



NOTE

DE PRECONISATION POUR LA SECURITE EN CAS D'INCENDIE
**BATIMENTS EN BOIS DE MOYENNE
ET GRANDE HAUTEUR (> 28 M)**

AVERTISSEMENT

Cette publication vise à mettre à disposition des acteurs de la construction les résultats d'études menées dans le cadre des travaux de la Commission Technique d'ADIVbois.

ADIVbois ne saurait être tenu pour responsable des omissions, inexactitudes ou erreurs que pourrait contenir cette publication et qui résulteraient de la retranscription de ces études, réalisées sous la responsabilité de leurs auteurs respectifs, et auxquelles le lecteur est invité à se référer directement.

ADIVbois souligne également que les éléments et recommandations retranscrites dans le présent ouvrage présentent un caractère informatif et ne sauraient en aucun cas se substituer, même pour partie, aux études techniques et juridiques, tant au stade de la conception que de l'exécution, qui incombent à chaque acteur de la construction dans le cadre des projets auxquels il pourra être amené à participer.

Droits d'auteur - copyright ©

L'ensemble de ce document relève de la législation française et internationale sur le droit d'auteur et la propriété intellectuelle. Tous les droits de reproduction sont réservés, y compris pour les documents téléchargeables et les représentations iconographiques et photographiques.

La reproduction de tout ou partie de ce document, y compris sur un support électronique quel qu'il soit est formellement interdite sauf autorisation expresse d'ADIVbois, du Codifab et des réalisateurs de l'étude.

PRÉAMBULE

Depuis 2016, l'Association pour le Développement des Immeubles à Vivre Bois porte un projet innovant reposant sur des immeubles bois de moyenne et grande hauteur, qui se distinguent par des solutions structurelles bois et des aménagements intérieurs faisant appel au bois.

Ce projet innovant va de pair avec un important travail collectif (études, benchmark, prototypages) visant à accompagner la réalisation d'immeubles démonstrateurs.

La Commission Technique d'ADIVbois a lancé, depuis 2016, un nombre conséquent de travaux dans le cadre d'ateliers thématiques (structure, incendie, acoustique, enveloppe, environnement...) et d'études afin d'accompagner la conception et la réalisation des Immeubles à Vivre Bois. L'objectif de ces travaux est de favoriser la levée de freins technico-réglementaires et d'être partagés avec la collectivité.

Le présent document s'inscrit dans cette démarche.

Cette note a été élaborée avec les participants suivants de l'Atelier Incendie d'ADIVbois :

Agence Qualité Construction, AIA Ingénierie, APAVE, APETIT, ARTELIA, BATISERF, BET3B, BIM B, BSPP, BTP CONSULTANTS, Bureau Veritas, C&E INGENIERIE, CHARPENTE CONCEPT, COGECI, CSTB, ECO-MOBILIER, Efectis, EGIS, Eiffage, ELIOTH, FCBA, FNSPF, GA, GRAAM ARCHITECTURE, Groupe BETOM, Groupe CSD, IBC, ICADE, INGENECO TECHNOLOGIES, ITECH, JK-Expertise Incendie, L'ATELIER SENZU, LCPP, LOCI ANIMA, LWI, MATHIS, Perrin-Bois-Conseils, Pole Excellence Bois, PP - ARCHITECTE DE SECURITE, QUALICONSULT, RUNGIS EXPERT, SAINT GOBAIN (GLASSOLUTIONS), SDIS33, Socotec, SYLVA CONSEIL, TAYLUX, TERRELL, TESS, TPI SETEC, WOODENHA, YWOOD GESTION C/O NEXITY.

NOTE DE PRECONISATION POUR LA SECURITE EN CAS D'INCENDIE BATIMENTS DE MOYENNE ET GRANDE HAUTEUR (> 28 M)

SOMMAIRE

1. GENERALITES.....	6
2. RESPECT DES EXIGENCES EN SECURITE INCENDIE CONCERNANT LES MATERIAUX ET ELEMENTS DE CONSTRUCTION EN BOIS.....	7
3. RECOMMANDATIONS POUR LES BATIMENTS DE LA 4 ^{EME} FAMILLE.....	10
4. DEMARCHE A SUIVRE POUR LES IGH.....	14
ANNEXE 1 – RAPPEL DES ARRÊTES EN MATIERE DE JUSTIFICATION DES PERFORMANCES	15
ANNEXE 2 : EXEMPLE DE PROTECTION SELON TEMPERATURE LIMITE ET DUREE D'EXIGENCE	17
ANNEXE 3 : GUIDE POUR L'APPLICATION DE L'INGÉNIERIE DE SÉCURITÉ INCENDIE A DES BÂTIMENTS EN BOIS	18
1. Introduction	18
2. Approche performantielle : méthode d'ingénierie de sécurité incendie	19
3. Ingénierie de sécurité incendie appliquée à des immeubles en construction bois.....	21
3.1. Contexte.....	21
3.2. Approche générale	21
3.3. Description de la méthode de calcul	22
3.4. Détails des phases de calcul:	23
3.5. Points d'attention	25
4. Conclusion	26
5. Documents de référence	26

AVANT PROPOS

Cette note, relative aux immeubles en bois multi-niveaux à usage d'habitation, de hauteur de plancher supérieur comprise entre 8 à 28 m, donne des préconisations afin d'apporter à ces bâtiments en construction bois un niveau de sécurité approprié en cas d'incendie compte tenu des connaissances disponibles en 2019.

Elle est susceptible d'évolutions en fonction des connaissances complémentaires qui pourront être acquises dans le futur et des travaux en cours au sein de l'atelier incendie d'ADIVbois.

Les notes ADIVbois existantes sur la sécurité incendie sont basées sur les connaissances disponibles au moment de leur rédaction (en 2019). Elles peuvent évoluer en fonction des connaissances techniques et scientifiques qui seront collectées au fur et à mesure des travaux et essais (français et étrangers), entrepris, en cours ou à venir dans les prochains mois.

Depuis 2019, en parallèle aux travaux de l'atelier incendie ADIVbois qui se poursuivent, deux groupes de travail ont été lancés.

L'un, sous l'égide du Comité Stratégique de Filière Bois, travaille sur les mesures préconisées pour les bâtiments de 2ème famille dont le plancher haut est supérieur à 8 m, compte tenu de la surépaisseur des planchers bois. L'autre, sous l'égide de la DHUP-DGALN/DGSCGC a pour objectif de faire évoluer le cadre réglementaire général concernant les immeubles.

Ces notes visent à informer les concepteurs et les constructeurs mais n'ont pas de portée réglementaire.

1. GENERALITES

La sécurité incendie des bâtiments et ouvrages est, principalement, traitée en France par des réglementations descriptives en ce qui concerne leur conception, les matériaux et produits de construction utilisés, la réduction des risques de départ d'incendie, l'évacuation des occupants et l'intervention des services de secours.

Pour des conceptions de constructions innovantes, telles que peuvent l'être des bâtiments en construction bois de moyenne et grande hauteur, il n'existe pas de retours d'expérience ; de sorte que les exigences réglementaires descriptives actuelles peuvent nécessiter quelques aménagements ou préconisations complémentaires.

Afin d'assurer, pour ce type d'immeubles en structures bois, un niveau de sécurité incendie approprié, tant pour les occupants que pour les services de secours, en l'absence d'analyse de risques sur le projet particulier, des recommandations, en ce qui concerne principalement les dispositions constructives, sont présentées dans les chapitres suivants.

En application de la réglementation en sécurité incendie, les **bâtiments en bois de moyenne et grande hauteur** se répartissent en deux groupes :

- les habitations collectives de hauteur du plancher bas du dernier niveau compris entre 28 m et 50 m, pour lesquels des mesures complémentaires aux exigences descriptives sont recommandées afin de réduire certains risques de propagation du feu,
- les immeubles de grande hauteur (IGH, au sens du CCH), pour lesquels le recours à une approche d'ingénierie de la sécurité incendie est nécessaire.

2. RESPECT DES EXIGENCES EN SECURITE INCENDIE CONCERNANT LES MATERIAUX ET ELEMENTS DE CONSTRUCTION EN BOIS

Les bâtiments d'habitation sont soumis, en matière de sécurité incendie, aux exigences de l'arrêté du 31/1/1986 modifié, le dernier¹ arrêté modificatif datant du 7/8/2019. Cette réglementation descriptive module les exigences, notamment en fonction des risques estimés selon la hauteur du dernier plancher et les conditions d'accessibilité des services de secours.

