisons d'actions peuvent être envisagées à condition qu'un niveau de sécurité approprié soit garanti.

Bien que la vérification des états limites d'aptitude au service puisse également être importante dans certains cas, des limites (en termes de déformation et de vibrations) plus élevées que celles définies dans les nouveaux codes peuvent être acceptables pour les structures patrimoniales.
Il convient que la stabilité générale de la structure soit évaluée ainsi que le comportement des différents éléments ou cadres. Par conséquent, l'adéquation des entretoises doit être prise en compte, de même que celle des principaux éléments structuraux.

L'un des objectifs de l'analyse est d'identifier les éléments en bois et les assemblages qui supportent une charge excessive, ou si l'état des éléments en bois, et donc leur capacité de charge, est critique pour le

comportement de la structure dans son ensemble. L'identification de ces zones doit être utilisée pour l'étude détaillée de la structure.

2.3.2. QUANTITÉ DISPONIBLE EN RÉEMPLOI

Informations à recueillir :

- Nombre et dimensions des éléments répétitifs ;
- Au regard de constats visuels et éventuelles mesures in-situ, estimer les quantités altérées mais possiblement « reconditionnables » (par exemple remplacement d'éléments bois ou de connecteurs).

Le rapport préliminaire doit comprendre :

- Des schémas cotés montrant la structure dans son intégralité, accompagnés de notes techniques décrivant le système structurel, ses principales caractéristiques et problèmes ;
- La documentation des problèmes et des pathologies ;
- Une note/carte des assemblages et éléments en bois qui n'ont pas été inspectés et la raison pour laquelle ils ne l'ont pas été ;
- Des calculs structurels montrant les sollicitations maximales et les combinaisons de charges exercées sur la structure ainsi que les contraintes et les déformations correspondantes. Des commentaires relatifs aux modifications éventuelles des charges ;
- Une identification des différents types de éléments structuraux - en fonction du type de contraintes - et de l'emplacement des zones critiques (que ce soit du point de vue du niveau de contraintes ou en raison de la présence de défauts du bois ou de dommages biologiques) ;
- Une interprétation des causes des dommages et du comportement général de la structure (diagnostic) ;
- Les classes d'emploi et les classes de service.

Le rapport doit identifier le travail d'étude ultérieur requis, en justifiant intégralement la nécessité de tout travail recommandé...

2.3.3. ACCÈS AU GISEMENT (DÉCONSTRUCTION)

Conditions préliminaires à l'étude d'état :
Les conditions suivantes doivent être satisfaites :

- Sécurité : la structure en bois et le dispositif d'accès spécifique mis en place doivent permettre la mise en sécurité en toute circonstance des personnes qui auront à marcher sur les fermettes afin de les inspecter, un étaiement ou un chevalement pourra être nécessaire.
- Accessibilité : les éléments en bois doivent être rendus suffisamment accessibles pour permettre d'effectuer les procédures appropriées. Deux aspects se distinguent :
  I) la capacité à atteindre les éléments en bois à inspecter, auxquels l'accès dépendra de la nature de la structure ; il peut s'agir de la nécessité d'un échafaudage complet. L'accessibilité a une grande influence sur le choix de la technique d'inspection ;
  II) la capacité à voir les éléments en bois qui peuvent être masqués par d'autres éléments de la construction et donc nécessiter une certaine ouverture de la structure. Cette ouverture pourrait nécessiter l'accord des autorités chargées de la conservation.
- Éclairage : une lumière correcte (en termes de qualité et d›intensité) doit être utilisée pour permettre un examen visuel correct des éléments en bois dans leur ensemble, des détails de la surface du bois, des assemblages et des supports.
- Nettoyage : la surface du bois ne doit en aucune façon être recouverte ou masquée par des débris, de la saleté et de la poussière. L'inspecteur doit être préparé au nettoyage des zones du bois comme requis à l'aide de procédés secs (brossage, aspiration, air sous pression, etc.).
-

Note 1 : Dans le cas des éléments en bois décorés (peints) ou recouverts, l'accessibilité et la visibilité complètes de la surface du bois peuvent ne pas être possibles. Dans de tels cas, le rapport d'étude d'état peut détailler quelles informations n'ont pas été obtenues et expliquer pourquoi.

Note 2 : L'étude d'état est particulièrement importante au niveau des points de la structure soumis à des contraintes très fortes, près des assemblages et au niveau des supports. Pour toutes les parties de la structure où une étude visuelle normale de l'état n'est pas possible, comme pour les sablières, les surfaces supérieures des pannes ou les têtes des poutres insérées dans les murs porteurs, d'autres méthodes d'étude d'état ou des méthodes d'évaluation indirectes peuvent être soigneusement planifiées.

Aussi les questions suivantes sont à poser concernant l'accès au gisement :

- Le stockage temporaire des matériaux est-il réalisé dans des conditions ne détériorant pas les éléments (humidité susceptible de faire tuiler les lames, poussière, stockage sous des éléments lourds…) ?

Le lieu de stockage temporaire des matériaux présente-il les conditions de sécurité suffisantes pour prévenir toute tentative de vol (visibilité depuis l'espace public, public ayant accès au local) ?

Notes relatives à la pollution :

- Bien qu'un matériau soit pollué il n'est pas à exclure. Son diagnostic doit être établi car une dépollution pourrait être entreprise. Dans le cas d'une fermette, ceci pourrait être la présence d'un produit de préservation, autorisé au moment de sa vie en œuvre et désormais plus autorisé.
- La fermette pouvant être en contact avec les isolants, à ce que toutes les précautions de protections soient prises lors d'éventuels travaux de désamiantage réalisés avant la dépose.

2.4. Diagnostic relatif au domaine d'emploi initial

Il s'agit ici de préciser l'usage et le domaine d'emploi initiaux du produit à réemployer ainsi que les sollicitations auxquelles il a été potentiellement soumis dans sa 1ère mise en œuvre :

→ *Ces informations doivent être envisagées :*

- par pertinence par rapport aux types de matériaux (sensibilité connue à certains paramètres, …) ;

- par pertinence au regard du domaine d'emploi initial et du domaine d'emploi futur (gros œuvre, clos couvert, second œuvre, décoration, …). Par exemple, pour un produit qui n'a pas et ne sera pas exposé à l'extérieur, il ne sera pas utile de renseigner les informations relatives aux « ambiances extérieures ». Cependant, si l'emploi final n'est pas encore connu, il sera opportun de renseigner un maximum d'informations.

La charpente industrielle est appréciée pour sa rapidité de fabrication, de mise en œuvre, et son faible coût. Ce type de charpente est surtout utilisé dès que les combles peuvent être « perdus », en particulier pour la construction de bâtiments de plain-pied avec toiture à faible pente (pavillons individuels, locaux commerciaux, petits immeubles). Il est cependant possible de réaliser des fermettes à entrait retroussé pour rendre une partie des combles aménageables.

FONDATION BÂTIMENT ENERGIE

ÉCONOMIE CIRCULAIRE DES BÂTIMENTS

2.4.1. USAGE ET LOCALISATION DU PRODUIT SUR/DANS L'OUVRAGE EXISTANT

La localisation de la fermette sur l'ouvrage existant sera précisée par :
- L'identité et orientation de chaque fermette

Un système de numérotation des charpentes industrielles servira à identifier les charpentes industrielles en appui à la fiche de diagnostic produits et les différentes analyses pathologiques réalisées.
Les fermettes à géométrie et sections de bois identiques doivent être identifiable par un code unique pour faciliter la traçabilité et le nouvel assemblage de chaque élément en vue d'un réemploi.

Les particularités ayant une influence sur une charpente industrialisée sont les suivantes :
- Type de couverture
- Type de plafond
- Type de débords en égout
- Type de débords en pignon
- Type d'habillage sous débords
- Type d'appui des fermes :
  - sur maçonnerie sans sablières,
  - sur sablières non apparentes,
  - sur sablières débordantes avec cache-moineau…

2.4.2. LOCALISATION GÉOGRAPHIQUE DU BÂTIMENT

- Zone sismique : nécessaire pour la justification mécanique
- Région de vent : nécessaire pour la justification mécanique
- Zones de concomitance vent-pluie : les climats en contact avec la menuiserie extérieure peuvent expliquer l'état de dégradation
- Région de neige : nécessaire pour la justification mécanique
- Zone de gel : A préciser
- Climat de plaine ou climat de montagne, bord de mer : A préciser
- Zone de termites : A préciser
- …

2.4.3. HISTORIQUE DE LA VIE DU PRODUIT

Il faut recenser les modifications d'état survenant au fil du temps :
- La corrosion des connecteurs et assemblages métalliques ;
- Le rétrécissement des éléments en bois ;
- Les fissures et ruptures associées ;
- Les attaques biologiques et dues au feu ;
- Les attaques d'insectes à larves xylophages
- Les attaques de termites
- Les modifications intentionnelles (interventions humaines) ;
- Les défaillances, mouvements, déformations, consécutifs à une surcharge ;
- L'écrasement des éléments en bois ;
- Le gauchissement des attaches métalliques

FONDATION BÂTIMENT ENERGIE

ÉCONOMIE CIRCULAIRE DES BÂTIMENTS

2.4.4. TYPOLOGIE DE L'OUVRAGE INITIAL

Cette information est a priori nécessaire uniquement pour les produits soumis à la réglementation incendie (réaction et/ou résistance au feu). Cependant, la typologie de l'ouvrage initial étant bien souvent pertinente pour prouver certaines caractéristiques des produits, il est fortement conseillé de l'intégrer de manière systématique.

Indiquer la typologie de l'ouvrage :

HABITATION / LOGEMENT-FOYER	ETABLISSEMENT RECEVANT DU PUBLIC (ERP)	IMMEUBLE GRANDE HAUTEUR (IGH)	ETABLISSEMENT RELEVANT DU CODE DU TRAVAIL
Indiquer la famille (1, 2, 3a, 3b ou 4) (pour les définitions, se référer à l'Arrêté du 31 janvier 1986, modifié)	Indiquer la catégorie, le ou les types (pour les définitions, se référer à l'Arrêté du 25 juin 1980, modifié)	Indiquer le type (pour les définitions, se référer à l'Arrêté du 30 décembre 2011 modifié)	Indiquer : - Hauteur du plancher bas du dernier niveau : > 8 m ; - Bureaux ; - Industrie ; - Logistique.

2.4.5. CONDITIONS D'EXPOSITION EXTÉRIEURE

Les classes d'emploi des fermettes sont définies selon les différentes ambiances afin de prévoir la tenue du bois dans le temps :

- Prise en compte de l'humidité
- Les agents pathogènes possibles pour chaque classe

2.4.6. CONDITIONS D'EXPOSITION INTÉRIEURE

Sans objet

2.4.7. SOLLICITATIONS MÉCANIQUES

Exemples : Charges permanentes d'exploitation, charges ponctuelles, déformations, actions du vent et neige, ….

Le dimensionnement des charpentes industrialisées doit respecter les règles de conception, de mise en œuvre et de calcul prévues par le DTU 31.3.

Ces documents apportent notamment toutes les informations utiles sur :

– les charges à prendre en compte ;
– la qualité des bois à retenir ;
– les modalités de calcul et les déformations acceptables ;
– les dispositifs permettant d'assurer la stabilité (contreventement, antiflambement) ;
– la fixation des fermettes (en particulier dans les zones sismiques).

FONDATION
BÂTIMENT
ENERGIE

ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

3.

Performances pour le réemploi et modes de preuves

FONDATION BÂTIMENT ENERGIE

ÉCONOMIE CIRCULAIRE DES BÂTIMENTS

3.1. Introduction

Cette partie propose une méthode de caractérisation des performances en vue d'un réemploi.
Au stade du diagnostic, le(les) domaine(s) d'emploi futur(s) du produit n'est (ne sont) pas nécessairement connu(s). Il est par conséquent utile que le « diagnostiqueur/qualificateur réemploi », au-delà des éléments précisés au § 2 et en annexe D, réunisse au maximum les informations relatives aux performances du produit :

- Performances pouvant être indiquées dans le diagnostic car contrôlables directement in-situ (contrôle visuel, mesures in-situ, …);
- Performances pouvant être indiquées dans le diagnostic car existence de bases de données (abaques, …) permettant de « déduire » ces performances à partir :
  - Soit des caractéristiques initiales des fiches techniques du fabricant ;
  - Soit par transposition d'une mesure de performances (ex : masse volumique vs caractéristique thermique) ;
- Informations à destination de la maîtrise d'ouvrage B quant aux contrôles, essais, … complémentaires à envisager préalablement au réemploi lorsque les performances ne peuvent pas être caractérisées lors de la phase de diagnostic.

Ces éléments étant destinés à donner les informations utiles quant à un potentiel de réemploi, il y a lieu de distinguer, au regard de « l'emploi initial » et de « l'emploi futur » pas nécessairement connu (cependant sur la base du même usage mais le domaine d'emploi pouvant être différent avec moindres contraintes), les différentes caractéristiques en fonction de leur niveau de performance attendue.

Une fois que les performances à justifier ont été identifiées, il s'agit ensuite d'apporter pour chacune d'elle une justification.

Cette justification peut prendre différentes formes, ce en fonction des caractéristiques du produit et du type de performance(s) à justifier :

- Justifications sur la base de connaissances historiques : Fiches techniques initiales du fabricant décrivant les performances annoncées, notice de pose, Dossier des Ouvrages Exécutés (DOE), Rapport d'essais initiaux, Avis Technique ou Appréciation Technique d'Expérimentation d'époque, certificats, … ; Dans ce cas, une attention particulière doit être apportée sur les points suivants :
  - Il doit être vérifié que les produits mis en œuvre correspondent bien aux produits visés par les documents (via les marquages des produits, d'éventuelles photographies des conditionnements lors de la mise en œuvre, …)
  - Les caractéristiques initiales sur les documentations sont des caractéristiques initiales qui peuvent être modifiées pendant la vie en œuvre ou lors de travaux de rénovation. Pour certaines d'entre elles, il s'avèrera nécessaire de recourir aux types de justifications présentées ci-dessous.

- Justifications sur la base de contrôles in-situ. Ces contrôles peuvent être réalisés au stade du diagnostic ou à certaines étapes clés (notamment après dépose ou après reconditionnement). Ils peuvent prendre la forme de contrôles visuels ou de contrôle mobilisant des moyens techniques portatifs permettant des contrôles in-situ. Ils peuvent par ailleurs être réalisés par des experts qualifiés (exemple de la mise en charge sur gros œuvre béton) et/ou indépendants.

- Justifications sur la base d'un échantillonnage et d'un protocole d'essais en laboratoire.

-

Exemple de justifications/contrôles :

- Contrôle amont par le « diagnostiqueur/qualificateur réemploi »
  → *Ex. : défauts visuels*
- Caractérisation aval par l'entreprise
  → *Ex. : Etat des rainures/languettes*

FONDATION BÂTIMENT ENERGIE

ÉCONOMIE CIRCULAIRE DES BÂTIMENTS

- Caractérisation par tiers compétent et indépendant (in-situ / ex-situ)
  → *Ex. : Reconnaissance essence du bois en laboratoire*
- Contrôle dans un laboratoire agréé
  → *Ex. : Classement de réaction au feu*

3.2. Performances pour le réemploi

À noter : Le respect des exigences réglementaires précisées à l'annexe D (indiquée ci-après « réglementaire ») est obligatoire.

Cependant, le respect des performances en lien avec la sécurité des personnes et en lien avec l'aptitude à l'emploi listées ci-dessous permettent de renforcer la confiance dans les performances du composant d'ouvrage réemployé.

Toutes les approches présentées ci-après partent des principes suivants :

- La charpente industrielle déposée satisfaisait à l'ensemble des réglementations applicables à la date du permis de construire et celles-ci n'ont pas évolué ;
  → En cas d'évolution de la réglementation, il y a lieu d'examiner en quoi cette évolution impacte la caractéristique initiale et d'en informer le futur utilisateur ;

- La charpente industrielle déposée avait été utilisé dans son « emploi initial » dans le respect des règles de l'art (couple « parquet/emploi » traditionnel) ou des prescriptions du fabricant idéalement validées par une évaluation technique (couple « parquet/emploi » non traditionnel).