En ce qui concerne ces exigences descriptives formulées par cet arrêté modifié, quelques dispositions peuvent restreindre l'usage des éléments en bois pour la conception des bâtiments de la 4^{ème} famille, ce sont :

- Les systèmes de façade doivent être conformes à l'une des deux solutions suivantes (article 13, modifié par arrêté du 7/8/2019) :
 - o Solution 1: Les systèmes de façade sont classés au moins A2-s3, d0 pour chacun de ses éléments constitutifs et ne présentent pas de lame d'air. Lorsque le système de façade comprend des vides constructifs, le recouplement est assuré notamment par la mise en place de matériaux intumescents, de bavettes ou de bande de recouplement incombustibles. Une appréciation de laboratoires permet de vérifier les solutions efficaces de recouplement selon le système de façade ventilé. Ces appréciations peuvent également apporter la preuve de performance des solutions sans recouplement des lames d'air.
 - o Solution 2: Les systèmes de façade sont classés au moins A2-s3, d0, néanmoins, un sous-ensemble du système peut ne pas être classé au moins A2-s3, d0, à condition qu'il soit protégé par un écran thermique, de telle sorte qu'il n'y a pas d'effet aggravants vis-vis de la performance d'un système de façade classé au moins A2-s3, d0. L'écran thermique a une performance de résistance au feu EI30 et l'efficacité du système de façade est démontrée par une appréciation de laboratoire

L'annexe 3 relative à cet article 13 mentionne : "Une appréciation de laboratoire permet de vérifier le respect des objectifs de l'article R. 122-32 du code de la construction et de l'habitation. Cette appréciation est délivrée par un laboratoire, ou un groupe de laboratoires, agréé en réaction au feu et en résistance au feu par le ministre de l'Intérieur. Elle peut également prendre la forme d'un avis de façade lorsqu'elle concerne une construction particulière ou la forme d'un guide de préconisations lorsqu'elle est demandée par une organisation professionnelle ou par plusieurs entités. Cette appréciation de laboratoire est fondée sur l'une ou plusieurs des approches suivantes:

- A. – Analyse de résultats d'essais, notamment l'essai LEPIR II;
- B. – Exploitation des connaissances acquises lors des incendies;
- C. – Utilisation des résultats de calculs;
- D. – Procédure mixte faisant appel à des résultats expérimentaux et numériques.

L'utilisation de résultats d'essais dans le cadre d'une appréciation de laboratoire agréé ne peut se faire qu'avec l'accord du demandeur de ces essais. Toute appréciation de laboratoire agréé donne lieu à un argumentaire dont la traçabilité est assurée. Cette appréciation de laboratoire comporte une description du système de façade et de sa mise en œuvre"

- Les marches volées et paliers d'escalier doivent être construits en matériaux incombustibles (art 22),
- Les revêtements des parois verticales, du rampant et des plafonds des cages d'escalier dans les habitations collectives, dont le plancher bas du logement le plus haut est à plus de 8 m

¹ En fin d'année 2019

- de hauteur, doivent être classés M0. Les revêtements éventuels des marches et contremarches doivent être classés en catégorie M3 (art 23),
- Les revêtements des parois des circulations horizontales doivent être classés en catégorie (art. 32) :
 - o M1 s'ils sont collés ou tendus en plafond,
 - o M2 s'ils sont collés ou tendus sur les parois verticales,
 - o M3 s'ils sont collés ou tendus sur le sol.
 - Les conduits d'amenée d'air et d'évacuation pour le désenfumage doivent être construits en matériaux M0 (art 34).
 - Pour les parcs de stationnement couverts de plus de 100 m² pouvant se trouver dans un bâtiment d'habitation, en superstructure ou en infrastructure ou sous un immeuble bâti : " Les éléments de construction et leurs revêtements éventuels doivent être classés en catégorie M0 du point de vue de leur réaction au feu" excepté pour les revêtements des sols qui peuvent être classés en catégorie M3 (art. 80).

Toutes les constructions bois doivent répondre aux exigences réglementaires exprimées dans les arrêtés relatifs aux bâtiments concernés, sauf demande de dérogation, dûment justifiée.

Pour les IGH, la limitation relative à la charge calorifique immobilière (art GH 16 de l'arrêté du 30/12/2011) et l'imposition de l'utilisation de matériaux classés A2-s1, d0 pour les cages d'ascenseurs (art GH17), les plafonds (art GH 21), les parois support de revêtements de sol et de parois latérales (art GH 22), ne permettent pas le recours à la construction bois, sans qu'il soit justifié par une démarche d'ingénierie de la sécurité incendie.

L'annexe 1 rappelle les différents arrêtés et normes relatifs à la réaction au feu, la résistance au feu, au comportement des façades.

Les produits de construction en bois "naturel" ont une performance en réaction au feu qui varie selon les différents paramètres : épaisseur, masse volumique et système constructif (pouvant inclure une lame d'air). En respectant l'ensemble des conditions de la NF EN 14915, une **classe de réaction au feu** a minima D-s2,d0, sur support non combustible, est atteinte.

La décision Européenne du 15 mai 2007 donne une Classification des caractéristiques de réaction au feu pour les panneaux à base de bois. Ces classements de réaction au feu sont dits « conventionnels ». Les classements conventionnels des lambris, bardages et panneaux, à la date du présent document¹, sont indiqués dans les décisions européennes n° 2007/348/CE du 15 mai 2007 et n° 2006/213CE du 6 mars 2006. Attention, ces classements conventionnels ont été réalisés dans des conditions spécifiques et en particulier sur des supports incombustibles. (voir par exemple une note de tableau de la norme NF EN 14915).

Pour toutes les autres configurations de produits, d'épaisseur, de densité, de montage et d'amélioration conférés de la réaction au feu, il est nécessaire de présenter un rapport de classement issu d'essais de réaction au feu, qu'il soit spécifique à un produit donné ou générique, notamment pour les configurations d'éléments bois rapportés en clairevoie.

Pour améliorer la réaction au feu du bois il est possible d'utiliser un produit d'ignifugation conforme à la norme NF EN 16755, pour une durée de vie non limitée.

Des informations détaillées sur les performances de réaction au feu du bois sont disponibles dans les publications Synerbois diffusées par le FCBA et le CSTB.

La justification de la **durée de résistance sous incendie normalisé** (ISO 834-1) des éléments structuraux peut être effectuée par essais ou par utilisation de la norme NF-EN 1995-1.2 et son annexe nationale (Eurocode Structural 5 "Conception et calcul des structures en bois" – partie 1.2 "Généralités – Calcul des structures au feu" (indice de classement P21-712-1). Cette norme ne comporte toutefois pas, dans sa version actuelle¹, les méthodes de calcul nécessaires pour certains types d'éléments. Ainsi pour le **CLT**, aucune information n'est donnée dans la version actuelle de cette partie d'Eurocode ; il est donc nécessaire d'obtenir une appréciation de laboratoire agréé (selon l'article 18 de l'arrêté du 22/3/2004 modifié) pour justifier de la résistance au feu des éléments en CLT.

Pour les **assemblages** devant présenter des durées de résistance au feu supérieures à R60, leur justification ne peut être faite que par essais de résistance au feu ou avis de chantier d'un laboratoire agréé en résistance au feu selon l'arrêté du 5/2/1959. Il pourrait être nécessaire d'utiliser une protection thermique de manière telle que l'absence de combustion de la zone d'assemblage soit assurée pendant toute la période de résistance au feu requise. Une étude est en cours au sein de l'Atelier Incendie, elle devrait conduire à des préconisations, mi 2020.

Des informations justificatives sur la résistance au feu de certains éléments de compartimentage en bois (parois verticales et planchers) sont disponibles dans le rapport Synerbois sur "Etude du comportement au feu de parois et planchers constitués de structures bois" et dans l'annexe nationale de l'Eurocode 5 partie 1.2, comprenant des tableaux de résultats ainsi qu'une variante permettant d'optimiser par le calcul la conception des parois.

En application de l'arrêté du 30/11/2011 pour les IGH et de l'arrêté du 31/1/1986 modifié pour les habitations un visa de façade est nécessaire pour chaque IGH et, pour les bâtiments de la 4^{ème} famille, une appréciation de laboratoire agréé en réaction et résistance au feu est nécessaire lorsque la solution 1 de l'article 13, modifié par arrêté du 7/8/2019, n'est pas strictement respectée.

3. RECOMMANDATIONS POUR LES BATIMENTS DE LA 4^{ÈME} FAMILLE

Pour les habitations de la **4^{ème} famille**, compte tenu que leur hauteur (28 – 50 m) empêche l'accès des secours aux façade des étages supérieurs au moyen des échelles aériennes, il est primordial que les sapeurs-pompiers puissent pénétrer dans le bâtiment, en toute sécurité.

Bien que la réglementation descriptive permette d'utiliser des éléments de constructions en bois apparent dans la plupart des locaux (voir restrictions mentionnées au § 2), compte tenu d'une part des stratégies de sécurité incendie actuelles qui peuvent conduire à ce que certains occupants restent dans leur logement et d'autre part de la nécessité pour les services de secours de pénétrer dans le bâtiment, il est nécessaire de prendre toutes les mesures possibles pour éviter une propagation rapide de l'incendie, et donc de limiter la contribution du bois structural² au développement de l'incendie.

Les mesures générales qu'il est conseillé de prendre, pour la conception et la construction de bâtiments en bois sont, principalement, présentées ci-après.

Il est impératif de mettre en œuvre **les conditions permettant de "sanctuariser" les voies verticales** servant à l'évacuation des occupants et à l'intervention des services de secours. Il est donc nécessaire de respecter l'objectif de non contribution des matériaux de la cage d'escalier à la propagation du feu. Il est considéré que cet objectif est atteint pour les conditions suivantes :

- Les parois de la cage d'escalier sont en bois massif (CLT, LVL...),
- Une protection passive est rapportée sur chacune des deux faces de ces parois afin de limiter la température d'interface à une valeur seuil, jusqu'à la durée requise, sous incendie conventionnel, de stabilité au feu de l'ouvrage. Tout matériau de protection constituant un écran ou un revêtement, relevant du classement K (voir NF EN 14135 et NF EN 13501-2) ou de toute autre méthode d'essai jugée équivalente par un laboratoire agréé en résistance au feu, satisfaisant le critère seuil retenu pour la température d'interface et dont la performance est attestée par un procès-verbal de classement en résistance au feu pour la durée mentionnée ci-avant, peut être utilisé,
- Une valeur seuil, incluant une large marge de sécurité, de 140°C, pour la température maximale au niveau de l'interface entre protection et paroi en bois, est utilisée comme critère de dimensionnement de la protection,
- Dans le cas de protection par plaques de plâtre, la décision du CECMI de juin 2007 donne l'autorisation de l'emploi de plaques de plâtre de classe A1 dans les cages d'escalier auxquelles serait ajoutée une plaque de haute dureté côté intérieur afin d'assurer la non dégradation de la protection par des chocs mou ou dur (voir CPT-3750 pour le procédés de cloison distributive et de doublage de mur). La résistance au choc mou de la paroi doit être de 400 J (paroi non surplombante intérieure au bâtiment). La solution mise en œuvre doit par conséquent respecter ces exigences de résistance aux chocs.

Pour les **circulations horizontales communes et les gaines d'ascenseurs**, il est également nécessaire de mettre en place une protection incendie sur chacune des deux faces des parois verticales en bois et en sous-face des plafonds en bois des circulations horizontales, afin de limiter la température à 250°C entre protection et bois, pendant la durée de stabilité au feu de la structure porteuse requise par la réglementation. Ceci conduit à devoir utiliser des matériaux et systèmes de protection incendie disposant de procès-verbaux en résistance au feu selon les normes d'essais NF EN 13381-7 ou NF EN 14135 ou d'appréciation de laboratoires agréés (en annexe 2, quelques exemples de protection sont donnés en fonction de la durée de résistance au feu requise et de la température limite).

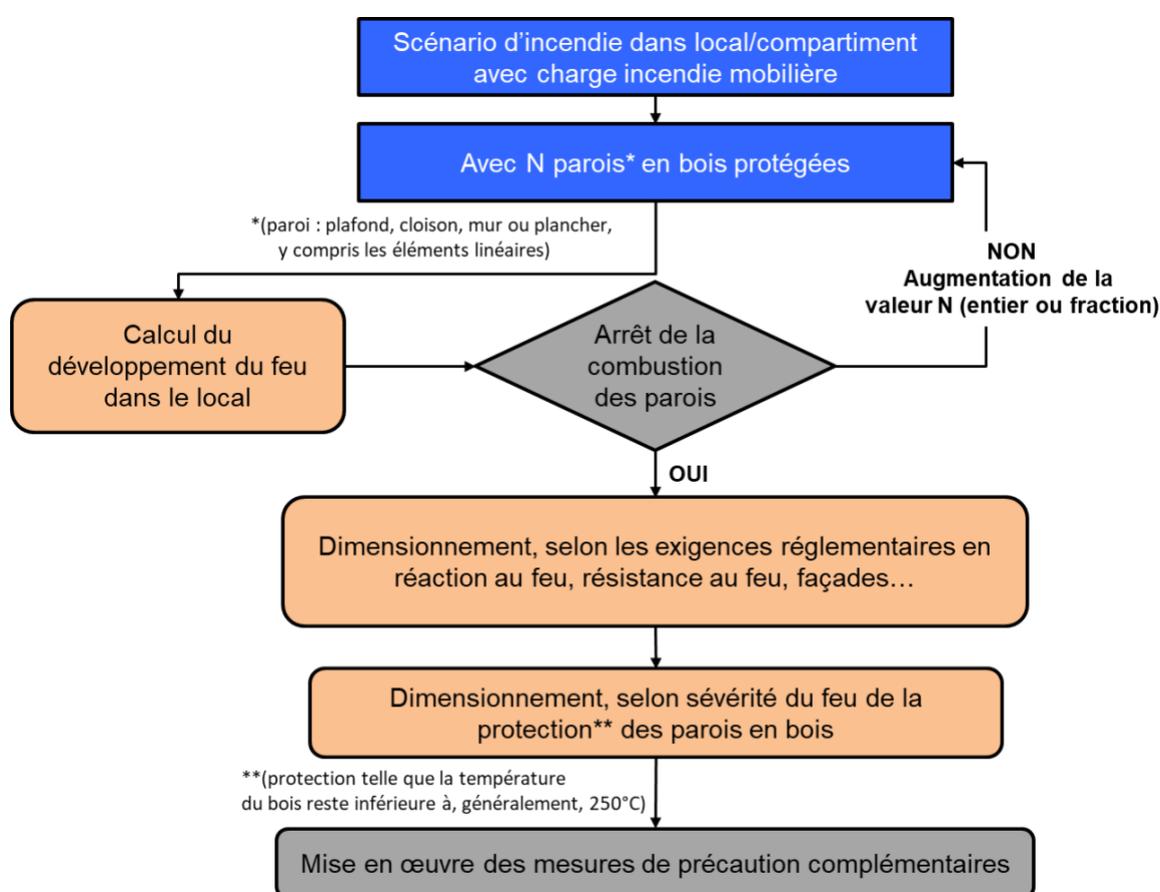
² Le terme "structural", qui concerne les éléments en bois participant à la stabilité de l'ouvrage ou au compartimentage, est utilisé par opposition à "habillage" qui ne concerne que de faibles épaisseurs de bois

Il est également fortement **recommandé que, dans les autres locaux, une protection passive généralisée du bois structural²** soit mise en place, afin que la température du bois structural ne dépasse pas 250°C pendant la durée de résistance au feu exigée

La vérification de la résistance au feu de ces parois et éléments en bois, pour justifier les exigences auxquelles ils sont soumis, peut prendre en compte les protections incendie mises en œuvre.

En outre il faut assurer la redondance des systèmes de protection, particulièrement pour les bâtiments renfermant de grande quantité de bois structural, tels que ceux utilisant des panneaux CLT tant pour les parois verticales que pour les planchers. Par exemple il est recommandé qu'un système d'extinction à eau soit installé et maintenu pendant la durée de vie du bâtiment.

A défaut d'une protection généralisée du bois structural dans les locaux hors voies de circulation verticale et horizontale, il est conseillé de recourir à **une analyse des conditions d'arrêt de combustion du bois** avec flammes vives sous actions thermiques issues de scénario de feux réels³, selon le logigramme suivant.



Cette vérification fait appel à un logiciel de simulations numériques permettant de réaliser la première étape d'une démarche d'ingénierie de la sécurité incendie (voir en annexe 3 le Guide pour l'application de l'ingénierie de sécurité incendie à des bâtiments en construction bois, élaboré par ADIVbois).

L'arrêt de combustion lente (sans flamme apparente) peut être obtenue par dégarnissage ; il est donc primordial que le guide sur la gestion des interfaces soit rigoureusement respecté afin que les zones susceptibles de présenter des combustions lentes résiduelles soient aisément accessibles.

Les mesures générales qu'il est conseillé de prendre, pour la conception et la construction de bâtiments en bois sont, principalement, présentées ci-après.

³ En comparaison de l'action thermique conventionnelle représentée par la norme ISO 834-1

Pour **les incorporations** (bloc de prises électriques, suspension, interrupteurs...) dans des écrans de protection incendie d'éléments en bois, il est nécessaire de démontrer qu'ils n'affaiblissent pas les propriétés thermiques de ces parois, par des résultats d'essai ou des avis de chantier délivrés par un laboratoire agréé en résistance au feu. L'AN de l'EC5 partie 1.2 dans sa publication de 2019 donne des préconisations de traitement de certaines incorporations pour maintenir la performance des éléments séparatifs, et le guide "interfaces" en cours d'élaboration au sein d'ADIVbois donnera des précisions complémentaires.

Pour les fermetures/rebouchages dans les parois qui doivent justifier de classes de résistance au feu, tels que des blocs-portes, volets, clapets, calfeutrement de pénétrations, il est nécessaire d'utiliser des éléments ou procédés de construction dont les performances en situation d'incendie sont justifiées pour des parois en bois (résultat d'essai ou avis de chantier).

En outre, le comportement global en situation d'incendie d'une construction, dont les constructions en bois, est conditionné par le soin apporté, tant au stade de la conception qu'à celui de sa mise en œuvre, **aux jonctions entre éléments constitutifs**. Le rapport " Fire safety in timber building" donne au § 8 de nombreux conseils à suivre en ce domaine. Un guide ("interfaces") en cours de préparation au sein d'ADIVbois donnera des conseils et procédures à suivre pour éviter les risques de propagation des gaz de combustion dans les zones cachées, non aisément accessibles aux services de secours. Ce guide préconisera également des solutions constructives afin de limiter les situations pouvant conduire à des feux couvant.