3.2.1. QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR (RÉGLEMENTAIRE)

La réglementation porte sur le niveau d'émission de substances volatiles dans l'air intérieur présentant un risque de toxicité par inhalation.

Deux cas de figures sont à envisager :

- aucune finition n'a été appliquée ultérieurement à la caractérisation « qualité de l'air intérieur » et les éventuelles étapes de reconditionnement **n'intègrent pas** de pose de finition. Alors il peut être considéré que le composant d'ouvrage satisfait à la réglementation.
  Remarque : Il convient cependant d'attirer l'attention auprès du futur utilisateur que ceci ne présage pas de la satisfaction à la réglementation si une nouvelle finition est appliquée lors de la mise en œuvre.

- les éventuelles étapes de reconditionnement **intègrent** la pose de finition ou il est prévu l'application d'une nouvelle finition in-situ. Alors il convient d'attirer l'attention auprès du futur utilisateur que le respect de la réglementation sera à prouver via généralement une caractérisation en laboratoire du nouveau système (Bois + produits de préservation).

3.2.1.1. SUBSTANCES DANGEREUSES (RÉGLEMENTAIRE)

La réglementation porte sur l'évaluation des risques posés par les produits chimiques des produits mis sur le marché.

Deux cas de figures sont à envisager :

- aucune finition n'a été appliquée ultérieurement à la caractérisation « substance dangereuses » et les éventuelles étapes de reconditionnement **n'intègrent pas** de pose de finition. Alors il peut être considéré que le composant d'ouvrage satisfait à la réglementation.

Remarque : Il convient cependant d'attirer l'attention auprès du futur utilisateur que ceci ne présage pas de la satisfaction à la réglementation si une nouvelle finition est appliquée lors de la mise en œuvre.

- les éventuelles étapes de reconditionnement **intègrent** la pose de finition ou il est prévu l'application d'une nouvelle finition in-situ. Alors il convient d'attirer l'attention auprès du futur utilisateur que le respect de la réglementation sera à démontrer. C'est le cas de fermette apparente

3.2.1.2. PERFORMANCES ENVIRONNEMENTALES ET SANITAIRES (RÉGLEMENTAIRE)

Dans le cas où aucune communication ne prévoit d'allégation environnementale pour la mise du produit de réemploi sur le marché, il n'y a pas d'obligation d'établir une déclaration environnementale.

S'il y a une volonté de communication sur la qualité environnementale et sanitaire (allégation environnementale), une déclaration environnementale devra être établie. Compte tenu des modifications majeures liées à une 1ère vie en œuvre, au fait du réemploi, … la déclaration environnementale éventuellement existante sur le produit n'est pas transposable et une nouvelle déclaration devra être établie.
Les charpentes industrialisées sont concernées par les rubriques suivantes :

- Données environnementales
- Eco-certification
- Données sanitaires
- Usinage : formaldéhyde et pour e Grenelle de l'Environnement 2 -Déchets de bois

3.2.1.3. PERFORMANCE ACOUSTIQUE (RÉGLEMENTAIRE)

Il n'y a pas de caractérisation de performance à envisager sur les fermettes dans la mesure où la performance acoustique est apportée par l'enveloppe globale (toiture) et le revêtement (plafond)

Les performances sont nécessaires pour définir l'aptitude des éléments Bois démontés à assurer une nouvelle destination identique (réemploi). L'évaluation de ces performances permet au demandeur/ utilisateur de définir les responsabilités de mise sur le marché ou à disposition sur le marché.

3.2.1.4. CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-MÉCANIQUES (RÈGLEMENTAIRE)

Afin de pouvoir utiliser le bois comme un matériau de construction à part entière, l'ingénieur doit disposer de valeurs de calcul (notamment dans le cadre de l'utilisation de l'Eurocode 5). Il doit connaître les contraintes admissibles ou les contraintes de rupture d'une pièce de bois. Un classement de résistance répartit les pièces de bois en classes de tri auxquelles correspondent des performances mécaniques.

Il existe deux méthodes de classement selon la résistance repris par la norme NF EN 14081 :

- le classement visuel,
- le classement automatique ou machine

Chaque classe de tri doit correspondre à l'une des classes de résistance reprises dans la NF EN 338 (Bois de structure – Classes de résistance).

C : pour les résineux (Coniferous)
D pour les Feuillus (Deciduous)

CLASSEMENT VISUEL
La méthode visuelle utilise des critères visuels basés sur l'aspect du bois, les singularités, les altérations biologiques, les déformations géométriques et les cernes d'accroissement. Ces critères visuels ont été

FONDATION BÂTIMENT ENERGIE

ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

mis en correspondance avec des classes de résistance dans la norme NF B 52-001.Comme indiqué dans cette norme, l'ensemble de ces critères permettent de définir trois classes visuelles : ST I, ST II et ST III. La norme EN 1912 associe chacune de ces classes visuelles à une classe de résistance mécanique : C30, C24, C18

Classe de résistance mécanique selon EN 338	Classe visuelle
C 30	ST-I
C 24	ST-II
C 18	ST-III

		CLASSES		
		ST-I (1)	ST-II	ST-III
ESSENCES	CRITERES	Largeur des cernes d'accroissement (mm)		
Sapin - Epicéa - Pins		≤ 6	≤ 8	≤ 10
Douglas		≤ 8	≤ 10	≤ 12
		Diamètre de nœuds		
Sapin - Epicéa - Douglas	Sur la face (2)	Ø ≤ 1/6 de l et ≤ 30 mm	Ø ≤ 1/2 de l et ≤ 50 mm	Ø ≤ 3/4 de l et ≤ 100 mm
	Sur la rive	Ø ≤ 2/3 de l'épaisseur de la rive et Ø ≤ 40 mm		
Pins	Sur la face (2)	Ø ≤ 1/10 de l et Ø ≤ 15 mm	Ø ≤ 1/3 de l et Ø ≤ 50 mm	Ø ≤ 3/4 de l et Ø ≤ 100 mm
	Sur la rive (3)	Ø ≤ 1/3 de e et Ø ≤15 mm	Ø ≤ 1/2 de e et Ø ≤ 50 mm	Ø ≤ 1/2 de e et Ø ≤ 30 mm
		Fentes (4)		
Toutes essences	traversantes	longueur ≤ deux fois la largeur de la pièce		longueur ≤ 600 mm
	non traversantes	longueur ≤ moitié de la longueur de la pièce		non limitée
		Grosse poche de résine		
Toutes essences		non admise	admise si < 80 mm	
		Entre-écorce		
Toutes essences		non admise		
		Pente de fil (en fraction)		
Toutes essences	locale	1 : 10	1 : 4	
	générale	1 : 14	1 : 6	
		Flaches		
Toutes essences	longueur	non admise	< 1/3 de la longueur de la pièce de < 100 cm	
	largeur		< 1/3 de l'épaisseur de la rive	
		Altérations biologiques		
Toutes essences	bleu - traces de gui	Admis		
	piqûres noires	Admises si elles apparaissent sur une seule face		
	échauffure	non admise		
		Déformation maximale en mm pour une longueur de 2 mm		
Toutes essences	flèche de face (mm)	< 10		< 20
	flèche de rive (mm)	< 8		< 12
	Gauchissement	1 mm / 25 mm de largeur		2 mm / 25 mm de largeur
	Tuilage	pas de restriction		

Chaque classe de résistance est précisément décrite dans la norme NF EN 338 avec toutes les valeurs caractéristiques nécessaires aux calculs de structure.

Caractéristiques Mécanique	C 30	C 24	C 18
	Contraintes admissibles (MPa)		
Flexion parallène	13,2	10,5	8,0
Compression parallèle	11,0	9,0	8,0
Traction axiale	8,0	6,0	5,0
Cisaillement longitudinal	1,3	1,1	0,8
Compression transversale	2,5	2,3	2,0
Traction transversale	0,15	0,15	1,15
	Module conventionnels de déformation (MPa)		
Cisaillement	750	690	550
Longitudinal, effort tranchant inclus	12 000	11 000	10 000

CLASSEMENT PAR MACHINE

Une machine de classement permet de produire directement les classes de résistance en mesurant des caractéristiques mécaniques par contrôle non destructif. La norme NF EN 338 trie les pièces de bois en trois classes de résistances, C18, C24 et C30 pour les résineux et le peuplier, et D18, D24 et D30 pour les feuillus. Les correspondances entre les classements visuels et machine sont définies par la norme NF EN 1912.Une machine de classement mécanique du bois doit être capable de mesure précisément les propriétés déterminées. C'est pourquoi les réglages initiaux de la machine font partie intégrante de la capacité de la machine fournir des classements de précision acceptable. Pour estimer au mieux la performance mécanique du bois, les machines de classement doivent estimer trois variables :

→ La masse volumique ;
→ La rigidité ;
→ La résistance à la rupture.

Le classement par machine augmente les rendements, notamment dans les classes élevées, du fait de la mesure de paramètres mieux corrélés.

La classe de bois préconisée pour l'emploi initiale devrait être gardée dans le réemploi si le diagnostic indique aucune dégradation ou déformation (C24 pour les fermettes). Les caractéristiques suivantes sont à mesurer ou à évaluer.

3.2.1.5. MESURAGE DE LA TENEUR EN HUMIDITÉ ET DES GRADIENTS D'HUMIDITÉ DU BOIS (APTITUDE À L'EMPLOI)

Des mesures doivent être effectuées pour tous les éléments lorsqu'il existe un risque accru d'attaque biologique, par exemple à proximité des supports muraux sur les poutres de plancher, ainsi que sur les bords et angles du toit. Les estimations sont à réaliser au moyen de la méthode électrique par résistance selon l'EN 13183-2:2002 et/ou de la méthode capacitive selon l'EN 13183-3:2005.

En présence d'une attaque fongique ou d'une attaque d'insectes, telle qu'une infestation de termites souterrains, qui est étroitement liée à la forte teneur en humidité du bois, les relevés de teneur en humidité doivent être effectués à différentes distances par rapport à l'extrémité de l'élément, les pièces doivent être mises au rebus ou une autre voie de valorisation : il n'y a pas de réemploi possible.
Afin de soumettre à l'essai les variations de la teneur en humidité, il convient d'effectuer les mesures utilisant la méthode électrique par résistance à différentes profondeurs par rapport à la surface, au moyen de méthodes non destructives appropriées telles que les électrodes isolées (EN 13183-2:2002). L'équipement utilisé à ces fins doit être étalonné pour l'espèce ou le groupe d'espèces concerné, et les relevés doivent être corrigés en fonction des conditions environnementales, conformément aux spécifications du fabricant de l'équipement.

Note : Des estimations de la teneur en humidité aideront à déterminer les conditions environnementales ainsi que le niveau de risque biologique. Cette valeur peut varier de façon significative sur toute la longueur d'un élément en fonction des environnements locaux. Ces données aideront également à déterminer les risques de propagation de la détérioration biologique et à planifier les interventions ultérieures destinées à réduire ces risques.

3.2.1.6. CARACTÉRISATION DU DOMMAGE BIOLOGIQUE

Identification du dommage biologique

La cause spécifique du dommage biologique doit être identifiée. L'avancement du dommage détermine la possibilité ou non de réemploi, réutilisation, recyclage ou rebus.
Les éventuelles interactions entre le dommage biologique et les conditions environnementales doivent être notées.

Par conséquent, une attention particulière doit être accordée à la détermination des conditions d'humidité dans tout élément de maçonnerie en contact direct avec des éléments en bois.

Évaluation de la section transversale efficace

Compte tenu de la faible section des pièces de bois, aucune altération ne peut être tolérée. Les sections transversales doivent être celles d'origine et pour se faire, avoir conservé leur intégrité.

3.2.1.7. CLASSEMENT DU BOIS SELON LA RÉSISTANCE

Les éléments qui ont été jugés intacts dans le rapport préliminaire, pour la résistance et la stabilité de la structure doivent être classés selon leur résistance conformément aux dispositions de la norme.

Classement visuel sur site des éléments structuraux en bois selon leur résistance

Les valeurs de résistance caractéristiques sont requises afin que la structure elle-même puisse être évaluée conformément aux principes de la Norme européenne EN 1995-1-1 ou d'autres normes jugées appropriées par l'ingénieur en bâtiment. Il convient de classer visuellement les éléments en bois conformément à la norme de classement visuel de la résistance qui respecte la nature, les dimensions et la position des caractéristiques réductrices de la résistance énumérée à l'Annexe A de l'EN 14081-1:2016. Le classement visuel réalisé à partir de l'évaluation des caractéristiques réduisant la résistance doit être limité aux zones critiques déterminées dans le rapport préliminaire. Les caractéristiques obtenues seront ensuite étendues à l'ensemble des éléments.

De façon détaillée, les caractéristiques réduisant la résistance, mesurables de façon non destructive lors d'une étude détaillée sur site sont les nœuds, l'inclinaison du fil et les fissures de retrait conformément à la norme NF 14081. Il est nécessaire de faire preuve de prudence dans l'appréciation de l'influence des fissures et des nœuds en fonction du type structurel de l'élément et des déclarations du rapport préliminaire.

Comme indiqué dans l'EN 14081-1:2016, en raison de la diversité des règles existantes de classement visuel en usage dans différents pays, il est actuellement impossible d'établir un seul ensemble de règles acceptables pour tous les États éléments, et c'est la raison pour laquelle seuls les principes de base sont indiqués ici. Les méthodes de mesurage, les règles de classement et les classes de résistance seront ensuite déterminées au niveau national, en tenant compte de l'origine supposée du matériau plutôt que de l'emplacement de la structure.
Afin d'attribuer une classe particulière, il est nécessaire que toutes les caractéristiques et/ou défauts de croissance soient compris dans les limites spécifiées pour cette classe. Les règles de classement visuel peuvent être adaptées par le spécialiste évaluant les modifications d'état mentionnées dans le rapport.
Le classement visuel nécessite des spécialistes des structures en bois formés et expérimentés.

Évaluation de la résistance à l'aide d'essais non destructifs

Les personnes responsables de l'évaluation peuvent décider de compléter l'évaluation par des essais supplémentaires réalisés à l'aide d'une ou plusieurs méthodes non destructives, dans le but de déterminer les propriétés physiques et/ou mécaniques qui peuvent être clairement corrélées avec la résistance de la section critique elle-même. Les essais non destructifs peuvent également être utilisés pour une évaluation globale de la structure (par exemple : charge d'épreuve, réponse dynamique).
Les méthodes d'essai choisies ne doivent pas avoir un effet néfaste, ni sur la résistance, ni sur l'intérêt historique de la structure.

L'étude visuelle de l'état est habituellement associée à des essais non destructifs et/ou non invasifs peu coûteux et faciles à effectuer, qui fournissent à l'inspecteur des informations et données supplémentaires sur la configuration interne de l'élément inspecté. Il convient de noter, toutefois, que la qualité et l'utilité de ces informations d'intégration dépendent largement des compétences et de l'expérience de l'inspecteur. Ces essais ne peuvent en aucun cas remplacer l'évaluation visuelle.

L'équipement minimum requis pour les études d'état de routine est décrit dans la liste suivante :

- lampe-torche équipée d'un réflecteur assez grand ;
- mètre ruban rétractable ;
- lames de rasoir industrielles ;
- loupe grossissante, idéalement pourvue d'une lampe intégrée ;
- règle fine et plate en acier (de 0,2 à 0,4 mm d'épaisseur environ), utile pour évaluer le type, le sens et la profondeur des fissures dans le élément en bois ;
- alènes ou tournevis plats, de différentes tailles, permettant d'évaluer la solidité de la surface du bois ;
- ciseaux à bois très tranchants (lame large, lame étroite, gouges), utilisés pour nettoyer de petites zones sur la surface en bois à examiner, ou pour tailler de petits fragments en vue d'analyses en laboratoire ultérieures (identification des essences de bois, détection d'attaques fongiques, etc.) ;
- maillet en caoutchouc, utilisé pour l'essai de « percussion » : le léger martelage du élément en bois en différents endroits génère des différences de réponse acoustique qui peuvent révéler la présence de cavités internes ou de pourriture cachée ;
- enveloppes ou sachets, identifiés de manière unique, pour le stockage et le transport des échantillons ; craies de couleur, craies de cire ou marqueurs permettant de marquer de façon plus ou moins permanente les zones au niveau desquelles les échantillons ont été prélevés ;
- hygromètre à bois, équipé d'électrodes d'au moins 50 mm de long (à sonde isolée, pour le mesurage des gradients d'humidité).