Après construction du bâtiment, des **mesures d'entretien et de maintenance** doivent également être prises pour s'assurer du respect de ces préconisations au cours de la durée de vie du bâtiment. Par ailleurs, la **particularité des habitations de la 4^{ème} famille**, dans le contexte réglementaire français, conduit à considérer que certaines dispositions complémentaires de sécurité incendie, par rapport aux exigences réglementaires de l'arrêté du 31/1/1986, devraient être mise en œuvre, quel que soit le matériau de construction utilisé, telles que :

- La couverture doit être de classe Broof (t3),
- Les éléments de structure, les murs, les planchers et les plafonds des parcs de stationnement, et aussi les éléments de structures des immeubles qui les surplombent, doivent être construits en matériaux incombustibles,
- Les escaliers et circulations horizontales doivent répondre aux exigences de l'article 43 de l'arrêté de 31 janvier 1986. Cette solution, intitulée « solution n°3 », implique d'une part que les escaliers soient à l'abri des fumées et puissent être mis en suppression, et d'autre part que les circulations horizontales soient à l'abri des fumées et désenfumées
- Les portes palières des appartements soient munies de ferme-portes, empêchant tout démontage,
- Des procédures d'information des locataires sur les mesures de prévention et la conduite à tenir en cas d'incendie, rappelées et mises à jour à chaque assemblée des copropriétaires et résidents, soient mises en place
- Le règlement de copropriété précise les contraintes d'exploitation particulières pour les locataires, intégrant un cahier des charges contraignant pour réaliser les travaux dans les espaces privatifs

Outre les préconisations précédentes, il est recommandé :

- Que le toit d'un bâtiment de construction massive en bois ou de construction hybride soit accessible par un escalier.
- Qu'en cas de présence, dans certains locaux, de bois apparent (non protégé contre l'incendie), pour des scénarios d'incendie représentatifs, il soit vérifié, sous la sévérité du feu résultant, l'efficacité des protections des éléments devant être protégés,

- Que les panneaux CLT, pouvant, dans l'état actuel des technologies de colle utilisées¹, présenter des risques de délamination en situation d'incendie, doivent être protégés⁴.

Par ailleurs, c'est **en phase de construction**, lorsque les mesures de protection ne sont pas encore mises en place, que le bâtiment est le plus vulnérable à l'incendie. Des mesures adaptées doivent donc être mises en œuvre dans cette phase de construction pour limiter le risque d'incendie (un guide devrait être élaboré prochainement par les acteurs concernés).

⁴ Le niveau de protection doit être tel que la température des éléments en bois ne dépasse pas 250 °C à l'issue de la durée de résistance au feu imposée réglementairement pour l'élément

4. DEMARCHE A SUIVRE POUR LES IGH

Outre l'application de l'arrêté du 22 mars 2004 sur l'ingénierie du comportement au feu, la Note d'information du Ministère de l'Intérieur sur les Immeubles de Grande Hauteur en bois (du 27 juillet 2017) précise, dans le cadre de l'alinéa 3 de l'article R122-11-1 du code de la construction et de l'habitation, les conditions dans lesquelles le recours à l'ingénierie de sécurité incendie peut être effectué afin de justifier du respect des objectifs de confinement du feu à l'étage où il a pris naissance et d'absence de ruine de l'édifice pour toute la durée de l'incendie, sans prise en compte des moyens de lutte contre l'incendie.

Un Guide pour l'application de l'ingénierie de sécurité incendie à des bâtiments en construction bois a été élaboré par ADIVbois afin de préciser les modalités d'application de cette démarche (voir annexe 3).

Par ailleurs, tous les commentaires exprimés dans le chapitre 3 de la présente note, relatifs aux interfaces, façades, fermetures/rebouchages, système d'extinction automatique à eau, sécurité en phase chantier ... sont également applicables aux IGH.

ANNEXE 1 – RAPPEL DES ARRÊTES EN MATIERE DE JUSTIFICATION DES PERFORMANCES

Pour ce qui concerne les matériaux et éléments de construction, deux notions doivent être prises en compte :

- La réaction au feu, qui caractérise la propension d'un matériau à participer au démarrage du feu, à propager les flammes, ainsi qu'à la production de fumée et de gouttelettes enflammées. Elle donne lieu, suite à des essais normalisés, aux classes (européennes) A1, A2, B, C, D et E, avec les indications s1 à s3 pour les fumées et d0 à d2 pour les gouttelettes, classes qui font suite aux classements (français) M0 à M4 encore en vigueur pour les éléments non intégrés à la construction. Attention le classement (européen) F indique que les matériaux sont moins bon que E. Lorsqu'aucune performance au feu n'a été déterminée, l'expression NPD (no performance determined) est utilisée.
- La résistance au feu, qui caractérise le comportement des éléments de structure et de compartimentage en situation d'incendie. Elle s'exprime en durée pendant laquelle l'élément de construction peut continuer à assurer la fonction qui lui est dévolue. Pour cette caractérisation, l'incendie de référence est la courbe température-temps normalisée (définie par les normes ISO 834-1 et EN 1363-1). Des exemples d'équivalences entre les degrés utilisés (précédemment) en France et les classes (européennes) sont données dans le tableau suivant.

Exigence	Equivalence	Fonctionnalité (sous incendie normalisé)
Stable au feu 1 heure (SF 1 h)	R 60	Capacité portante d'un élément structural assuré pendant au moins 60 min
Pare-flammes ½ heure (PF ½ h)	E 30	Étanchéité aux flammes et aux gaz chauds d'un élément séparatif assurée pendant au moins 30 min
Coupe-feu 1h30 (CF 1h30)	EI 90	Étanchéité aux flammes et aux gaz chauds et performance d'isolation thermique d'un élément séparatif assurés pendant au moins 90 min
Stabilité et Coupe-feu 1h30 (CF 1h30)	REI 90	Capacité portante, étanchéité aux flammes et aux gaz chauds et performance d'isolation thermique d'un élément séparatif porteur assurés pendant au moins 90 min

La justification des classes de performance, pour les matériaux et éléments de construction, fait référence, via deux arrêtés du ministère de l'intérieur (arrêté du 21 novembre 2002 modifié pour la réaction au feu et arrêté du 22 mars 2004 modifié pour la résistance au feu), à des normes d'essais ou de calcul (pour le comportement au feu des éléments structuraux – Eurocodes) développées au niveau européen.

La notion de réaction au feu concerne donc tout particulièrement les matériaux qui sont apparents, ou susceptibles d'être rapidement soumis à un flux thermique significatif dans un local lors d'un début d'incendie ; elle ne couvre pas la totalité du comportement au feu des matériaux de construction combustibles lorsqu'ils sont soumis à des feux pleinement développés. Ceci conduit à devoir prendre des dispositions complémentaires pour s'assurer que l'ensemble des risques en situation d'incendie a bien été pris en compte.

La notion de résistance au feu qui, elle, concerne des feux pleinement développés, ne prend en compte que la qualification des performances de stabilité structurale et de barrière à la circulation des gaz chauds et au transfert thermique afin de limiter les risques d'effondrement et propagation de l'incendie. Elle repose principalement sur la qualification des éléments de construction, poutres, poteaux, planchers, murs, éléments de second œuvre ... pris isolément du reste de la construction

et soumis à un incendie conventionnel dont la durée n'est fonction que d'une estimation du risque établie à partir de la hauteur du bâtiment et du nombre d'occupants.

Le cas des façades et des toitures, qui doivent limiter les risques de propagation du feu d'étage en étage par l'extérieur de la construction, ou par la jonction plancher-façade, ainsi que la propagation du feu entre bâtiments voisins via les façades, est traité de façon spécifique. Pour les façades, trois possibilités existent, soit réaliser un essai de type LEPIR II conforme à l'arrêté du 10 septembre 1970, soit appliquer l'IT 249, soit obtenir un avis de laboratoire délivré par un laboratoire agréé en réaction et résistance au feu.. Dans tous les cas les exigences réglementaires relatives aux façades et aux toitures doivent être appliquées.

ANNEXE 2 : EXEMPLE DE PROTECTION SELON TEMPERATURE LIMITE ET DUREE D'EXIGENCE

Exemple de protection en plaques de plâtre pouvant être utilisée pour assurer la protection d'une paroi en bois :

Pour température d'interface protection/bois de 250°C

- | | |
|--|------------------|
| ○ Durée de 30 min d'incendie conventionnel - | 2 BA13 ou 1 BA25 |
| ○ Durée de 60 min d'incendie conventionnel | 2 BA18 |
| ○ Durée de 90 min d'incendie conventionnel | 1 BA18 + 1 BA25 |
| ○ Durée de 120 min d'incendie conventionnel | 2 BA25 |

Pour température d'interface protection/bois de 140°C

- | | |
|--|------------------|
| ○ Durée de 30 min d'incendie conventionnel - | 2 BA13 ou 1 BA25 |
| ○ Durée de 60 min d'incendie conventionnel | 2 BA 18 |
| ○ Durée de 90 min d'incendie conventionnel | 1 BA18 + 1 BA25 |
| ○ Durée de 120 min d'incendie conventionnel | 2 BA25 + 1 BA 13 |

Pour que les protections préconisées ci-avant soient valables il faut que :

- **pour les parois** : toutes les couches de plaques de plâtre doivent être fixées au pas de 400 mm dans le sens horizontal, tandis que dans le sens vertical les plaques de plâtre de la première couche (et la deuxième si parement avec trois couches), en contact avec la structure bois, doivent être fixées au pas de 400 mm et celles de la dernière couche, en contact avec l'incendie, doivent être fixées tous les 200 mm.
- **pour les planchers** : toutes les couches de plaques de plâtre doivent être fixées au pas de 300 mm dans un sens, tandis que dans l'autre sens, les plaques de plâtre de la première couche (et la deuxième si écran horizontal avec trois couches), en contact avec la structure bois, doivent être fixées tous les 300 mm et la dernière couche, en contact avec l'incendie, tous les 150 mm.
- Toutes les vis doivent pénétrer d'au moins 15 mm dans le support en bois.
- Les plaques de plâtre d'une couche à l'autre doivent être placées en quinconce. Les joints d'une couche par rapport à l'autre doivent être décalés d'au moins 400 mm.
- Tous les joints et les cueillies sont traités à l'enduit à base de plâtre dans lequel est marouflée une bande à joints en papier micro perforé de largeur de 50 mm.
- Les joints de périphérie sont soigneusement calfeutrés sur l'épaisseur du parement à la colle au plâtre.