Autre équipement utile :

- brosses ;
- fil métallique (pour enlever les matériaux de surface) ;
- fibre rigide végétale ou synthétique (pour nettoyer grossièrement) ;
- pinceau (pour enlever la saleté et la poussière des surfaces délicates).

3.2.1.8. DIFFÉRENTS INSTRUMENTS DE MESURES POUR LA CARACTÉRISATION DU BOIS

Hygromètres

Les mesurages de la teneur en humidité sont effectués, sauf indication contraire, à l'aide d'hygromètres dotés d'électrodes à tige isolée et extrémités conductrices. Afin d'éviter des erreurs importantes dans les résultats, les contrôles suivants doivent être effectués avant tout mesurage :

- niveau de charge de la batterie ;
- bon fonctionnement des câbles de raccordement ;
- continuité de la couche de vernis isolant sur la tige des électrodes ;
- échelle de mesure adaptée aux espèces de bois ;
- ajustement pour la prise en compte de la température ambiante.
- Les procédures de mesurage peuvent avoir les objectifs suivants :
- en tout point de l'élément, déterminer si la teneur en humidité du bois est entre 18 et 20 % et, par

conséquent, s'il est exposé au risque biologique d'une attaque fongique ;
- déterminer la teneur en humidité moyenne de l'élément structural. Cette valeur sera utilisée pour l'ajustement des valeurs mesurées de la densité, de la résistance et du module d'élasticité.

Note : Les hygromètres basés sur la capacitance ou l›inductance du bois ne déterminent pas la bonne teneur en humidité moyenne d›un élément en bois lorsque des gradients de teneur en humidité transversaux inverses sont présents (bois en phase d'adsorption). Dans ce cas, il est recommandé d'utiliser des hygromètres résistifs équipés d'électrodes isolées.

SOURCES D'ERREURS : la présence de substances biodégradables (pourriture fongique) et/ou conductrices (sels, agents de conservation, retardateurs de flamme, peintures, etc.) augmente généralement de façon significative les valeurs relevées sur les hygromètres électriques. De même, la présence de pièces métalliques dans le voisinage de la zone étudiée peut modifier les relevés des hygromètres sans contact.

SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT : des séries chronologiques de données concernant la température et l'humidité relative, recueillies à l'aide d'enregistreurs de données, permettent d'estimer la tendance de la teneur en humidité d'équilibre attribuable à tous les éléments en bois soumis aux mêmes conditions climatiques ; cette valeur de tendance est très utile pour identifier les éventuelles incohérences et erreurs dans les mesurages directs susmentionnés.
Le fonctionnement des hygromètres à bois se base sur la relation entre la résistivité du bois et sa teneur en humidité. À l'état anhydre, le bois peut être considéré comme un matériau isolant ; sa résistivité diminue avec l'augmentation de la teneur en humidité et suit une loi approximativement exponentielle jusqu'au point de saturation, puis continue à diminuer, mais selon une progression plus lente et moins régulière. Le mesurage de la résistivité est effectué entre deux électrodes en acier insérées dans le bois. La plage de mesures de la teneur en humidité du bois est comprise entre 7 % et 30 %.
Les relevés obtenus en dehors de la plage de mesures susmentionnée doivent être considérés comme non fiables.
Le mesurage électrique de l'humidité est de nature locale et fournit des informations sur l'humidité maximale entre les deux électrodes. Des erreurs importantes pourraient donc avoir lieu s'il existe des poches d'humidité dans le bois, si la surface est recouverte d'eau, de vapeur, de glace, de solutions salines, d'agents de conservation, de produits ignifuges, de peinture conductrice, etc. Il est possible de réduire le risque d'erreurs de ce type en utilisant des électrodes à pointe isolée. Si la longueur des modèles choisis est adéquate, les électrodes de ce type permettent également de détecter tout gradient transversal d'humidité au moyen de relevés répétés effectués à des profondeurs croissantes. Même dans ce cas, il convient toutefois de prêter attention à la présence d'eau sur la surface de l'élément en bois : la pointe pourrait déplacer cette eau à l'intérieur du trou et occasionner une augmentation fictive de la valeur relevée sur l'instrument. Les facteurs qui influent le plus sur la détermination de la teneur en humidité sont :

- Les essences de bois : il existe des courbes d'étalonnage des instruments pour des groupes homogènes d'essences ;
- La température : les meilleurs outils fournissent un ajustement du relevé en fonction de la température du bois ;
- Le dépôt d'extractibles ayant une nature ionique permet de modifier de manière significative la résistivité du cœur par rapport à l'aubier ;
- Le sens du fil : en plaçant les électrodes perpendiculairement par rapport au fil, les relevés sont obtenus avec des écarts de - 2 % par rapport à des mesurages effectués en alignant les électrodes sur le fil ; de plus, la présence éventuelle de fissures radiales interrompant la continuité du matériau entre les électrodes pourrait entraîner une augmentation de la résistance apparente lorsque le mesurage est effectué avec les électrodes placées perpendiculairement au fil.

En plus des dispositifs de mesurage basés sur la résistance électrique, il existe également des instruments basés sur les propriétés diélectriques du matériau, liées à la présence de molécules polaires d'eau. Ces hygromètres électriques sont appelés « fréquencemètres radio » ; leur fonctionnement est basé sur les propriétés d'accumulation par le bois humide, s'il est soumis à l'action d'un champ électrique, d'une charge électrostatique (représentée par le paramètre appelé constante diélectrique), puis de renvoi d'une partie uniquement de l'énergie stockée lorsque l'action du champ électrique cesse ou est inversée (représentée par ce qui est appelé le facteur de pertes diélectriques). Les électrodes

existent dans différentes formes et dimensions. Certains modèles fonctionnent avec des électrodes « sans contact » et sont idéaux pour les vérifications totalement non destructives et sans impact sur les œuvres d'art, fragiles ou non. Un autre avantage est leur plus grande fiabilité de mesurage de l'humidité, qui est supérieure de 30 % par rapport aux hygromètres à résistance électrique.
Les inconvénients résident principalement dans les incertitudes de mesurage liées à la présence de gradients d'humidité transversaux directs et inverses. Les masses ferromagnétiques (par exemple : plaques et attaches en acier) peuvent aussi fortement influencer les mesures. Cela rend les fréquencemètres radio moins adaptés pour les mesurages d'humidité sur site.
Pour finir, les thermo-hygromètres sont également utilisés pour la surveillance des conditions de service climatiques (humidité relative et température de l'air) des structures en bois. Grâce à ces données, il est possible d'obtenir une estimation fiable de la tendance de la teneur en humidité d'équilibre des éléments en bois, qui fournit ainsi d'autres informations précieuses sur la stabilité dimensionnelle du bois et les risques d'attaque fongique.

Duromètre de surface

La méthode de l'essai de pénétration statique propose la détermination de l'indice R, qui exprime la force requise pour faire pénétrer dans le bois une bille en acier de 10 mm de diamètre jusqu'à une profondeur de 5 mm. En fait, cette méthode peut être considérée comme la version sur site du célèbre essai normatif de dureté du bois Janka. Par conséquent, elle pourrait trouver une application utile, principalement dans l'estimation de la densité du bois et dans l'évaluation de l'état de conservation des surfaces en bois.
Les principaux inconvénients sont les mêmes que ceux signalés pour les perceuses électriques instrumentées, avec d'autres limites en raison de la faible résolution des relevés de l'instrument et de l'impossibilité de soumettre à l'essai le matériau en profondeur (au moins pour les modèles à un coup). De plus, en présence de bois sec et de haute densité, l'énergie développée par l'outil de pénétration n'est souvent pas en mesure d'assurer une pénétration importante de la pointe. Enfin, les relevés peuvent dépendre fortement de l'angle de pénétration de la pointe par rapport au sens du fil du bois.

Carottage et forage

Lors du diagnostic, il est parfois utile d'étendre l'étude aux couches de bois profondes, à l'aide de foreuses équipées de mèches longues et fines, ou même de carottiers. Les principales utilisations des carottages dans l'évaluation des éléments structuraux en bois sont résumées ci-dessous :

- Évaluation visuelle de l›état du bois à différentes profondeurs ;
- Évaluation de la présence de galeries d›insectes à différentes profondeurs ;
- Échantillonnage pour l›examen microscopique ; par exemple, pour l›identification des essences de bois ;
- Échantillonnage pour les analyses dendrochronologiques (dans ce cas, il convient que l›échantillonnage soit effectué par un spécialiste en dendrochronologie) ;
- Détermination de la densité et des autres propriétés mécaniques du bois (qui ne sont pas directement liées à la performance de l'élément en bois).

Le forage est utile pour améliorer l'évaluation des têtes de éléments en bois insérées dans les murs porteurs et donc totalement invisibles. Le forage est habituellement réalisé selon un angle d'environ 45° par rapport à la face de la poutre, en pointant vers sa partie finale. Une différence très nette de progression de la mèche par rapport à celle offerte par un bois sain indique un ramollissement du matériau, probablement dû à une teneur en humidité excessive et une pourriture fongique. L'utilisation de pointes émoussées (par exemple : pointes de mèches de maçonnerie) permet d'améliorer la sensibilité de l'opérateur. Le forage à un angle de 90° par rapport à la face d'une poutre est également utilisé comme outil d'étude d'état supplémentaire (sondage) lorsque la présence de biodégradation ou même de cavités d'origines diverses est suspectée. Parfois, l'observation directe des surfaces internes est également effectuée, par l'insertion d'un endoscope souple ou rigide dans le trou.
Le forage ou le carottage peuvent être utilisés pour la délimitation précise des frontières entre le bois sain et le bois biodégradé, par exemple en cas de travaux de réparation par reconstruction/intégration/remplacement des segments pourris d'un élément en bois donné.
Il convient que les aspects suivants soient pris en compte lors de la procédure de forage :

- Différentes essences de bois, ainsi que différentes poutres de la même essence de bois, présentent une résistance extrêmement variable à la pénétration de la mèche, même en

l'absence de biodégradation. Par conséquent, la méthode de forage exige énormément de savoir-faire et de sensibilité de l'opérateur, qui devra également tenir compte de la variabilité des caractéristiques du matériau en raison de l'anisotropie naturelle du bois ;
- La sensation causée par la présence de fissures de rétrécissement radiales « bénignes » peut être confondue avec celle causée par d'autres caractéristiques du bois et peut conduire à une fausse évaluation de présence de cavités, de pourriture, etc. À ce titre, les fissures de rétrécissement des éléments en chêne, qui se referment à l'interface entre le bois de cœur et le bois d'éclisse (et ne sont donc pas visibles de l'extérieur), sont particulièrement trompeuses ;
- S'ils sont présents en nombre excessif ou dans des emplacements peu pratiques, les trous laissés dans le bois (leur diamètre est généralement compris entre 3 et 5 mm pour les forages, jusqu'à 20 ÷ 30 mm pour les carottages) représentent à la fois un dommage mécanique et un point d'entrée possible de nouvelles attaques biologiques. Il est donc approprié de minimiser le nombre d'essais et de documenter clairement leur emplacement, leur diamètre et leur profondeur.

Endoscope

Après le forage, le trou peut être inspecté à l'aide d'un endoscope. Les endoscopes sont des instruments pourvus d'un tube optique souple ou rigide équipé d'un objectif et d'une source lumineuse. La qualité de l'image est généralement élevée, mais il est recommandé de ne les utiliser que pour l'étude d'état des cavités cachées et des grandes discontinuités en raison de la rugosité des surfaces en bois et de la faible profondeur de champ.

Résistance à l'arrachement des vis

L'idée de base est de mesurer la force de traction requise pour extraire une vis normale préalablement insérée dans le bois, en présumant que cette force est liée aux caractéristiques de densité et de résistance du matériau, ainsi qu'à la présence de toute dégradation causée, par exemple, par des attaques fongiques ou d'insectes.

Vibrations

Le module d'élasticité moyen d'un élément en bois peut être calculé avec une bonne approximation en mesurant la fréquence fondamentale (en flexion ou longitudinale) de vibration libre de la poutre. Les observations déjà formulées pour les essais de charge d'épreuve s'appliquent également ici.
Pour l'onde compression d'une poutre libre, une méthode CND « bing », le MTG, ou autre méthode peut servir pour déterminer la fréquence fondamentale de vibration.

Temps de propagation de l'onde élastique de contrainte

Les procédures de détermination sur site du temps de propagation (vol) des ondes élastiques dans un élément en bois sont regroupées en deux catégories d'essais, à choisir principalement en fonction de l'équipement disponible, puisque les deux fournissent des résultats équivalents :
- les essais d'ondes de contrainte, effectués en frappant le bois (par exemple, avec un petit marteau) et en identifiant les instants où l'onde élastique excite au moins deux accéléromètres fixés sur des points prédéterminés de l'élément en bois ; l'accéléromètre à déclenchement peut également être solidaire de la tête du marteau ;

- les essais aux ultrasons, effectués à l'aide de capteurs en acier capables d'émettre et de recevoir des paquets d'ondes ultrasoniques (rafales d'ultrasons) et connectés à un chronomètre adéquat.

Avec les deux méthodes, les trajectoires de vol nominales sont déterminées par mesurage de la distance entre les capteurs, qui permet ainsi de déduire une vitesse de propagation moyenne qui, combinée à la densité moyenne du bois fournira comme résultat un paramètre de module d'élasticité dynamique lié à la fois au module d'élasticité E et à la qualité de l'élément en bois.

Tomographie

Il est possible, à l'aide d'appareils à rayons X appropriés, d'obtenir une vue en 3 dimensions de ce qui se trouve à l'intérieur du bois : anomalies cachées, galeries d'insectes, pourriture étendue et avancée,

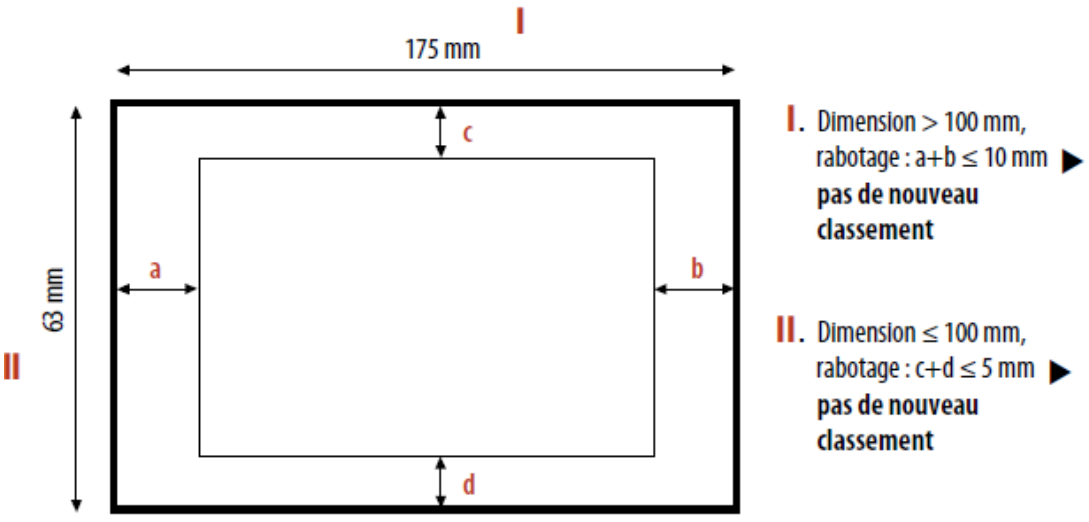
défaillances, fissures, cavités, etc.). Ces techniques sont faciles à appliquer pour les composants en bois minces, tandis que leur application sur site à de grandes poutres exige un équipement dédié qui reste remarquablement complexe et onéreux. En outre, les résultats ne sont pas facilement interprétables. À ce jour, l'utilisation de ces techniques reste donc uniquement justifiée pour des cas très particuliers présentant un grand intérêt historique ou artistique, qui sont couverts par des protocoles d'essai spéciaux. La même remarque s'applique aux essais semblables réalisés à l'aide d'autres types de rayonnement ou d'analyse technique et de traitement des mesures (rayons gamma, tomodensitométrie, résonance magnétique, etc.).

Essai de charge d'épreuve

L'essai de charge d'épreuve consiste à mesurer la déflexion élastique des poutres ou systèmes structurels en service (par exemple, les planchers). La charge d'épreuve implique plusieurs étapes permettant de garantir la sécurité et l'exactitude de l'opération d'application de charge (y compris la déflexion). Pour plus d'informations, voir « Assessment of timber structures », 2010.

3.2.1.9. RECLASSEMENT DU BOIS SELON LA RÉSISTANCE

Si l'analyse après diagnostic démontre la nécessité de remise en état par rabotage, le bois conserve la qualité d'origine qui lui a été associée par classement jusque dans certaines limites. La réduction maximale par rabotage admise par la norme EN 14081 est limitée en fonction des dimensions de base. Pour une dimension inférieure ou égale à 100 mm, la réduction maximale par rabotage est de 5 mm. Le bois classé dont les dimensions sont supérieures à 100 mm peut être réduit au maximum de 10 mm sans obligation de reclasser le bois.



FONDATION BÂTIMENT ENERGIE

ÉCONOMIE CIRCULAIRE DES BÂTIMENTS

3.3. Récapitulatif des performances

En se basant sur les informations collectées lors du diagnostic et les modes de preuve préconisés pour chacune des performance identifiées (voir annexe D), il s'agit ici d'identifier les performances qui peuvent être considérées comme justifiées par l'examen des documents disponibles et la visite de site et les performances qui nécessitent des modes de preuve complémentaires pour pouvoir être justifiées (par exemple : échantillonnage et essais).

Il s'agit donc ici d'analyser, pour chacune des performances recensées au tableau de l'annexe D, si la performance peut être considérée comme justifiée ou de recenser les moyens à mettre en œuvre pour la justifier, en suivant les préconisations précisées ci-avant dans cette annexe E.

NATURE DE LA PERFORMANCE	TYPE DE PERFORMANCE	RÉEMPLOI AVEC RECONDITIONNEMENT (DÉCAPAGE, USINAGE, FINITION)
Réglementaires	Qualité de l'air intérieur (étiquetage)	Applicable aux produits de préservation
	Substances dangereuses (REACH)	Applicable aux produits de préservation
	Qualité environnementale et sanitaire des produits de construction	Déclaration environnementale à établir (uniquement si allégation environnementale accompagne la commercialisation du produit)
	Incendie / Réaction au feu	caractérisation pour l'ouvrage de toiture
Aptitude à l'emploi	Essence Classe d'emploi Humidité du bois Classement mécanique Dimensionnement	Généralement résineux : Sapin ou Epicéa 2 (espace couvert) Inférieure à 22% ST-II ou C24 Les logiciels de calcul permettent de positionner les bonnes sections aux bons endroits avec les bons connecteurs, en fonction de la pente et des charges à reprendre (vent, neige, type de couverture)

Tableau : Identification des performances

Le dimensionnement des charpentes industrialisées doit prendre en compte les lignes d'épure et les conditions d'appui (rotule, appui glissant…). Les charges ponctuelles telles que les souches de cheminée ou les possibilités d'accumulation de neige ne doivent pas être sous-estimées.
Le calcul doit concerner également les formes spéciales (tronquées ou dissymétriques), telles que les fermes de chien-assis, de fenêtre de toit ou sur trémie d'escalier, sujettes à déformations particulières.

Les contreventements

Les contreventements sont constitués de :

- Lisses filantes sur entraits
- Entretoises entre les entraits
- Lisses filantes sous arbalétriers
- Contreventements
- Antiflambements sous arbalétriers
- Antiflambements sur fiches

Ils peuvent être calculés mais à défaut, leurs sections sont les suivantes et doivent être justifiées par le calcul si nécessaire.

FONDATION BÂTIMENT ENERGIE

ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

	Entraxe des fermettes en m		
	< 0.70	0.70 à 0.92	0.92 à 1.10
Antiflambement sous arbalétriers	25 mm x 100 mm	36 mm x 96 mm	36 mm x 122 mm
Contreventements sur diagonales	25 mm x 72 mm	25 mm x 72 mm	36 mm x 96 mm
Lisses filantes et Antiflambement sur fiches	25 mm x 60 mm	25 mm x 72 mm	36 mm x 72 mm

Les assemblages métalliques

Les connecteurs métalliques sont conformes au CGM du NF DTU 31.3 et à la norme NF EN 15 545.
Tous les éléments d'assemblage métalliques ont une durabilité compatible avec la classe de service 2 au sens de NF EN 1995-1-1.

FONDATION
BÂTIMENT
ENERGIE

ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

Annexe A

Glossaire

A1

Définitions génériques (dans le cadre de ce document)

Produit Terme générique désignant tout composant ou toute matière qui entre dans la composition des ouvrages.

Procédé ensemble de produits mis en œuvre pour un emploi dans un ouvrage : par exemple, *procédé d'isolation thermique, procédé d'assèchement des murs, procédé d'étanchéité des terrasses…*

Équipements Au pluriel, ***les équipements*** désignent l'ensemble des installations de confort, de sécurité, de domotique…. d'un bâtiment : chauffage, ventilation, sanitaires, réseaux électriques, dispositifs d'alarme, *etc.*

Usage – emploi Fonction du produit/procédé/équipement dans le bâtiment

Domaine d'emploi (pour les besoins de ce document) : Ensemble des informations relatives à l'emploi d'un produit/procédé/équipement comprenant notamment :

- La localisation géographique de l'ouvrage dans lequel le produit/procédé/équipement est employé (vis-à-vis des régions de vent, des régions de neige, des zones sismiques, des atmosphères extérieures, …) ;
- La typologie du bâtiment (bâtiment d'habitation, Etablissement Recevant du Public, …) ;
- La description des ouvrages ou parties d'ouvrage réalisés avec le produit/procédé/équipement ou dans lequel le produit est utilisé ;
- La configuration d'emploi, c'est-à-dire les conditions dans lesquelles le produit/procédé/équipement a été employé (type de support, type de mise en œuvre, expositions spécifiques auxquelles le produit est soumis, …)

Emploi initial **usage et domaine d'emploi** du produit/procédé/équipement que l'on souhaite déposer et réemployer.

Emploi futur **usage et domaine d'emploi** que l'on cible à l'issue de la dépose.

Ouvrage de destination ouvrage ou partie d'ouvrage dans lequel le produit va être réemployé

Réemploi/réutilisation

Les types de configurations suivants peuvent être distingués pour le nouvel usage :

- Un usage et un domaine d'emploi strictement identiques à l'usage et au domaine d'emploi initial [Réemploi – **Visé** par ce document] ;
- Un usage identique mais un domaine d'emploi différent par rapport au domaine d'emploi initial, c'est-à-dire que les performances essentielles à justifier sont différentes de celles du domaine d'emploi initial. 2 cas de figures existent dans cette configuration :
  - Les performances essentielles attendues pour le nouvel usage sont moindres. C'est par exemple le cas pour une cloison séparative acoustique utilisée en cloison séparative standard [Réemploi – **Visé** par ce document] ;
  - Les performances essentielles attendues pour le nouvel usage sont plus importantes [Réutilisation – **Non visé** par ce document].

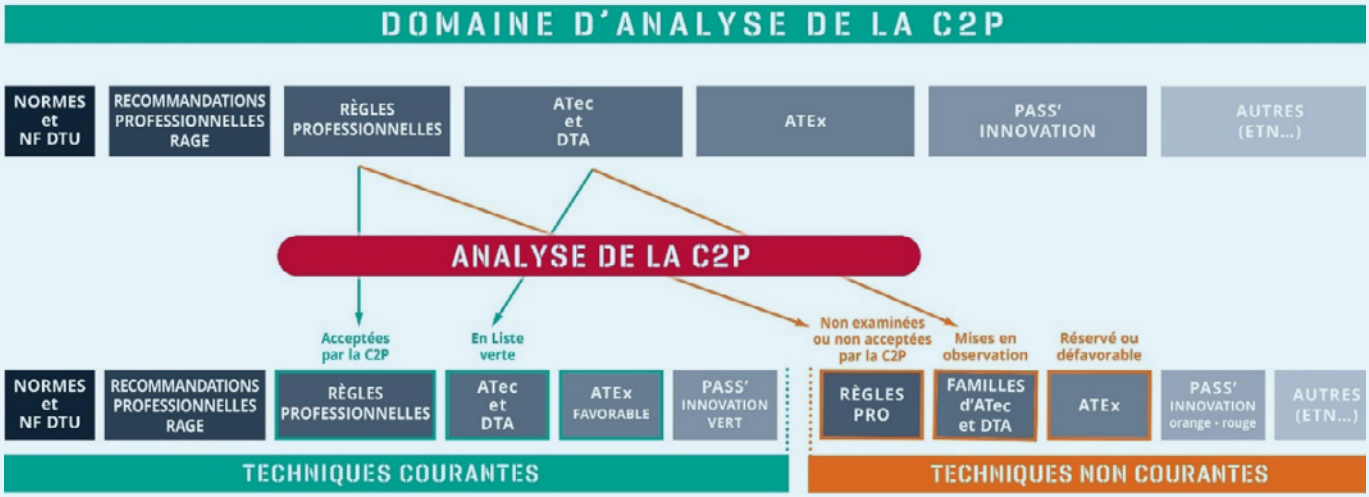
Due diligence d'un bâtiment : La due diligence est une analyse subdivisée en différents éléments clefs (marché immobilier, droit, fiscalité, technique de la construction, environnement (pollution), finance, évaluation financière du bien …) pour accroître la transparence des projets immobiliers et permettre au bailleur de fonds d'identifier les risques déterminants avant la conclusion d'une transaction. Elle comporte notamment un diagnostic technique destiné à faire ressortir les défauts : non-conformité, dysfonctionnement, vieillissement, désordre réel, désordre potentiel du bâtiment mais, peut aussi faire ressortir les aspects positifs ou particularités.

Techniques traditionnelles l'ensemble :

- des produits et des procédés dont les normes de production, dimensionnement et mise en œuvre permettent la construction d'un ouvrage pérenne ;
- des produits et procédés qui résultent pour leur fabrication, leur dimensionnement et leur mise en œuvre de techniques éprouvées de longue date ou couvertes par ce qu'il est convenu d'appeler les règles de l'art.

Techniques non traditionnelles l'ensemble des produits et procédés qui, de par leur nature et/ou leur mise en œuvre, dérogent à ce qu'il est convenu d'appeler les Règles de l'Art (Documents Techniques Unifiés, Règles Professionnelles, Recommandations professionnelles RAGE).

« Technique courante » ou « Technique non courante » au sens assurantiel du terme sur la base du schéma de l'AQC suivant :



La C2P (Commission Prévention Produits mis en œuvre) de l'AQC, un lien entre domaine traditionnel ou non et techniques courantes ou non
Source: http://www.qualiteconstruction.com/pole-prevention-produits

Acteurs

Maître d'ouvrage A maître d'ouvrage propriétaire des produits qui seront réemployés

Maître d'ouvrage B maître d'ouvrage pour lequel les produits issus du réemploi seront mis en œuvre

Diagnostiqueur/qualificateur réemploi Personne en charge du « diagnostic réemploi » dont les compétences sont à définir.

Sigles

DOE Dossier des Ouvrages Exécutés

ATEx Appréciation Technique d'Expérimentation

DPM Documents Particuliers du Marché

A2

Définitions spécifiques aux charpentes industrielles extérieures

About Extrémité d'une pièce de bois.

Ancrage Élément assurant la fixation de la charpente à la maçonnerie : équerre, étrier…Un ancrage peut être bloqué, ou laisser une certaine liberté aux pièces de la charpente.

Anti-flambement (dispositif d') Ensemble des pièces destinées à lutter contre la déformation dans le sens de leur épaisseur des pièces des fermes soumises à compression.

Appui Point où la charpente repose sur un élément porteur rigide.

Arbalétrier Pièce oblique portant l'un des deux versants du toit. L'arbalétrier s'assemble à la base avec l'entrait, au sommet avec le poinçon.

Articulation Liaison permettant aux pièces assemblées un jeu en rotation.

Boiteuse (ferme) Ferme dont les appuis sur la maçonnerie sont à des hauteurs différentes.

Chaînage Poutre, généralement en béton armé, assurant une rigidification du couronnement, d'un mur, ou d'une arête.

Chevêtre Pièce de bois dans laquelle s'emboîtent des solives, des chevrons ou des pannes en limite d'une trémie.

Chevron Pièce de bois de section plutôt carrée posée dans le sens du rampant sur laquelle on fixe des liteaux qui soutiennent la couverture.

Connecteur Plaque en tôle d'acier, munie de dents embouties, permettant l'assemblage des pièces constituant les fermes d'une charpente industrialisée.

Contreventement Ensemble des pièces destinées à stabiliser la charpente contre la poussée horizontale du vent.

Croupe Pan de toit de forme généralement triangulaire.

Dévoyer Détourner une pièce de bois de sa trajectoire normale, afin de permettre le passage d'autres pièces prioritaires.

Encuvement (ferme à) Ferme sans entrait, dont la base des arbalétriers est rehaussée par rapport à la maçonnerie à l'aide de deux pieds droits et d'une triangulation. Elle prend ainsi appui sur la maçonnerie par deux ancrages.

Entrait Poutre horizontale reliant les arbalétriers, généralement à leur base, dont elle maintient l'écartement.

Diagonale (ou pièce de bois de triangulation) Pièce de bois reliant deux pièces de structure (par exemple l'entrait à un arbalétrier), afin de constituer une structure triangulaire.

Entraxe des fermes Distance séparant l'axe vertical de deux fermes.

Entretoise Pièce de bois qui sert à relier, dans un écartement fixe, des poutres.

Faîte, ou faîtage Arête supérieure d'un comble.

Faux-aplomb Caractère d'un mur (ou d'une ferme) qui n'est pas parfaitement vertical(e).

Ferme Assemblage de pièces (deux arbalétriers, diagonales et généralement un entrait, parfois un poinçon) de forme généralement triangulaire. Une ferme est destinée à porter le faîtage, les pannes, les chevrons et les plafonds d'un comble.

Feuillard Bande étroite d'acier.

Flambement (ou flambage) Instabilité d'une pièce comprimée sous l'effet de la compression.

Flèche Déformation transversale d'une pièce sous l'action d'une charge.

Fourrure Pièce rapportée pour doubler un élément.

Gousset Plaque d'assemblage trapézoïdale, souvent en contreplaqué, parfois en acier.

Lisse Pièce longitudinale en bois reliant les fermes.

Lisse filante Lisse croisant plusieurs fermes consécutives.

Liteau Bois de petite section supportant une couverture en petits éléments (tuiles, ardoises…).

Nœud de triangulation Point d'une ferme où s'assemblent plusieurs pièces.

Ouvrage particulier Ouvrage tel que cheminée, lucarne, fenêtre de toit, escalier… à intégrer dans la mise en œuvre d'une charpente.

Panne Pièce de bois horizontale qui sert à soutenir les chevrons.

Pannelette Panne de petite section et de portée réduite.

Pignon Mur d'extrémité d'une construction, généralement perpendiculaire à l'axe du faîtage.

Poinçon Pièce verticale d'une ferme reliant l'entrait au faîtage.

Portée Distance franchie entre deux appuis, pour une pièce en flexion (arbalétrier, entrait, lisse filante…) ou partie de pièce qui porte sur un appui.

Poutre (au vent) Ensemble rigide de pièces (pièces de bois assemblées en triangulations, matériau composite) destiné à venir renforcer la charpente, notamment pour le contreventement.