ANNEXE 3 : GUIDE POUR L'APPLICATION DE L'INGÉNIERIE DE SÉCURITÉ INCENDIE A DES BÂTIMENTS EN BOIS

1. Introduction

La construction bois est aujourd'hui en plein développement. Afin d'accompagner la construction de bâtiments bois de plus en plus haut, d'un point de vue de la sécurité incendie, il est nécessaire de prendre en compte la spécificité du bois en tant que matériau de construction combustible. Les principaux objectifs de sécurité sous-jacents aux réglementations françaises en matière d'incendie, sont :

- Éviter l'éclosion d'un incendie,
- Limiter la propagation du feu, à l'intérieur et à l'extérieur de la construction,
- Assurer la sécurité des occupants,
- Faciliter l'intervention des secours et assurer leur sécurité.

Pour l'atteinte de ces objectifs, deux approches sont généralement possibles. La première est de mettre en œuvre les exigences descriptives contenues dans les réglementations en vigueur, en matière de conception de l'ouvrage et de ses équipements, de performance au feu des matériaux et éléments de construction utilisés, de désenfumage, de condition d'évacuation des occupants et d'intervention des services de secours. La deuxième est de recourir à une approche d'évaluation des risques en faisant appel à l'ingénierie de la sécurité incendie (ISI) afin de montrer, pour une construction projetée, que le risque en situation d'incendie présente un niveau de sécurité acceptable et au moins équivalent à celui de constructions courantes conformes aux exigences descriptives.

Ce guide ne porte que sur la 2^{ème} approche. Dans le cadre de la réalisation d'une étude d'ingénierie incendie en résistance au feu, l'arrêté ministériel du 22 mars 2004 modifié [5] relatif à la résistance au feu des produits, éléments de construction et d'ouvrages, autorise l'évaluation du comportement au feu des structures en considérant des sollicitations thermiques établies à partir de l'examen de scénarios d'incendie réels. La procédure est alors la suivante :

- Les scénarios d'incendie de calcul doivent faire l'objet d'une validation par les autorités publiques compétentes (article 6),
- L'étude doit faire l'objet d'une appréciation par un laboratoire agréé par le Ministère de l'Intérieur sous la forme d'un avis sur étude (article 15),
- A l'issue de l'étude, un cahier des charges fixant les éventuelles conditions d'exploitation doit être fourni afin d'assurer que les paramètres liés aux scénarios d'incendie retenus seront respectés par l'exploitant (article 16).

Les ouvertures réglementaires pour une approche de sécurité fondée sur la démonstration de l'atteinte d'objectifs, et non pas sur la mise en œuvre de moyens constructifs, est donc possible et répond à la situation de certains immeubles en construction bois.

Toutefois, l'approche d'ingénierie de sécurité incendie pour des bâtiments en structure bois pour lesquels la structure peut contribuer graduellement à l'incendie doit être appliquée avec précaution. Pour ce faire, l'Atelier Incendie d'ADIVbois a confié aux laboratoires CSTB et Efectis France, une étude de faisabilité pour l'application des méthodologies et des outils employés en Ingénierie de Sécurité Incendie. Une analyse de risque portant sur le développement et la propagation du feu à l'échelle du bâtiment a ainsi été menée afin d'étudier, notamment, l'éventuelle contribution du bois dans le développement du feu dans le bâtiment et la stabilité de la structure soumise à une telle sollicitation thermique.

Le présent document présente une démarche d'application de la méthode ISI aux bâtiments construits en bois ; considérant que le recours à l'ingénierie de sécurité incendie doit se faire dans

le cadre des textes réglementaires en vigueur afin de justifier des demandes de dérogation aux exigences descriptives ou d'évaluer le niveau de sécurité d'un projet innovant. Toutefois, une maîtrise d'ouvrage ou une maîtrise d'œuvre pourra toujours faire appel à une approche ISI pour évaluer le niveau de performance de son ouvrage

2. Approche performantielle : méthode d'ingénierie de sécurité incendie

L'ingénierie de la sécurité est définie dans la norme ISO 13943 [9] comme l'application des méthodes d'ingénierie, fondées sur des principes scientifiques, au développement ou à l'évaluation de conceptions d'ouvrages, au moyen de l'analyse de scénarios d'incendie spécifiques ou bien par la quantification du risque pour un groupe de scénarios d'incendie.

Au terme de son déroulement, la méthode l'ISI permet d'apprécier de façon extrêmement efficace les risques et de les maîtriser. La contrepartie de cette efficacité est toutefois d'être exigeante en ce qui concerne les données d'entrées et les performances des outils de simulation numérique utilisés.

Le projet national PN ISI 2005-2011 [21] (ainsi que la norme NF ISO 23932-1) s'est, entre autres, concentré dans la recherche des conditions de mise en œuvre de l'ISI et a proposé une méthodologie où les différentes étapes nécessaires pour l'élaboration d'une démarche d'ingénierie de la sécurité incendie ont été identifiées. Cette démarche permet de satisfaire les objectifs de sécurité prédéterminés (cf. Figure).

Après avoir défini le périmètre du projet, la première étape concerne l'identification des objectifs de sécurité incendie, associés à des exigences fonctionnelles et des critères de performance.

Une analyse de risque permet ensuite d'identifier les dangers. Une solution de conception de l'ouvrage, susceptible d'y répondre doit alors être proposée.

Par la suite, un ensemble de scénarios d'incendie de calcul sont identifiés et les méthodes d'ingénierie adéquates sont sélectionnées. Ces méthodes sont appliquées à chaque scénario afin de vérifier la satisfaction des critères de performance définis précédemment. Si la solution de conception ne satisfait pas les critères de performance, des modifications de la solution de conception sont nécessaires jusqu'à l'obtention d'un projet final de conception répondant à l'ensemble des objectifs de sécurité. Un rapport final du projet, comprenant la documentation nécessaire, est ensuite produit et validé.

En matière d'évaluation de la performance des structures, les objectifs de sécurité et les exigences fonctionnelles associées sont généralement mentionnés en termes de compartimentage et de stabilité structurale [7] :

- Compartimentage pour la prévention ou la limitation de la propagation du feu au sein même de l'ouvrage, mais également vis-à-vis d'autres ouvrages (tiers). Cela comprend aussi le maintien de l'étanchéité et de l'isolation thermique des éléments séparatifs de l'ouvrage pour assurer un délai suffisant pour l'évacuation, ou pour faciliter l'accès des secours.
- Stabilité au feu de la structure pour la prévention ou la limitation d'effondrements structuraux. Dans le cas d'ouvrages multi-étagés, l'effondrement ou les déformations excessives peuvent créer des situations dangereuses pour la sécurité des personnes pendant leur évacuation, pour la sécurité des services de secours pendant leur intervention et pour la sauvegarde des biens lorsque cet objectif est retenu.

Pour la durée de performance des structures, le temps retenu pour atteindre les objectifs doit être défini par les parties intéressées et concernées (pétitionnaire, autorités, bureau d'ingénierie, laboratoire incendie...). Il est généralement retenu le temps de combustion totale (épuisement du combustible) et de refroidissement, comme exigé dans l'arrêté de référence en France [5]. Cependant, il est possible également de considérer des temps intermédiaires comme le temps

d'évacuation, le temps de réponse des pompiers ou le temps de maîtrise de l'incendie par les pompiers.

Ainsi, concernant la stabilité au feu de structures, il convient de définir des critères de non-ruine relatifs à la résistance mécanique à températures élevées pour assurer :

- Une stabilité structurale suffisante pour l'évacuation en toute sécurité de l'ouvrage ;
- Une stabilité structurale suffisante pour réaliser les activités de sauvetage et d'extinction en toute sécurité à l'intérieur de l'ouvrage ;
- Une stabilité structurale suffisante des éléments principaux de la structure pendant toute la durée de l'incendie, la ruine locale des éléments secondaires pouvant en général être admise ;
- Une stabilité structurale suffisante pour empêcher toute ruine globale soudaine ou progressive de la structure.

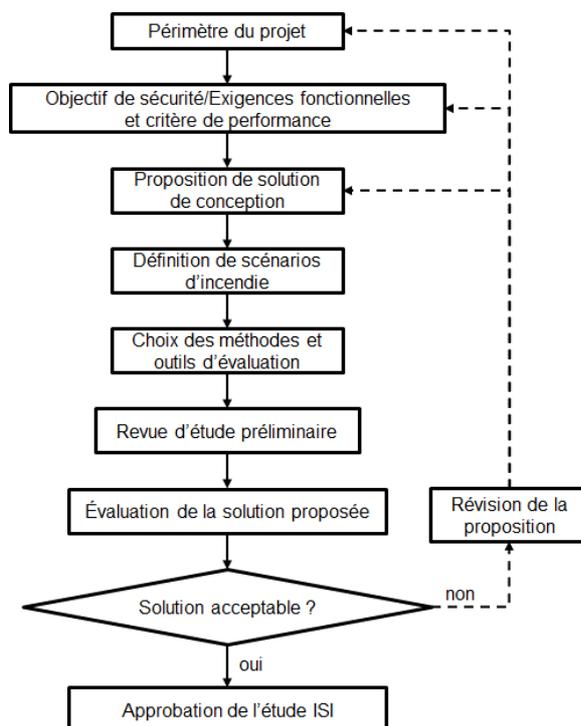


Figure 1 : Processus d'évaluation d'un ouvrage par application de l'ingénierie de la sécurité incendie, extrait du PNISI [21]

En termes de compartimentage, outre sa stabilité, il conviendra de s'assurer aussi de la non-inflammation de matériaux combustibles pouvant être au contact de la face non exposée. Des critères en termes de flux thermiques ou de température de la face non exposée doivent être retenus. Ces critères peuvent être spécifiques au projet et à l'aménagement, ou bien basés sur ceux de la norme ISO 834 [10].

3. Ingénierie de sécurité incendie appliquée à des immeubles en construction bois

3.1. Contexte

Lorsqu'une approche de dimensionnement par ingénierie de la sécurité incendie est souhaitée par une équipe de projet, exigée par les textes réglementaires ou demandée par les autorités, il est recommandé de suivre la démarche présentée dans ce guide.

Ceci est particulièrement valable lorsqu'il s'agit de la construction d'un immeuble de grande hauteur en structure bois (conformément à l'arrêté du 30/12/2011) pour laquelle une note d'information [3], du ministère de l'Intérieur renvoie les concepteurs vers l'ingénierie incendie pour justifier des dispositions constructives permettant de répondre aux objectifs de sécurité concernant la résistance au feu, le comportement au feu des façades et la réaction au feu des matériaux combustibles.

En matière d'évaluation du comportement au feu des structures, l'approche ISI au sens global, telle que résumée au chapitre 2, peut être conservée afin de vérifier le respect des objectifs de sécurité et des exigences fonctionnelles relatifs au compartimentage et à la stabilité au feu. De même, la définition et la caractérisation des scénarios d'incendie réel doivent être réalisées avec la même méthodologie.

3.2. Approche générale

Dans le cas de bâtiments en bois, l'approche ISI prend en compte la contribution éventuelle du bois structural. De fait, l'implication d'une source supplémentaire de combustible, par rapport à la charge mobilière, peut avoir une incidence sur le développement de l'incendie, soit en termes de niveau d'agression, ou de durée.

L'implication du bois structural est conditionnée par un flux thermique incident suffisant pour conduire à la pyrolyse du bois et à l'auto inflammation des gaz de combustion. A contrario, lorsque ce flux thermique redevient inférieur à la valeur d'inflammation, il n'y a plus d'auto-entretien.

Par ailleurs, la protection thermique d'une partie ou de la totalité des éléments de structure en bois est de nature à limiter, voire annihiler, cette implication.

Ainsi, l'approche ISI permet d'optimiser la surface de bois structural qui peut être laissé apparent tout en répondant aux objectifs de sécurité. L'un des enjeux est alors de déterminer les conditions d'incendie, et par conséquent le besoin éventuel des surfaces de bois à protéger, conduisant à faire apparaître des phénomènes d'auto-extinction de la combustion des éléments de structure en bois apparent, afin d'éviter un auto-entretien de la combustion dans un local.

Le mode de protection passif peut être de nature diverse (écran, encapsulage, flocage, ...). La protection devra être dimensionnée au regard des agressions issues de l'incendie réel afin de répondre à des critères de non inflammation du bois de structure protégé.

Cette approche est résumée dans le logigramme ci-dessous (figure 2) :

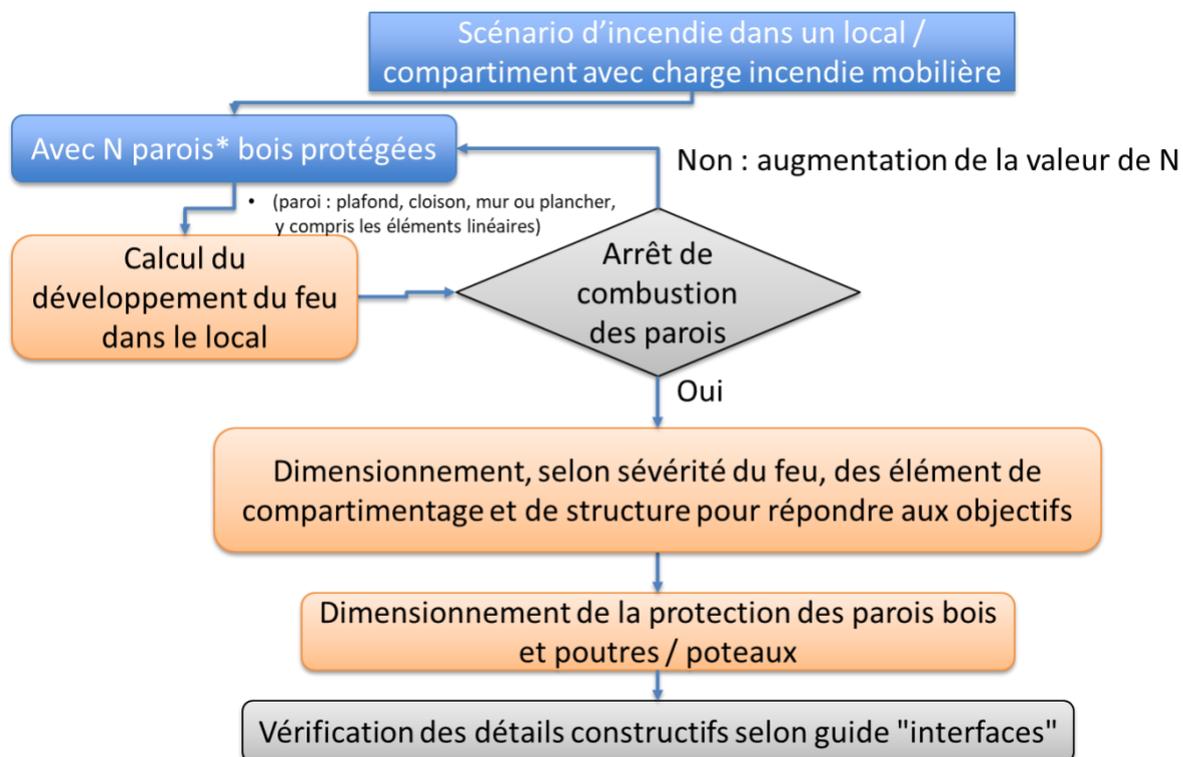


Figure 2 : Approche générale d'ingénierie de sécurité incendie applicable aux bâtiments en bois (nota : l'arrêt de combustion concerne la combustion avec flammes vives)

3.3. Description de la méthode de calcul

Le logigramme de la figure 3 présente la méthodologie proposée pour la mise en application des approches et modèles de calcul nécessaires à l'évaluation du comportement au feu du bois structural.

Pour chaque scénario d'incendie à analyser, la méthode ISI se décompose en 3 grandes phases :

- Calcul préliminaire : il s'agit de calculer sans contribution du bois structural les conditions de développement et de propagation d'incendie du foyer réel retenu pour le volume étudié. En fonction du régime de combustion, ce foyer pourra nécessiter d'être redimensionné pour que la disponibilité en oxygène conduise à une combustion optimale du foyer.
- Calcul de développement du feu : il s'agit de réaliser, à proprement parler, les simulations numériques en considérant l'implication du bois structural dès lors que sa surface atteint une température (ou un flux thermique) critique d'inflammation. Cette action est réversible avec l'extinction (absence de combustion avec flamme) si le critère n'est plus atteint. Son implication se traduit par l'émission d'un débit de pyrolyse constant. Si une situation de feu sous-oxygéné est rencontrée, une approche simplifiée est proposée, fondée sur le foyer primaire retenu, mais pour lequel la durée de l'incendie est augmentée au prorata de la quantité de bois structural mobilisée, tout en considérant une puissance (débit calorifique) correspondant à un régime de combustion de foyer contrôlé par la ventilation.
- Calcul du comportement structural : sur la base des calculs de développement de feu, il est alors possible de connaître en fonction du temps et de l'espace, les agressions reçues par les éléments de structures étudiées. Deux approches sont alors possibles, soit par des calculs thermomécaniques prenant en compte la réduction de la résistance du bois en fonction de la température. soit par la détermination de la section réduite au travers de calculs de transferts thermiques et d'efforts résistants résultants.