Prolonge (d'arbalétrier) Partie de l'arbalétrier située à l'extérieur de son assemblage avec l'entrait, afin de le prolonger jusqu'à la maçonnerie.

Rehausse Poutre doublant par-dessus l'entrait d'une ferme. La rehausse est destinée à augmenter la résistance de l'entrait pour supporter le plancher du comble.

Rive Petit côté d'une pièce de bois.

Section Surface en coupe d'une pièce (produit de l'épaisseur par la hauteur).

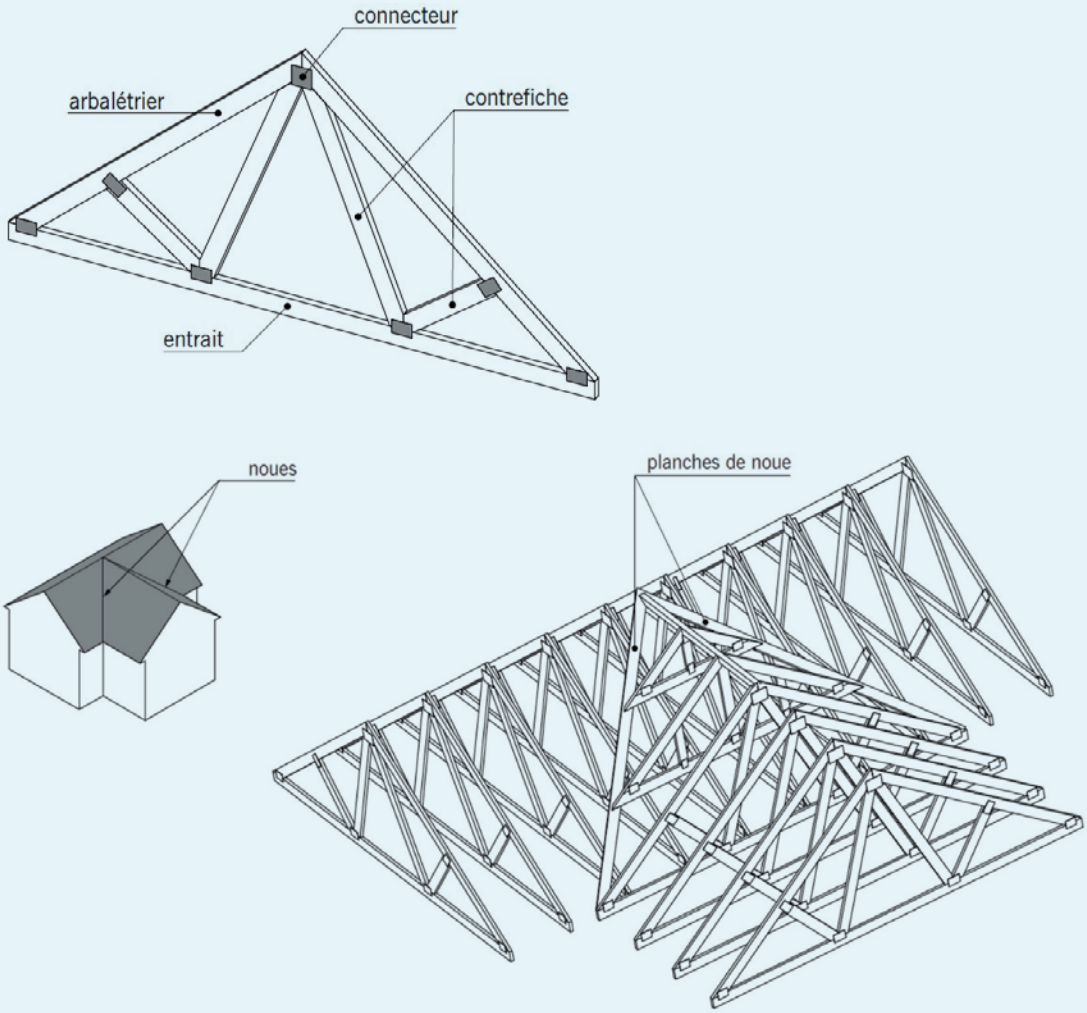
Solive Pièce de bois recevant les planches du plancher et supportant les lattes du plafond.

Trémie Ouverture réservée dans un plancher ou une toiture destinée à être occupée par un escalier, une lucarne ou un conduit d'évacuation des fumées.

Triangulation Pièces de bois, disposées en diagonale entre deux éléments de charpente, et

destinée à rigidifier l'ensemble (par exemple les diagonales d'une ferme ou celles d'un système de contreventement).

VOLIGE Latte sur laquelle sont fixés les éléments de couverture.



FONDATION
BÂTIMENT
ENERGIE

ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

Annexe B

Chronologie d'un diagnostic réemploi du bois de charpentes industrialisées

Les phases suivantes d'un diagnostic ont été mises en avant :

- Une première phase documentaire afin de se familiariser avec :
  - Les plans du site ;
  - Les diagnostics du site (diagnostics amiante, plomb, …) ;
  - Les Dossiers des Ouvrages Exécutés (DOE) et documents liés à la nature des matériaux et à leur pose ;
  - Tous documents pertinents issus de la Due Dilligence du bâtiment ;
  - Les éléments du marché de démolition et curage, le cas échéant, afin de connaître les premières méthodes de dépose, déconstruction et/ou démolition (situation dans le bâti et moyens de dépose).

- Une première visite in-situ préparatoire sous la forme d'une inspection visuelle :
  - Repérage des différents matériaux ;
  - Identification des matériaux pouvant être a priori réemployés et de l'étendue du gisement ;
  - Localisation de ces matériaux ;
  - Premières réflexions sur les méthodes de déconstruction possibles à adopter sur le site : démontabilité ou déconstruction et moyens associés en cohérence avec les caractéristiques du site.

- Une phase d'approfondissement des archives disponibles au regard de la première visite et en particulier la recherche, si besoin, les documents techniques justificatifs de l'époque (fiches techniques, notice d'installation, certificats, Avis Technique/ATEx, …).

- Une seconde visite in-situ si nécessaire :
  - Qualification fine des gisements réemployables (contrôle visuel, risques identifiés, homogénéité du gisement) ;
  - Tests et échantillonnages si nécessaire ;
  - Récupération de données historiques sur site liées aux différents gisements si nécessaire ;
  - Détail sur la gouvernance des différents matériaux (MOA, partenariat avec un autre MOA, prestation du démolisseur, industriel à l'origine du produit) ;
  - Identification des débouchés possibles de chaque matériau et aide du choix auprès des filières de valorisation.

- La mise à disposition du rapport de diagnostic réemploi :

L'élaboration des fiches matériaux (incluant le diagnostic du produit à déposer, le diagnostic du domaine d'emploi, les performances ayant pu être déterminées in-situ, les modes de preuve à apporter pour les autres performances à caractériser en laboratoire ainsi que, les préconisations de la dépose à la remise en œuvre).

Préalablement à chaque visite, il conviendra de s'assurer :

- Quelles zones du bâtiment concerné par le diagnostic sont visitables et accessibles dans des conditions de sécurités adéquates (électricité en fonctionnement, présence d'éclairage, pas de dégradation importante du bâti) ;
- De vérifier si le port des protections individuelles de sécurité est nécessaire ;
- De prévoir les appareils et outils adéquats, à savoir (liste non exhaustive) :
  - Lampe torche (frontale),
  - Tablette numérique,
  - Papier et plan imprimé,
  - Crayons,
  - Appareil photo,
  - Marqueur,
  - Outil de mesure : Mètre mesureur, Télémètre, Humidimètre, Pied à coulisse
  - Poinçon
  - …

A ces phases s'ajoutent des interfaces d'échanges en parallèle avec l'équipe projet du site à démolir et, dans le cas d'un réemploi dont le débouché est un site de construction/rénovation connu, l'équipe projet de l'opération de construction accueillante.

Sur le projet du site à démolir, échanger avec le maître de l'ouvrage ou son représentant :

- Sur le lieu et le délai possible de stockage des éléments déposés ;
- Sur les moyens matériels qui sont en place, notamment les moyens de levage (type chariot élévateur) et le maintien en fonctionnement des ascenseurs existant en perspective de la manutention des éléments déposés.

Enfin, la notion de calendrier est importante pour s'assurer de l'efficacité du diagnostic déchet : celui-ci doit intervenir sur le site démoli avant le lancement des travaux de curage avant la consultation des entreprises de curage/démolition et sur le site de réemploi (le cas échéant) relativement tôt dans la phase de conception (Esquisse/APS par exemple) pour être intégré au processus de choix des matériaux.

FONDATION
BÂTIMENT
ENERGIE

ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

Annexe C

Normes, règles de l'art et marque de qualité

C1

Normes et Règles de l'Art

Les référentiels décrits dans les paragraphes suivants, sont répartis en trois catégories :

- Produit,
- Conception,
- Mise en œuvre,

Des fiches de référentiels techniques applicables à la construction et aux systèmes Bois sont disponibles en ligne via le site : **https://catalogue-construction-bois.fr/referentiels-techniques/boisref/**

Il s'agit de fiches initiées en 2017 dans le cadre du Plan Bois 3, dont l'axe 2 est spécifiquement dédié à la facilitation de l'appropriation de tous les référentiels techniques de la filière bois par les acteurs de l'ingénierie du bâtiment.

Le guide est destiné à faciliter identification des solutions techniques et des outils de justifications associées de la filière Bois.

L'objectif était de favoriser, par sensibilisation et élaboration d'un outil adapté, l'appropriation des acquis techniques de la filière.

LA CHARPENTE BOIS INDUSTRIALISÉE OU TECHNIQUE DE LA FERMETTE.

La technique de la fermette est un dérivé de la «ferme chevrons» traditionnelle que l'on retrouve dans un grand nombre de nos vieux châteaux et dont l'apparence fait irrésistiblement penser à une coque de bateau renversée.

Cette technique ancestrale a été simplifiée, rationalisée et industrialisée en calculant très précisément les sections de bois et en appliquant un mode d'assemblage simple et très efficace : le connecteur métal

Ferme : élément de charpente triangulée, posé sur poteaux ou sur les murs pour supporter ensuite les pannes et la toiture.

Fermette : ferme de faible épaisseur, assemblée par connecteurs métalliques. Les fermettes sont disposées en appui sur les murs et à intervalles réguliers. Elles supportent directement la toiture.

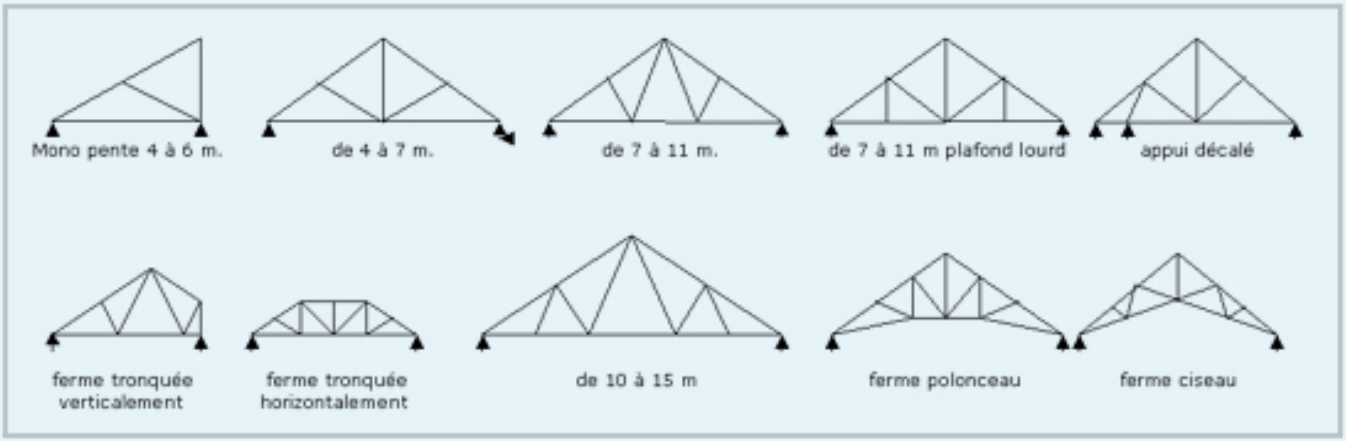
Bois de fermette : pièces de bois brut utilisées pour la réalisation des fermettes.

Charpente industrielle :se dit d'une charpente composée de fermettes. On parle aussi de « charpente américaine ».

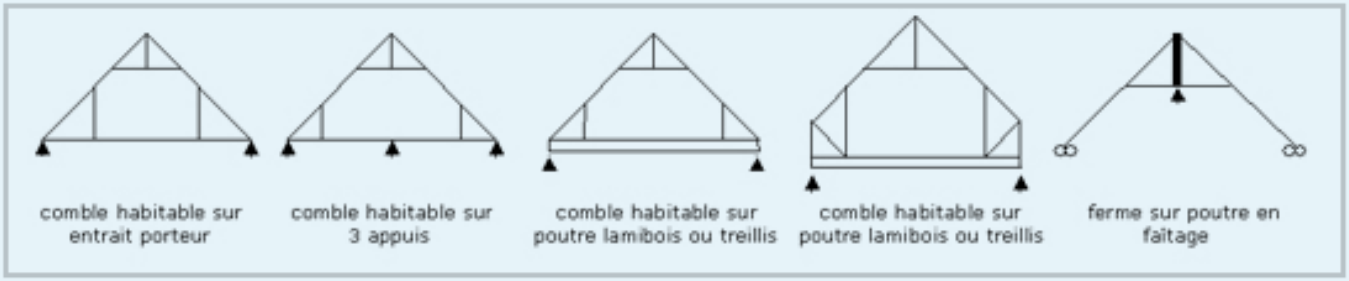
DOMAINE D'EMPLOI

La charpente industrielle est appréciée pour sa rapidité de fabrication, de mise en œuvre, et son faible coût. Ce type de charpente est surtout utilisé dès que les combles peuvent être « perdus », en particulier pour la construction de bâtiments de plain-pied avec toiture à faible pente (pavillons individuels, locaux commerciaux, petits immeubles). Il est cependant possible de réaliser des fermettes à entrait pour rendre une partie des combles aménageables.

Fermette pour comble perdu



Fermette pour combe habitable sur entrait porteur bois généralement hyperstatique



Fermes porteuses et poutres treillis (généralement doublées)

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

Essences couramment utilisées : les fermettes sont généralement fabriquées en Sapin ou en Epicéa.

Classes d'emploi :
Les classes d'emploi des fermettes sont définies selon les différentes ambiances afin de prévoir la tenue du bois dans le temps :

- Prise en compte de l'humidité
- Les agents pathogènes possibles pour chaque classe

On distingue 5 classes d'emploi selon EN 335 :

Classes d'emploi	Situation en service	Exemples d'emploi	Risque biologique
1	Intérieur – milieu sec	Parquet, lambris, escalier intérieur…	Insectes uniquement
2	Intérieur ou extérieur abrité – humidité ponctuelle et surfacique	Charpente intérieure ou sous auvent abrité, ossature	Insectes, moisissures de surface
3.1 et 3.2	Extérieur –alternance humidité et séchage	Bardage, fenêtres, .. extérieurs	Insectes, champignons dont pourriture
4	Extérieur – contact permanent avec le sol ou l'eau	Balcon, poteaux enterrés, piquet	

Les classes d'emploi des fermettes sont définies selon les différentes ambiances afin de prévoir la tenue du bois dans le temps :

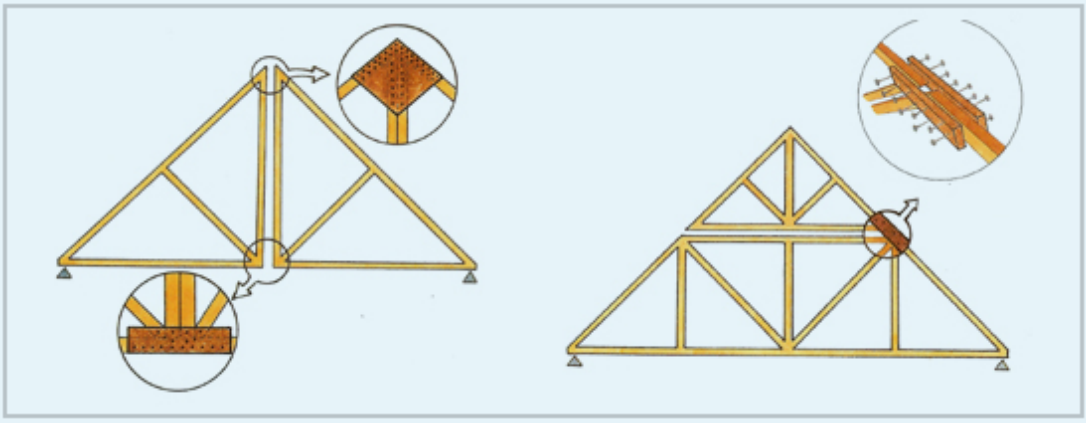
- Prise en compte de l'humidité
- Les agents pathogènes possibles pour chaque classe

Dans la mesure où l'essence courante (sapin – épicéa) ne garantit pas une longévité suffisante dans cette classe, un traitement est nécessaire pour atteindre la longévité attendue (plus de 50 ans). Il est généralement effectué par trempage mais peut aussi être réalisé par autoclave vide-pression (utilisation possible en classe d'emploi 3.1). Leur coloration vive fréquente (jaune, vert ou orange) vient du traitement par trempage qui est obligatoire pour cet usage.

Humidité des bois : taux inférieur à 22%

Classe de résistance mécanique : un bois massif séché de section rectangulaire utilisé en structure, doit faire l'objet d'un classement structurel. La classe de résistance mécanique généralement demandée est ST – II ou C24

Fabrication : les fermettes sont constituées de bois de faible épaisseur (36 mm généralement). Ces éléments sont légers et leur assemblage se fait grâce à des connecteurs métalliques en acier galvanisé. Les bois de fermette sont d'abord débités à longueur et usinés en bout puis assemblés à plat sur une table de montage où un vérin enfonce chaque connecteur au droit de chaque jonction tel que défini lors de la phase de conception en bureau d'étude.



Des sciages de 27 mm sont couramment utilisés comme contreventements, reliant entre elles les fermettes pour les rendre stables au vent.
Dimensionnement des fermettes : les logiciels de calcul permettent de positionner les bonnes sections aux bons endroits avec les bons connecteurs, en fonction de la pente et des charges à reprendre (vent, neige, type de couverture).

Les sections standards disponibles sur le marché sont dans le tableau suivant

ÉPAISSEUR EN MM	LARGEUR EN MM									
	60	72	97	112	122	147	172	197	222	247
36	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
> **Longueur :** 3, 4 ,5 et 6 m										
> **Toutes autres sections et longueurs possibles sur demande.**										
Le tableau ci-dessus présente les sections standardisées. Les scieries françaises étant réputées pour faire du « débit sur liste », elles peuvent aussi scier à la demande et répondre à tous besoins spécifiques.										

Les sections standardisées sont représentées par « × »

Services apportés

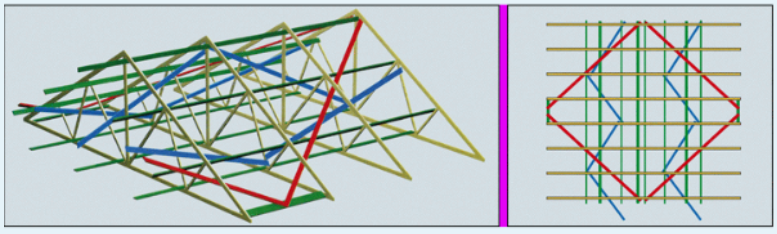
Les scieurs français peuvent réaliser des opérations complémentaires sur le produit :
- Rabotage, usinage, possibles sur demande.
- Différents types de traitement sur demande : trempage, autoclave…

De plus, les scieurs français apportent :
- La garantie qualité des produits fabriqués en bois français
- Un marquage CE des produits conformément à la norme européenne concernée
- Des conseils techniques pour répondre aux besoins de vos projets

Il 'y a pas encore de reconnaissance de fermettes réemployées mais, elles pourraient faire l'objet d'un d'une certification volontaire du type CTB-CI qui sont matérialisés par un marquage de chaque fermette, si l'état du bois ne présente aucune déformation ou dégradation.

MISE EN ŒUVRE

Toute charpente industrielle est livrée sur le chantier prête à être posée avec un plan de pose précis édité par un bureau d'étude spécialisé. Les fermettes sont en général espacées de 60 cm, 90 cm ou 120 cm. Elles prennent appui soit sur des murs, soit sur des poutres et reçoivent directement le support de couverture ou la couverture en économisant ainsi la pose de pannes et chevrons. De manière générale, les fermettes supportent généralement aussi les plafonds et le plancher du comble lorsque celui-ci est rendu aménageable. Les fermettes sont reliées entre elles par un système de pièces de bois d'épaisseur encore plus faible. Ces pièces de bois sont indispensables pour stabiliser une charpente industrielle face aux effets du vent, et pour éviter la déformation des fermettes due au poids de la couverture et éventuellement du plafond. L'objectif de ces pièces est de réaliser des assemblages triangulés avec les fermettes et afin de rendre la charpente indéformable.



En rouge : les barres venant s'opposer au flambement des arbalétriers, appelées aussi « **anti-flambages** ».
En bleu : les barres dites de contreventement apportant à la charpente sa stabilité d'ensemble.
En vert : des barres rejoignant les nœuds, appelées « **filantes** » ou « **lisses sur entrait** ».

Source : mitek

Une grande attention doit être apportée au positionnement et à la fixation de ces éléments. Il convient de respecter précisément le plan de pose fourni par le fabricant de la charpente.
Attention : les liteaux seuls ne peuvent assurer la stabilité de l'ouvrage.

PARTICULARITÉS

Tolérances dimensionnelles

La norme EN 14250 admet quelques tolérances sur les bois de fermette, les connecteurs et leur assemblage :

- Dimensions du bois :
  - Épaisseur >ou=35 mm;–
  - Hauteur pour les éléments externes > ou = 68 mm (entraits, arbalétriers);
  - Hauteur pour les éléments internes > ou = 58 mm.
- Flaches tolérées sauf dans les assemblages et sur les appuis.
- Écartement moyen entre deux membrures ≤ 1,5 mm
- Écart par rapport aux plans des dimensions hors tout de la fermette : – Fermette jusqu'à 10 m : ± 20 mm– Fermette > 10 m : ± 2 mm/m
- Écart dimensionnel des fermes d'un même lot ± 10 mm
- Limite de tolérance de la contreflèche définie par le calcul : 25 % ;
- Déplacement du connecteur par rapport à sa position théorique ≤ 10 mm.
- Les fentes, les nœuds non adhérents et les trous de nœuds sont tolérés sous les connecteurs à condition que le nombre de pointes efficaces soit conforme au calcul.
- L'écartement entre la surface du bois et la face inférieure d'un connecteur ne doit pas excéder 1 mm sur 25 % de la plaque.
- La plaque doit être exempte de déformations.
- Les connecteurs en saillie sur les bords extérieurs ne sont pas tolérés.
- Les connecteurs doivent être en retrait d'au moins 3 mm du bord sur les bords inférieurs et au-dessus d'un point d'appui.

MARQUAGE CE

La norme harmonisée NF EN 14250 relative au marquage CE des charpentes industrielles **neuves** a pour but de s'assurer qu'un contrôle des produits mis sur le marché soit réalisé afin de s'assurer que ces derniers respectent bien les règles de la CE. Pour cela, de nombreux tests ont été mis au point et doivent être réalisés à tout moment de la création des charpentes. Un niveau de contrôle 2+ est demandé pour ce produit : il s'agit de mettre en place une inspection et un suivi du contrôle de production en usine par un organisme notifié, tous les ans.
Cette procédure pourrait être adoptée pour les éléments de structure bois de réemploi, ne présentant aucune déformation ou dégradation.

Caractéristiques essentielles des pièces de bois

Le marquage CE des bois massifs structuraux impose de mettre en avant les caractéristiques essentielles suivantes :

- Essence de bois
- Dimension (section de la pièce)
- Classe de résistance
- Réaction au feu
- Classe de durabilité naturelle selon les agents de dégradation du bois : champignons, insectes, termites et agents marins (cf EN 350).

Si le bois massif a reçu un traitement de préservation, il est obligatoire de noter les informations suivantes :

- Nom du produit de préservation utilisé
- Classe de pénétration
- Valeur de rétention
- Agents biologiques cibles

Marquage CE des fermettes

La plupart des fabricants de fermettes utilisent la méthode 3B pour marquer les fermes utilisant des bois de structure de faible épaisseur assemblés par des connecteurs métalliques. Le fabricant doit alors réaliser la description des fermettes par chantier. Chaque ferme est ainsi identifiée par rapport au plan du bâtiment.

RÉFÉRENCES NORMATIVES

NORMES PRODUIT	NORMES DE MISE EN ŒUVRE	NORMES TRANSVERSES
NF EN 14250 - Structure en bois - Exigences de produit relatives aux éléments de structures préfabriqués utilisant des connecteurs à plaque métallique emboutie	NF DTU 31.3 - Travaux de bâtiment - Charpentes en bois assemblées par connecteurs métalliques ou goussets	FD P20-651 - Durabilité des éléments et ouvrages en bois
NF P21-400 - Bois de structure et produits à base de bois - Classes de résistance et contraintes admissibles associées	DTU 31.1 – Travaux de bâtiment - Charpente et escaliers en bois	NF EN 460 – Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois - Durabilité naturelle du bois massif - Guide d'exigences de durabilité du bois pour son utilisation selon les classes de risque
NF EN 1995-1-1 - Eurocode 5 - Conception et calcul des structures en bois	Règles CB 71 - Charpentes en bois - Règles de calcul et de conception. NF P21-400 - Bois de structure et produits à base de bois - Classes de résistance et contraintes admissibles associées	NF EN 350 – Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois - Méthodes d'essai et de classification de la durabilité vis-à-vis des agents biologiques du bois et des matériaux dérivés du bois - Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois - Méthodes d'essai et de classification de la durabilité à l'eau du bois et des matériaux à base de bois
NF EN 1998-4 - Eurocode 8 - Calcul des structures pour leur résistance aux séismes - Partie 4 : silos, réservoirs et canalisations	Règle NV 65 (DTU P 06-002) : règle définissant les efforts de la neige et du vent	NF EN 351 – Durabilité du bois et des produits à base de bois - Bois massif traité avec produit de préservation
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 1993-1-3 - Eurocode 3 - Calcul des structures en acier - Partie 1-3 : règles générales - Règles supplémentaires pour les profilés et plaques formés à froid

Domaine d'application du NF DTU 31.3

Charpentes préfabriquées à partir d'éléments en bois assemblés par connecteurs à plaques métalliques embouties ou assemblés par goussets à base de bois.
Les assemblages mécaniques sont symétriques (une plaque sur chaque face de la ferme).
Les assemblages par collage sont exclus.
Éléments en bois massif ou BMA d'une épaisseur supérieure ou égale à 35 mm à 12 % d'humidité des bois.
Les cloisons maçonnées portées par la charpente sont exclues du domaine d'application.

Frontières avec d'autres documents de référence

La charpente industrialisée se distingue essentiellement de la charpente de type NF DTU 31.1 par les entraxes réduits des éléments porteurs, les pièces de bois de section moindre et les assemblages par **connecteurs.**

EXIGENCES DE PERFORMANCES ET RÉGLEMENTATION	TECHNIQUE COURANTE	DOCUMENTS D'ACCOMPAGNEMENT TECHNIQUE ET PÉDAGOGIQUE SUR TECHNIQUE COURANTE 2	LIENS ACCESSIBLES
	RECONNAISSANCE PAR DES TIERS 1		
TEXTES GÉNÉRAUX SUR PARTIE D'OUVRAGE			
		- Guide de la charpente industrialisée bois Notes Techniques du SCIBO	www.charpente-industrielle.com

TEXTES RÉFÉRENTIELS PRODUITS				
		- CGM du NF DTU 31.3 - NF EN 14250 (structures assemblées) - NF EN 14081 (bois massifs) - NF EN 15497 (BMA) - NF EN 14545 (connecteurs) - NF EN 13986 (panneaux) - NF EN 14592 (assemblages tiges)	- Fiche POB charpentes industrialisées, bois massifs structuraux, bois massif abouté - Fiche FNB bois de fermette	https://catalogue-construction-bois.fr http://preferez-le-bois-francais.fr
TEXTES RÉFÉRENTIELS CONCEPTION				
	Solidité à froid	- NF EN 1995-1-1 + Annexe Nationale - Partie 3 du NF DTU 31.3	- Étude flambement des barres multiples	
	Thermique		- Charpente industrielle à combles aménageables et respect de la RT 2012	www.codifab.fr
	Sécurité Incendie - Résistance au feu - Réaction au feu	- NF EN 1995-1-2 + Annexe Nationale (justification par écran sur solutions françaises)	- Règles de la sécurité incendie à l'usage du charpentier constructeur bois	www.codifab.fr/sites/default/files/guide_incendie_version_21_mars_2018.pdf
	Sismique	- NF EN 1998-1 + Annexe Nationale	- Guide de la conception parasismique des bâtiments - AFPS (partie bois) - Étude SISBAT : Fiabilité en cas de séisme des toitures charpentes industrielles bois - Étude SISTACI (exploitation étude SISBAT)	http://www.afps-seisme.org/PUBLI/Guides-techniques https://www.codifab.fr/actions-collectives/bois
	Durabilité Risque fongique (norme) Risque insectes (réglementation)	- FD P 20-651	- La protection des bâtiments neufs contre les termites et autres insectes xylophages - Prévention contre les termites à l'interface sol-bâti - Guide durabilité préservation des ouvrages en bois	https://www.cohesion-territoires.gouv.fr/termites-insectes-xylophages-et-champignons-lignivores
	Environnement	- Base INIES - DE Bois		www.inies.fr de-bois.fr
TEXTES RÉFÉRENTIELS MISE EN ŒUVRE				
		CCT du NF DTU 31.3		

FONDATION
BÂTIMENT
ENERGIE

ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

Annexe D

Performances requises pour les bois de charpentes industrialisées

Les règlementations indiquées dans le tableau suivant sont concernées :
- soit parce qu'applicables intrinsèquement au produit ;
- soit parce qu'applicables aux composants associés au produit.

Le site : **https://catalogue-construction-bois.fr** répertorie les performances requises pour les produits bois, dont les charpentes industrialisées, ainsi que toutes les parois, systèmes et ouvrages à destination de la construction Bois. La fiche « Produits Ouvrages Bois » ou FOB correspondant aux charpentes industrialisées, réalisé par FCBA et IRABOIS dans le cadre d'études à destination des professionnels de la construction. Cette fiche est aussi disponible sur le site **www.irabois.fr**

D1

Performances réglementaires

Les réglementations applicables aux éléments d'ossature en acier sont indiquées dans le tableau suivant :

RÉGLEMENTATIONS	APPLICABLE ?		ÉLÉMENTS / INFORMATIONS À RÉUNIR*
	OUI	NON	
Thermique (neuf ou rénovation)		x	
Qualité de l'air intérieur (étiquetage)		x	
Substances dangereuses (REACH)	x		
Biocides		x	
Qualité environnementale et sanitaire des produits de construction	x		
Acoustique		X	
Incendie / Réaction au feu		x	*
Incendie / Résistance au feu	x		*
Sismique		x	*
Accessibilité		x	

*Les réglementations incendie et sismique s'appliquent sur l'ouvrage global mais pas sur l'élément bois seul. Dès lors qu'une justification en situation d'incendie ou de séisme est à effectuer, il faut obligatoirement utiliser les Eurocodes. Dans le cas contraire, il est possible d'utiliser les règles CB71 sous réserve d'accord du maître d'ouvrage futur.