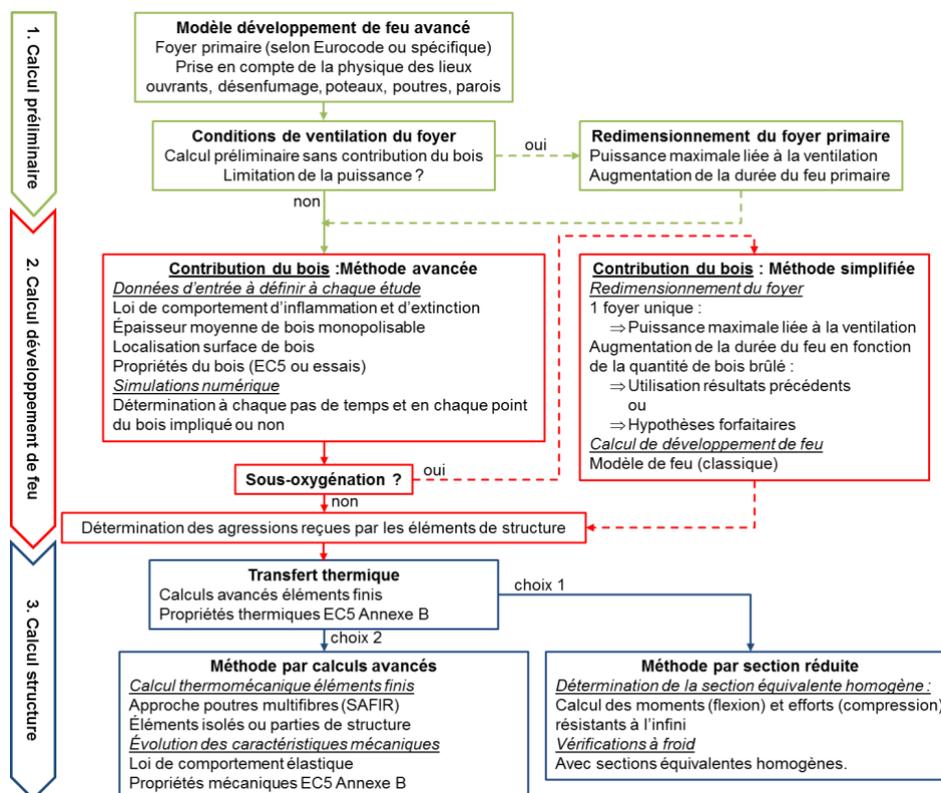


Figure 3 : Méthode pour l'évaluation du comportement au feu de bâtiments en structures bois pour un scénario d'incendie donné [7]

3.4. Détails des phases de calcul:

Phase 1 : Calcul préliminaire

Cette première phase n'est pas spécifique à l'approche ISI appliquée aux structures bois, car il s'agit bien avant la contribution du bois de s'assurer de la pertinence du modèle et des hypothèses du scénario à analyser.

Le foyer d'incendie est généralement représenté par une surface au sol émettant un débit de pyrolyse évoluant en fonction du temps. Les caractéristiques du foyer, en termes de débit calorifique surfacique et densité de charge calorifique, mais également d'évolution temporelle, sont définies dans le scénario d'incendie de calcul, par le bureau d'étude, sur la base d'une analyse préliminaire et simplifiée des risques en s'appuyant sur des données bibliographique, des essais spécifiques de caractérisation de foyer ou en s'appuyant sur les Eurocodes [13]. Pour des foyers de grande surface (> 50 m²) il est conseillé de modéliser une propagation progressive du feu sur la surface du foyer pour se rapprocher d'une situation plus réaliste.

Les propriétés thermiques des matériaux en présence doivent être prises en compte. Pour certains matériaux, on pourra s'appuyer sur les Eurocodes. De même, pour la réaction de combustion, un combustible de type cellulosique de composition C_{3,4}H_{6,2}O_{2,5} et chaleur de combustion de 14 MJ/kg peut être retenue. D'autres valeurs sont possibles pour autant qu'elles puissent être argumentées [24].

Dans le cas où le débit calorifique défini par le scénario conduirait à des conditions de sous-oxygénation (puissance supérieure à ce qui peut être brûlé à l'intérieur du local) qui ne pourraient être appréhendées de façon suffisamment pertinente par le modèle de calcul utilisé, la puissance maximale (W) doit être réduite d'autant. Cependant, l'énergie totale monopolisable par le foyer primaire (J ou W/s) devra être conservée en augmentant la durée de l'incendie. Ces conditions permettent de placer les simulations numériques du côté de la sécurité.

Phase 2 : Calcul de développement de l'incendie

Il s'agit de prendre en compte la contribution du bois structural et donc dans un premier temps de déterminer la quantité de bois monopolisable. Lorsque les parois verticales ou horizontales sont en bois apparent, les éléments singuliers (poteaux ou poutres) en bois apparent peuvent être pris en compte en les intégrant dans l'épaisseur de bois équivalente de (des) la paroi(s). À l'inverse, lorsque les parois seront non combustibles ou protégées de manière adéquate, les éléments singuliers en bois devront être explicitement modélisés.

Ensuite, le modèle de développement et de propagation du feu devra permettre d'impliquer localement le bois apparent, sur la base d'une loi de comportement d'inflammation et d'extinction, et d'un débit calorifique surfacique dégagé par le bois. Un critère de 300°C pour l'inflammation et une valeur de 100 kW/m² pour le débit calorifique sont proposés conformément à [24] [24]. Toutefois, ces valeurs enveloppes et sécuritaires peuvent être optimisées et adaptées en fonction de la nature précise des essences de bois employées.

Une variante au critère de température limite d'inflammation, prenant en compte une « approche implicite par flux critique » peut également être utilisée. Elle nécessite toutefois une modification du code source du logiciel FDS pour tenir compte d'une loi d'ignition en fonction du bilan thermique en surface du bois.

Cette variante emploie une loi de comportement d'inflammation et d'extinction, de la forme $T_{limite} = f(\varphi_{net})$. La grandeur T_{limite} correspond à une valeur de température de surface de bois au-dessus de laquelle les flammes apparaissent, et en dessous de laquelle les flammes disparaissent. Cette limite correspond à l'apparition ou à la disparition visuelle des flammes vives lors des essais, et non celle de l'incandescence, qui peut se prolonger après extinction des flammes. Sur la base d'essais du CSTB effectués sur de l'épicéa, à titre d'exemple [22], la corrélation des données a conduit à la relation suivante :

$$T_{limite} = T_0 \cdot e^{\varphi/\varphi_0} \quad [\text{Équation 1}]$$

avec $T_0 = 529,7^\circ\text{C}$, φ : flux net de chaleur à la surface et $\varphi_0 = 103,4 \text{ kW/m}^2$

De même une variante du débit de pyrolyse du bois prenant également en compte une approche implicite en fonction du flux net, peut être retenue. Une loi de comportement simple du débit calorifique surfacique du bois en fonction du flux net serait alors envisageable du type :

$$Q_{surfacique} = a \cdot \varphi + b \cdot \quad [\text{Équation 2}]$$

Il est important de souligner ces lois de comportement peuvent varier en fonction de l'essence de bois et de la forme de bois employées (brut, lamellé-collé, CLT, etc.). Les essais de caractérisations sur échantillons doivent fournir les températures d'inflammation et d'extinction ainsi que de débit de pyrolyse dans différentes conditions de flux. On pourra se référer à la norme ISO 5660-1 [11].

Enfin, la quantité de bois en combustion est ajustée au fur et à mesure du temps en fonction du maintien ou non des conditions critiques d'inflammation pariétale du bois. Cette approche permet donc de prendre en compte les phénomènes d'auto-extinction du bois.

Dans le cas où la prise en compte de la combustion du bois structural apparent conduit à une forte sous-oxygénation de l'incendie, avec une réduction significative du débit calorifique dans le local, mais également des températures, qui ne pourrait pas être appréhendées de façon suffisamment pertinente par le modèle de calcul utilisé, il est nécessaire de redimensionner le foyer primaire en lui imposant la valeur maximale possible de débit calorifique en fonction des conditions de

ventilation comme lors de la phase préliminaire. Outre l'énergie totale du foyer primaire à prendre en compte, la quantité de bois monopolisable sera prise égale à la quantité de bois résultant de l'épaisseur de bois brûlé observée lors de la précédente simulation avec contribution du bois permettant de prendre en compte les phénomènes d'extinction du bois. On considère en effet que l'erreur due à la sous-oxygénation n'impacte pas significativement la prédiction de la quantité de bois contribuant à l'incendie.

Une nouvelle simulation numérique doit alors être conduite pour déterminer les agressions reçues par les éléments de structures bois à étudier.

Phase 3 : Calcul du comportement structural

Sur la base des actions thermiques calculées pour chaque scénario de calcul, il s'agit pour les calculs du comportement thermomécanique des structures, de réaliser des simulations numériques de transfert thermique et d'évaluation de la stabilité structurale. Deux approches sont alors possibles en fonction du besoin (vérification de l'atteinte des critères de résistance ou dimensionnement).

Pour la première approche, l'analyse par élément ou par parties de structure est possible. Elle fait appel à un code de calcul aux éléments finis dédié à l'analyse du comportement des structures à haute température, et intégrant les caractéristiques thermiques et les lois de comportement mécanique du matériau bois données dans l'Annexe B de la norme EN 1995-1-2 [16].

Cette approche permet de déterminer le comportement et, le cas échéant, le temps de ruine de la structure globale qui correspond au dépassement de la capacité résistante d'un élément donné ou de la partie de structure étudiée. Elle est bien adaptée pour la vérification de la résistance au feu des structures. Elle présente aussi l'avantage d'un processus de calcul relativement automatisé permettant de réaliser des études paramétriques en phase de conception. Elle permet enfin, de prendre en compte les interactions entre éléments, notamment pour les structures multimatériaux présentant des phénomènes de variations dimensionnelles en cas d'échauffement.