SUBSTANCES DANGEREUSES

Règlement européen REACh (CE) n°1907/2006 du 18 décembre 2006 – acronyme de Registration, Evaluation, Autorisation of Chemical products - relatif à l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des produits chimiques

→ Le règlement prévoit que d'une part, les industriels sont responsables de l'évaluation des risques posés par les produits chimiques qu'ils utilisent ou mettent sur le marché et qu'ils doivent, d'autre part, fournir à leurs utilisateurs des informations relatives à la santé humaine et à l'environnement

→ Le texte précise que les industriels doivent enregistrer toutes les substances qu'ils fabriquent ou importent en quantité supérieure à 1 tonne/an auprès de l'Agence Européenne des produits CHimiques (ECHA).

→ En dehors des industriels de la chimie, ce règlement concerne plus largement, tout acteur qui importe, fabrique, transforme ou met sur le marché des produits chimiques concernés par REACh.

Dans le cadre bois pour fermettes, cette réglementation concerne plus particulièrement les produits de préservation du bois dont l'essence est à durabilité conférée pour la classe 2 visé pour la fermette.

QUALITÉ ENVIRONNEMENTALE ET SANITAIRE DES PRODUITS DE CONSTRUCTION

Cette réglementation s'applique lorsqu'une allégation à caractère environnemental accompagne la commercialisation d'un produit du bâtiment (consommation des ressources, déchets solides valorisés ou éliminés, changement climatique, acidification atmosphérique, pollution de l'air ou de l'eau, formation d'ozone photochimique, eutrophisation …). Le responsable de la mise sur le marché est alors tenu d'établir la déclaration environnementale de son produit et de la faire vérifier par une tierce partie indépendante. La mise en place de la RE2020 viendra certainement modifier ces conditions.

Principaux textes réglementaires à la date de rédaction du document :

- **Arrêté du 23 décembre 2013, modifié** relatif à la déclaration environnementale des produits de construction et de décoration destinés à un usage dans les ouvrages de bâtiment
  → Cette réglementation précise les informations que doit spécifier la déclaration environnementale, les formats d'unités fonctionnelles pour chaque catégorie de produit, les méthodes d'évaluation et de calcul des informations à déclarer.
- **Arrêté du 31 août 2015** relatif à la vérification par tierce partie indépendante des déclarations environnementales des produits de construction, des produits de décoration et des équipements électriques, électroniques et de génie climatique destinés à un usage dans les ouvrages de bâtiment
  → Cette réglementation précise les modalités de vérification des déclarations environnementales par tierce partie ainsi que les conditions de reconnaissance de cette tierce partie par un organisme ayant signé une convention avec les ministres chargés de la construction et du logement.

Élément/information requis : les charpentes industrialisées sont concernées par les rubriques suivantes :

- Données environnementales
- Eco-certification
- Données sanitaires : usinage, formaldéhyde, et pour le Grenelle de l'Environnement 2 : indication pour les déchets de bois

INCENDIE (RÉSISTANCE AU FEU)

DTU P92-703 ou norme NF EN 1995-1-2 : la résistance au feu des éléments porteurs de section réduite, tels les éléments de charpentes industrialisées de type « fermette » est obtenue par l'ajout d'un parement de protection possédant un PV d'essais permettant de justifier d'une performance coupe-feu suffisante (exemple : une plaque de BA 18 pour une performance coupe-feu d'une demi-heure). Des règles de moyens présentant des solutions types et les performances associées sont présentes au sein du DTU P92-703.

La résistance au feu des assemblages est directement liée à la résistance des pièces assemblées, au type d'assemblage (par pointes, boulonnés, etc.), et à la protection des organes d'assemblages (plaques métalliques noyées ou non dans les pièces de bois, etc.).

D2

Performances en lien avec l'aptitude à l'emploi

Pour les éléments Bois de charpentes industrialisées, la performance en lien avec l'aptitude à l'emploi structurel découle de la connaissance du matériau Bois.

D3

Performances et domaine d'emploi

Le domaine d'emploi étant la structure, tout élément en bois sujet au réemploi satisfait toutes les exigences requises à partir du moment où ses propriétés physico-chimiques ont été identifiées.

Les performances de l'élément bois sont alors utilisables dans toutes les "sciences" applicables / requises par la nouvelle utilisation.

FONDATION
BÂTIMENT
ENERGIE

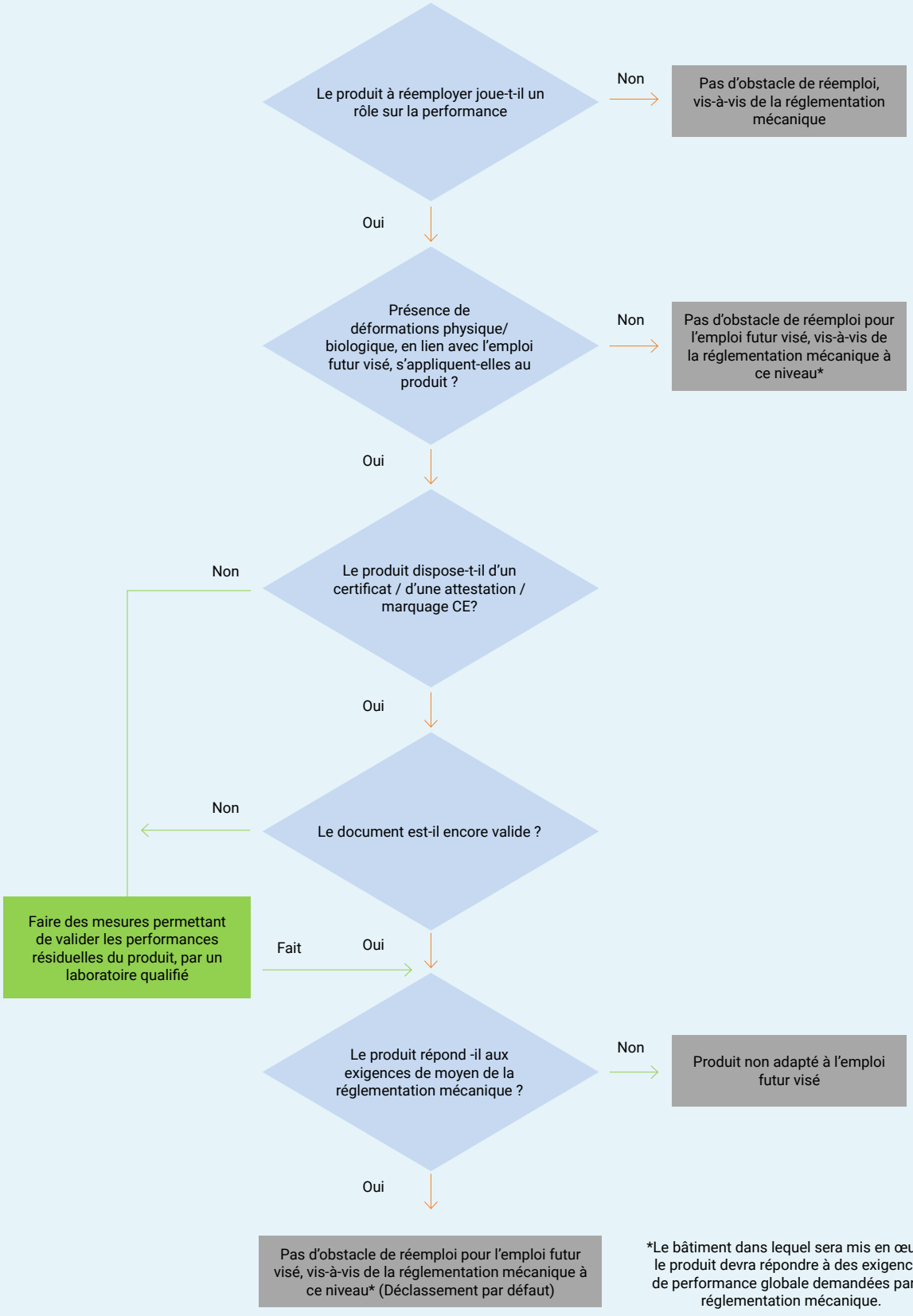
ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

Annexe E

Logigramme

Participation à la performance mécanique

Préalable / Prérequis : Après inspection visuelle, le produit semble-t-il en « bon état » vis-à-vis des performances attendues, ou bien nécessite-t-il une réparation ?
L'analyse suivante porte sur un produit en « bon état », ne présentant pas de dégradation biologique modifiant la section du bois ou la déformée des éléments bois (attaque d'insectes ou de pourriture, surcharge visible)



*Le bâtiment dans lequel sera mis en œuvre le produit devra répondre à des exigences de performance globale demandées par la réglementation mécanique.

FONDATION
BÂTIMENT
ENERGIE

ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

Annexe F

Fiche réemploi

Préambule

L'objectif du réemploi étant contemporain de méthodes de travail numérique, les fiches doivent être facilement intégrables aux processus BIM. La méthode de dépose et d'identification de chaque élément devant être traçable, les fiches produits peuvent être traitées sous format numérique permettant une intégration automatique des valeurs normalisées lorsque cela est possible ou sinon une saisie manuelle des valeurs relevées. Les données géométriques étant elles-mêmes identifiées de façon unique dans les futurs dictionnaires créés selon la norme ISO EN 23386, il ne peut exister de fiche produit universelle répondant aux exigences de ctte norme.

Fiche n° .....

INFORMATIONS GÉNÉRALES SUR LE BÂTIMENT EXISTANT

- Adresse du bâtiment de la 1ère utilisation :
- Date d'obtention du permis de construire :
- Année de mise en œuvre du produit à déposer :
- Date de réception du bâtiment :
- Usage et historique relatifs au produit à déposer (éventuels changements de destination du local, éventuelles interventions tels que ponçage, application d'un produit en surface, éventuelles pathologies pouvant avoir impacté le produit telle qu'une inondation, ...)

INFORMATIONS RELATIVES À LA CHARPENTE INDUSTRIELLE

		Avec finition mise en œuvre EN USINE	Avec finition mise en œuvre IN-SITU
FERMETTE	DESCRIPTION GLOBALE À L'ÉCHELLE FERMETTE	Type de fermette : Identification/forme : Essence du bois : Finition : Le produit est-il déjà un produit réemployé : ☐ Non ☐ Oui	
	RÉFÉRENCES	Marque : ☐ Non ☐ Oui _____ Fabricant : ☐ Non ☐ Oui _____ Disponibilité fiche technique : ☐ Non ☐ Oui Disponibilité prescriptions mise en œuvre : ☐ Non ☐ Oui	
	CLASSE DE RÉSISTANCE DU BOIS	Le module d'élasticité, la résistance à la flexion, à la compression, à la traction et au cisaillement ☐ Non ☐ Oui _____	
	MARQUAGE CE	☐ Non ☐ Oui _____	
	CERTIFICAT CTB-CI	☐ Non ☐ Oui _____	
	CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES PAR TYPE DE FERMETTE (PAR FORME GÉOMÉTRIQUE)	**Composants Bois triangulés :** Longueur : _____ mm Hauteur : _____ mm Angles Arbaletrier/section des arbalétriers :_____ mm*mm Nombre de fermettes identiques : Entraxes : mm Position des appuis : mm Schéma de la géométrie : Lisse filante sur entrait LFE: ☐ Non ☐ Oui Longueur : mm Section : mm*mm Quantité (Nombre) : Lisse filante sur arbalétrier LFA : ☐ Non ☐ Oui Longueur : mm Section : mm*mm Quantité (Nombre) : Entretoise ENT: ☐ Non ☐ Oui Longueur : mm Section : mm*mm Quantité (Nombre) : Contreventement CVT: ☐ Non ☐ Oui Longueur : mm Section : mm*mm Quantité (Nombre) : Contreventement sous arbalétrier CVTA : ☐ Non ☐ Oui Longueur : mm Section : mm*mm Quantité (Nombre) : Anti flambage sous arbalétrier AFA : ☐ Non ☐ Oui Longueur : mm Section : mm*mm Quantité (Nombre) : **Assemblages métalliques** Dimensions Caractéristique Position Dispositif anti-dévers par équerres : ☐ Non ☐ Oui Quantité (Nombre) : Schéma des assemblages	
	RÉFÉRENCES	/	Marque : ☐ Non ☐ Oui_____ Fabricant : ☐ Non ☐ Oui _____ Disponibilité fiche technique : ☐ Non ☐ Oui Disponibilité prescriptions mise en œuvre : ☐ Non ☐ Oui

ASPECT GÉNÉRAL DE LA FERMETTE	☆☆☆☆☆
ASPECT DÉTAILLÉ	Lisses sous arbalétrier (symbole) : Légende : Section : Entraxe : Quantité (Nombre) : Etat visuel : Coloration/tâche ☐ Non ☐ Oui - Cause probable/quantité/Profondeur/localisation* Flambement/flexion ☐ Non ☐ Oui - Cause probable/quantité/Profondeur/localisation* Torsion ☐ Non ☐ Oui - Cause probable/quantité/Profondeur/localisation* Fissure : ☐ Non ☐ Oui - Cause probable/quantité/Profondeur/localisation* Fissures, éclat de bois : ☐ Non ☐ Oui - Cause probable/quantité/localisation* Présence d'humidité : ☐ Non ☐ Oui – Densité (SN, …) : _____ Présence de micro-organismes : ☐ Non ☐ Oui - Cause probable/quantité /localisation* Trous: ☐ Non ☐ Oui - Cause probable/quantité Présence de clous/agrafes : ☐ Non ☐ Oui Etat des assemblage d'angles : ☐ Non ☐ Oui - Cause probable/quantité
	Le module d'élasticité, la résistance à la flexion, à la compression, à la traction et au cisaillement Résineux : ☐ C16 ☐ C18 ☐ C24 ☐ C30 ☐ C40 Feuillus : ☐ D30 ☐ D40 ☐ D50 ☐ D60
QUANTITÉ DISPONIBLE EN RÉEMPLOI	Possibilité de réemploi sans démontage/remplacement : ☐ Non ☐ Oui Identification du système : _____ Section (mm*mm) : _____ Longueur (mm) : _____ Quantité (nombre) : _____ Réemploi avec ponçage/rabotage : ☐ Non ☐ Oui Section (mm*mm) : _____ Longueur (mm) : _____ Quantité (nombre) : _____ Réemploi éléments déformés pouvant potentiellement retrouver une planéité conforme à la norme suite à reconditionnement adapté : ☐ Non ☐ Oui – Section (mm*mm) : _____ Longueur (mm) : _____ Quantité (Nombre) : _____

SI LE MATÉRIAU DEVAIT ÊTRE UN DÉCHET, IL SERAIT :

☐ Inerte ☐ Non dangereux ☐ Dangereux

INFORMATIONS RELATIVES AU DOMAINE D'EMPLOI INITIAL

Usage et localisation du produit sur/dans l'ouvrage existant

- Zone sismique :
  ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ Sans objet

- Régions de vent (utilisation en extérieur) :
  ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ Sans objet

- Régions de neige (utilisation en extérieur) :
  ☐ A1 ☐ A2 ☐ B1 ☐ B2 ☐ C1 ☐ C2 ☐ D ☐ E ☐ Sans objet

- Zone de gel (utilisation en extérieur) :

- Climat plaine/montagne (utilisation en extérieur) :
  ☐ Plaine ☐ Montagne ☐ Bord de mer

- Zones de termites : _____

- Autre (préciser) :

- Réglementation incendie :
  ☐ Habitation/Logement-foyer (Arrêté du 31 janvier 1986 modifié) - Famille : _____
  ☐ ERP (Arrêté du 25 juin 1980 modifié) - Catégorie et le ou les type(s) _____
  ☐ IGH (Arrêté du 30 décembre 2011 modifié) - Classe : _____
  ☐ Code du travail (Décrets n°92-332 et 92-333)
  ☐ Hauteur plancher bas : _____
  ☐ Bureaux ☐ Industrie ☐ Logistique ☐ Autre (préciser) : _____

- Exposition extérieure (utilisation en extérieur)
  ☐ Rurale non polluée ☐ Urbaine normale ☐ Urbaine sévère ☐ Mixte
  ☐ Marine : ☐ < 3km ☐ de 3 à 10 km ☐ de 10 à 20 km
  ☐ Particulière(préciser) : _____
  ☐ Sans objet

- Exposition intérieure (utilisation en intérieur)

  - Ambiance agressive : ☐ Non ☐ Oui
    Préciser (éventuelles expositions à des produits chimiques, à des environnements acides, des pollutions, …) : _____

  - Exposition à l'humidité :

    ☐ Non ☐ Oui
  - Sollicitations mécaniques : ☐ Non ☐ Oui
    Préciser (ex : Charges permanentes, d'exploitation, charges ponctuelles,) : _____

  ☐ Autres sollicitations notables :

PRÉCAUTIONS PARTICULIÈRES POUR LA DÉPOSE ET LE STOCKAGE

Complexité de la dépose : ☆☆☆☆☆

- Dépose permet-elle de conserver l'intégrité des fermettes (systèmes triangulés)
  ☐ Non ☐ Oui ☐ Sans objet

- Dépose permet-elle de conserver l'intégrité des éléments (pièces de bois)
  ☐ Non ☐ Oui ☐ Sans objet

- Dépose manuelle : ☐ Non ☐ Oui

- Outillage léger nécessaire : ☐ Non ☐ Oui _____

- Outillage lourd nécessaire : ☐ Non ☐ Oui _____

- Encombrement particulier : ☐ Non ☐ Oui

- Poids important : ☐ Non ☐ Oui (manutention manuelle impossible)

- Tri nécessaire avant entreposage : ☐ Non ☐ Oui
  Si oui : ☐ Sur site ☐ Lieu intermédiaire ☐ Lieu spécialisé

- Spécificités du stockage/transport :
  ☐ A plat ☐ en % HR adapté
  ☐ sur palette ☐ en Grand Réservoir Vrac ☐ empilable

- Doit être protégé :
  ☐ Normalement pour le transport
  ☐ A l'abri des températures excessives
  ☐ A l'abri de l'humidité (% HR)
  ☐ A l'abri de la lumière

FONDATION
BÂTIMENT
ENERGIE

ÉCONOMIE CIRCULAIRE
DES BÂTIMENTS

Annexe G

Précautions à respecter de la dépose à la remise en œuvre

PRÉCAUTIONS A RESPECTER DE LA DÉPOSE A LA REMISE EN ŒUVRE

Procédure de réemploi d'une charpente industrialisée bois

1) Recherche d'informations sur l'ossature du bâtiment visé (DOE, plan de la structure, diagnostics obligatoires avant déconstruction de tout bâtiment → diagnostics sanitaires plomb, amiante …)

2) Opération de désamiantage du bâtiment, le cas échéant (ou élimination de toute autre substance dangereuse exigée par une réglementation en vigueur au moment du démontage)

3) Élaboration d'un programme de dépose :

a. Etablissement d'un plan de la structure, si celui-ci n'est pas disponible dans les documents collectés
b. Élaboration d'un système d'identification pour la traçabilité de chaque élément (code d'identification et système de marquage physique)
c. Repérage sur le plan de la structure et identification de chaque élément (réalisation d'une nomenclature)
d. Élaboration d'un plan d'échantillonnage des éléments, le cas échéant
e. Élaboration d'une procédure de démontage intégrant les besoins matériels et humains
f. Définition des scénarios de réemploi / fin de vie, et des éventuels traitements à envisager avant stockage
g. Esquisse de planification du chantier de dépose, de la logistique associée et du planning avant stockage

4) DIAGNOSTIC sur site de dépose des éléments d'ossature du bâtiment (constats visuels, relevés in situ, renseignement des fiches de réemploi pour chaque élément d'ossature et assignation du scénario de réemploi / fin de vie), et correction/validation du programme de dépose prévu

5) Marquage physique du code d'identification sur chacun des éléments d'ossature

6) Démontage des fermettes

7) Tri organisé des éléments déposés selon les scénarios et la logistique définis dans le programme de dépose

8) Le cas échéant, prélèvement d'échantillons en vue de la caractérisation du bois par des essais en laboratoire

9) Transport vers les filières concernées (stockage pour réemploi, stockage pour traitement, recyclage, laboratoire …)

Dans le cas de l'élimination d'éléments bois, celle-ci est réalisée avant dépose / avant transport / avant stockage / ou avant remise en production, selon leurs natures chimiques des produits de préservation ou de traitement et selon la réglementation en vigueur au moment du traitement d'élimination.

Tout élément identifié avant démontage doit conserver son identification jusqu'à réaffectation d'une nouvelle identification liée à son réemploi. La continuité de la traçabilité doit être assurée par le process de réemploi.

Lorsque le produit déposé est sélectionné pour être réemployé dans une nouvelle structure, il réintègre le processus classique de production d'une ossature en acier. Le produit est alors traité en vue de son emploi futur : décapage, redimensionnement géométrique du produit, usinage (platine, renfort, perçage …), application d'un revêtement de protection anticorrosion …
Une fois le produit préparé, il est éventuellement associé à d'autres éléments en acier en vue de son intégration future dans la nouvelle structure. Il est ensuite transporté jusqu'au chantier de construction, puis installé dans l'ouvrage pour former l'ossature de celui-ci.

Emploi futur des charpentes industrialisées

Le dimensionnement des charpentes industrialisées doit respecter les règles de conception, de mise en œuvre et de calcul prévues par le DTU 31.3.

G1

Dépose

L'optimisation du gisement de la ressource est conditionnée à l'établissement d'un **programme de dépose** qui traite toutes les opérations depuis la préparation à la dépose des éléments jusqu'à leur stockage sur un site approprié et en vue de leur réemploi. Les étapes ci-après sont une proposition générale mais chaque chantier de déconstruction d'une charpente industrialisée peut nécessiter des phases particulières spécifiques au chantier concerné. Les étapes proposées ci-après sont cependant requises pour la réalisation d'un programme de dépose en vue d'assurer le réemploi de la ressource récupérée. Ces étapes sont récapitulées dans la procédure de réemploi d'une fermette industrialisée, en Annexe F

PLAN DE DE LA STRUCTURE

Avant de procéder à la dépose des éléments de la structure, il convient d'établir un plan de la structure si celui-ci n'est pas disponible dans les documents présents. Plusieurs méthodes sont possibles, allant du simple relevé en plans et en élévations, jusqu'aux méthodes modernes de numérisation BIM par scanners 3D.
Les plans doivent être contrôlés (documents d'origine ou relevés in situ) et repérés (files, étages, etc.).

RÈGLES DE NOMMAGE ET IDENTIFICATION

Sur les plans établis précédemment, il convient d'identifier chaque élément unitaire de structure par un code unique. Il s'agit en effet d'être capable de modifier un éventuel échantillonnage. Le code peut être le résultat de l'incrémentation de la liste de nomenclature ou le résultat alphanumérique de repérage dans l'espace (par exemple, le code *"F-4/5 ; 3"* pourrait correspondre à l'élément horizontal situé sur la file F, entre les files 4 et 5, et sur le plancher haut du 3eme niveau), voire les deux systèmes par sécurité.
Un glossaire doit également être précisé afin d'éviter toute interprétation susceptible d'altérer la compréhension de la nomenclature.
La nomenclature sera ensuite déclinée en fiches descriptives, une par élément récupéré (Cf. Annexe G). Les fiches descriptives sont établies sous un format numérique, idéalement construites avec les propriétés BIM disponibles dans un dictionnaire conforme à la norme ISO EN 23386.

PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE ET CARACTÉRISATION DU BOIS, LE CAS ÉCHÉANT

Si la désignation symbolique du bois n'est pas connue (DOE indisponible par exemple), il sera alors nécessaire de mettre en place un plan d'échantillonnage des éléments d'ossature, en vue de la caractérisation des propriétés physico-chimiques des aciers. La norme "NF EN 16085 - Méthodologie d'échantillonnage des matériaux" fournit des premiers éléments pour la mise en place d'un tel plan.

Selon les particularités du chantier, le niveau de connaissance de l'historique du site, la taille du bâtiment, les disparités rencontrées, l'expérience du diagnostiqueur … le nombre d'échantillons à prélever sur l'ossature d'un bâtiment pourra varier et sera à adapter à chaque cas rencontré.
En première approche, la méthode d'échantillonnage retenue peut être la suivante : sélectionner 5% (en nombre) de fermette dans l'ensemble de la construction.
A minima, il faudrait sélectionner 3 éléments d'ossature par fonction d'ouvrage définie, en privilégiant leurs éloignements respectifs dans l'ouvrage, et prélever 3 échantillons sur chacun de ces éléments sélectionnés.

Les prélèvements d'échantillons seront à réaliser soit pendant le démontage sur site, soit au moment du stockage. Les emplacements des prélèvements sont définis dans les normes produits.

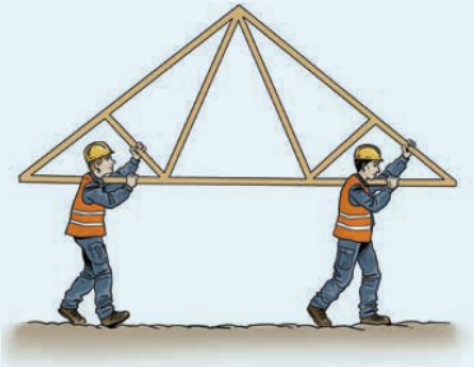
G2

Procédure de démontage

Un chantier de déconstruction de charpente Bois peut s'envisager comme l'opération inverse du montage de la structure. Cette procédure sera donc établie par un professionnel du montage, afin de garantir à la fois :

- La sécurité des personnels,
- La prévision des outils de levage et de manutention,
- La stabilité des ouvrages pendant le démontage,
- Le désaccouplement organisé des assemblages,
- La manipulation soignée des éléments,
- La mise en stock provisoire adaptée pour le chargement de la ressource (regroupement des éléments par destination).

Des précautions sont à prendre pour le démontage afin de conserver l'intégrité des éléments de fermette. La vérification réalisée avant dépose permet la manutention en position verticale ainsi que la manutention par levage ou manutention par engin.



CONTRÔLE ET MARQUAGE DE CHAQUE ÉLÉMENT

Une fois les plans et la nomenclature établis, le technicien en charge de la récupération de la ressource procède à deux opérations simultanées sur site :

- Le contrôle visuel des éléments et renseignements complémentaires de sa fiche descriptive, et notamment les relevés géométriques (dimensions, déformations, etc.), et la future destination de la ressource (recyclage, lieu de traitement de décontamination, stock direct de réemploi, client déjà identifié, etc.),
- Le marquage physique de l'élément doit faire apparaître a minima 2 indications : en prenant soin de dupliquer ce marquage aux deux extrémités, ou plus généralement à 2 endroits susceptibles d'être plus protégés. Le nombre de marques est à l'initiative du technicien. Le marquage peut être réalisé de plusieurs façons selon les enjeux et les traitements ultérieurs envisagés (feutre à alcool, étiquette collée, jet d'encre, puce RFID, etc.).

Ces deux opérations visent à faciliter les opérations de stockage après dépose et avant évacuation du chantier, et à jumeler la fiche descriptive avec l'élément physique.

DÉMONTAGE ET TRI DES ÉLÉMENTS DÉPOSÉS

Lors de la dépose, les éléments d'ossature devront être séparés de manière à faire des groupes homogènes au regard :

- Des dégradations constatées (ex : déformations géométriques) ou suspectées (ex: élément soumis au phénomène de fatigue),
  → *Ces critères sont rédhibitoires. Les éléments concernés sont alors envoyés dans la filière de recyclage.*
- De leurs destinations (scénarios de fin de vie établis dans le programme de dépose) et de la logistique associée.

Dans le cas où un plan d'échantillonnage est prévu, en vue de la caractérisation des éléments déposés (cf. paragraphe 3.1.3), il y a lieu de réaliser ce tri sur le site de déconstruction afin de respecter les zones de prélèvement le cas échéant.

G3

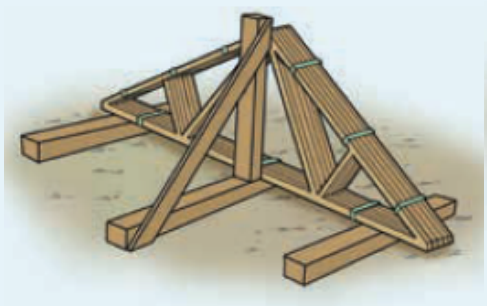
Transport / Lieu du stockage

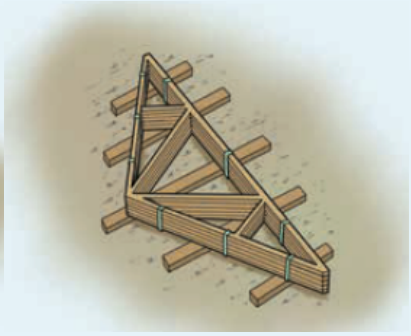
Les éléments déposés sont transportés vers les filières ou sites sélectionnés dans le programme de dépose : stockage pour réemploi, stockage pour traitement, recyclage … Les éventuels échantillons sont envoyés à un laboratoire pour analyse et caractérisation.

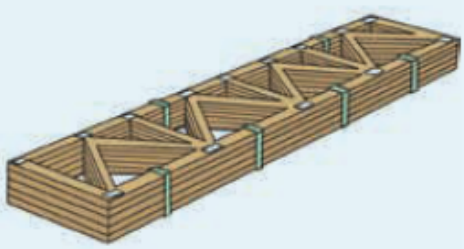
Le déchargement et la manutention doivent s'effectuer sans entrainer de :
- Rupture
- Déformation permanente pouvant nuire aux caractéristiques de bon fonctionnement des charpentes industrialisées
- Dégradation risquant d'affecter la géométrie et l'esthétique

La meilleure solution est de stocker les fermes en position quasi verticale, en les appuyant contre un mur ou un chevalet. À défaut, les stocker horizontalement sur une surface plane. Il faut alors les poser sur des chevrons ou des bastaings distants de trois mètres au maximum.

Pour un stockage de plus de quinze jours, il est nécessaire de protéger les fermes de la pluie, sans gêner leur ventilation.







Le stockage des charpentes industrielles ne doit pas entrainer une hausse de l'humidité des bois non conforme avec les préconisations du fabricant et les règles de l'art.

Toute dégradation provoquée par le démontage, le transport ou le stockage entraînera la mise au rebut des éléments concernés.

G4

Préparation de la ressource

Il est à noter que la phase de préparation de la ressource doit suivre toutes les exigences réglementaires et normatives applicables à une charpente industrielle, au même titre qu'un élément neuf auquel elle se substitue. Le texte référentiel mise en œuvre d'une charpente industrialisée est : CCT du NF DTU 31.3.

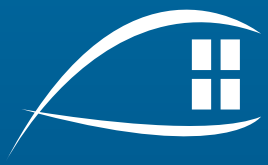
Les charpentes industrielles doivent être contrôlés suivant la norme NF EN 14250.
La norme harmonisée NF EN 14250 des charpentes industrielles a pour but de s'assurer qu'un contrôle des produits a été réalisé avant la mise sur le marché. Pour cela, de nombreux tests ont été mis au point et doivent être réalisés à tout moment d'une nouvelle création des charpentes en réemploi.

- Caractéristiques essentielles des pièces de bois
  les bois massifs structuraux doivent présenter les caractéristiques essentielles ci-après :
  - essence de bois
  - dimension (section de la pièce)
  - classe de résistance
  - réaction au feu
  - classe de durabilité naturelle selon les agents de dégradation du bois : champignons, insectes, termites et agents marins (cf EN 350).

Si le bois massif a reçu un traitement de préservation, il est obligatoire de noter les informations suivantes :

- Nom du produit de préservation utilisé
- Classe de pénétration
- Valeur de rétention
- Agents biologiques cibles

L'analyse de la rentabilité du réemploi ne fait pas partie du périmètre de ce document. Cependant, une analyse a minima sommaire des impacts économiques associés à un réemploi (surcoûts de dépose, coût de requalification, valeur estimée à la revente ...) au moment de la phase de diagnostic est un point clé pour engager la chaine d'acteurs dans un processus de dépose sélective en vue d'un réemploi.



FONDATION
BÂTIMENT
ENERGIE