Pour la seconde approche, la démarche adoptée conduit à déterminer la section réduite (telle que définie dans l'EN 1995-1-2 [16]) minimale en considérant les actions thermiques issue du scénario d'incendie considéré. Le calcul de cette section réduite minimale se déroule en deux étapes.

La première étape concerne, comme dans la première approche, le calcul du transfert thermique dans la section considérée en utilisant, en général, un logiciel de calcul aux éléments finis permettant d'intégrer la non linéarité des caractéristiques thermophysiques du bois, ainsi que la détermination de l'affaiblissement des caractéristiques mécaniques de chaque fibre, compte tenu de la température.

La seconde étape concerne le calcul mécanique afin de trouver la section réduite, dont les caractéristiques mécaniques sont celles du matériau à température ambiante, présentant une résistance équivalente à la section échauffée compte tenu de l'affaiblissement des caractéristiques mécaniques des différentes fibres en fonction de la température. Ces caractéristiques doivent être considérées comme non réversibles en cas de refroidissement.

L'obtention de la section réduite permet par la suite de réaliser les calculs selon l'EN1995 partie 1 [16] en intégrant toutes les vérifications que permettent ce texte normatif. Cette approche s'adapte bien au dimensionnement au feu des structures.

L'application de ces deux approches aux panneaux CLT n'est possible que s'il est prouvé que les phénomènes de délamination, lors de la phase de combustion surfacique, ne peuvent apparaître.

3.5. Points d'attention

La méthodologie proposée doit s'inscrire dans le domaine de validité des méthodes de calcul utilisées.

Prise en compte de la contribution du bois

La contribution du bois de structure doit être évaluée afin de s'assurer de ne pas se retrouver dans une situation d'auto-entretien de la combustion du bois structural, ce qui conduirait, de facto, à la non-atteinte des objectifs. Un des points d'attention devra donc se porter sur la capacité des méthodes de calcul employées à prédire l'arrêt des flammes dues à la combustion du bois, voire l'arrêt de l'incandescence du bois.

L'incandescence du bois, sans flamme apparente, est un phénomène à évolution lente qui nécessite encore des travaux de recherche afin de déterminer les principales caractéristiques. L'étude de la résistance au feu des structures de bâtiments en bois, sous approche ISI ou descriptive, ne prend pas en compte le traitement de ce phénomène. La suppression du phénomène d'incandescence auto-entretenu relève principalement d'une réflexion sur les détails constructifs (tels que l'obturation de percements ou cavités ouvertes dans des éléments bois) et sur les conditions de finalisation de l'arrêt de combustion par les équipes d'intervention [23].

De même, s'agissant de bâtiments de grande hauteur, l'influence du vent, pouvant être présent avec l'altitude, sur le développement de l'incendie peut jouer un rôle important selon la dimension et position des ouvrants. Cette situation n'est pas liée à la présence de structure bois. Elle pourra être prise en compte au cas par cas selon l'évaluation du bureau d'étude, des demandes du pétitionnaire ou des autorités.

Concernant le risque de propagation de l'incendie par la façade, la méthodologie pourra être adaptée en choisissant des scénarios d'incendie favorisant la création de flammes extérieures ainsi qu'en s'appuyant sur des résultats expérimentaux.

Propriétés thermo-physiques du bois de structure

Le recours à des modèles de calcul avancés, aussi bien pour le développement du feu, que pour le comportement mécanique des éléments de structure et de compartimentage, est nécessaire. Les propriétés thermophysiques et mécaniques du bois doivent être choisies avec soin, considérant que celles définies dans l'Eurocode EC5 [16] sont des propriétés apparentes principalement adaptées à une agression thermique normalisée ISO 834 [10].

En outre, le comportement du bois selon son aspect et sa fabrication, bois massif reconstitué, bois lamellé-collé, CLT, ne doit pas être sujet à des phénomènes de délamination ou de chutes partielles en situation d'incendie.

4. Conclusion

Ce document propose une méthodologie d'application de la méthode performantielle d'ingénierie de sécurité incendie aux cas spécifiques de bâtiments en bois.

Une approche générale basée sur un principe de vérification de la surface de bois structural à protéger est proposée. Pour son application une méthode d'évaluation du comportement des structures en bois est décrite. Celle-ci permet de caractériser la contribution du bois et son implication dans le développement d'incendie, et de décrire des méthodes de calculs pour la vérification de résistance thermomécaniques des structures.

Bien évidemment à ce stade de développement, de nombreuses hypothèses et points d'attention doivent être observés et nécessitent une vérification détaillée et dans certains cas une optimisation.

5. Documents de référence

Réglementation

[1] Arrêté du 25 juin 1980 portant approbation des dispositions générales du règlement de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les établissements recevant du public (ERP) (modifié le 19/12/2017)

- [2] Arrêté du 31 janvier 1986 relatif à la protection contre l'incendie des bâtiments d'habitation (modifié le 19/06/2015)
- [3] Direction Générale de la Sécurité Civile et de la Gestion des Crises – Note d'information – Immeuble de grande hauteur en bois – Version du 27/07/2017
- [4] Arrêté du 30 décembre 2011 portant règlement de sécurité pour la construction des immeubles de grande hauteur et leur protection contre les risques d'incendie et de panique
- [5] Arrêté du 22 mars 2004 relatif à la résistance au feu des produits, éléments de construction et d'ouvrages (modifié le 14/03/2011)

Normes

- [6] NF ISO 23932 - Ingénierie de la sécurité incendie : Principes généraux - Août 2009
- [7] XP ISO/TS 24679 - Ingénierie de la sécurité incendie : Performance des structures en situation d'incendie - Mai 2011
- [8] NF ISO 16732-1 - Ingénierie de la sécurité incendie : Évaluation du risque d'incendie - Partie 1 : Généralités - Avril 2012
- [9] NF EN ISO 13943 - Sécurité au feu — Vocabulaire - Janvier 2008
- [10] ISO 834-1 - Essai de résistance au feu -- Éléments de construction -- Partie 1: Exigences générales – Septembre 1999
- [11] NF ISO 5660-1 - Essais de réaction au feu -- Partie 1 – Mai 2015
- [12] NF EN 13823 – Essai de réaction au feu, Single Burning Item Test- Février 2013
- [13] NF EN 1991-1-2 -- Eurocode 1 : actions sur les structures - Partie 1-2 : actions générales - Actions sur les structures exposées au feu - Juillet 2003
- [14] NF EN 1992-1-2 - Eurocode 2 : calcul des structures en béton – Partie 1-2 : règles générales – calcul du comportement au feu – Octobre 2005
- [15] NF EN 1992-1-2/NA - Eurocode 2 : calcul des structures en béton – Partie 1-2 : règles générales – calcul du comportement au feu – Annexe Nationale à la NF EN 1992-1-2 :2005" – Octobre 2007
- [16] NF EN 1995-1-2 - "Eurocode 5 : conception et calcul des structures en bois – Partie 1-2 : Généralités – Calcul des structures au feu" – Septembre 2005

Techniques et scientifiques

- [17] K. McGrattan, S. Hostikka, R. McDermott, J. Floyd, C. Weinschenk, K. Overholt - Fire Dynamics Simulator : Technical reference guide and User's guide", NIST Special Publication 1019, Sixth Edition, 2016.
- [18] Fire Dynamics Simulator (Version 6), www.nist.gov
- [19] J.M. Franssen, T Gemay. User's manual for SAFIR 2016c : a computer program for analysis of structures subjected to fire. University of Liege, August 2016
- [20] H. Q. Dong Évaluation du risque d'inflammation des fumées riches dans un milieu confiné sous-ventilé à l'aide de la simulation numérique. Thèse de doctorat, INSA Rouen, 2013
- [21] Formalisation de la méthodologie générale du PNISI. Projet National de recherche et développement : Ingénierie de la Sécurité Incendie (www.pn-isi.fr) - Septembre 2011

[22] P. Lardet, V. Georges, L. Terreï, M. Nichane - An engineering model for ignition and extinction of wood flames using bench-scale data – ESFSS 2018 – Journal of Physics: Conference Series (publication en cours)

[23] Lotta Vylund, Krister Palmkvist, Taktik och metodik för släckning av höga trähus, RISE Rapport 2017:65

Documents produits au cours du projet

[24] Étude de faisabilité d'application de l'ingénierie de sécurité incendie aux bâtiments en bois de grande hauteur – Étude bibliographique et recueil de données existantes, Rapport Efectis-CSTB, Réf. 17-001650-RévB, 09 Mars 2018

[25] Étude de faisabilité d'application de l'ingénierie de sécurité incendie aux bâtiments en bois de grande hauteur Étude de modèles numériques de développement d'incendie – Rapport Efectis-CSTB Réf. 18-000289- RévB, 09 Mars 2018

[26] Étude de faisabilité d'application de l'ingénierie de sécurité incendie aux bâtiments en bois de grande hauteur Approches numériques d'évaluation du comportement sous feux réels de structures en bois – Rapport Efectis-CSTB Réf 18-000290-RévB, 09 Mars 2018



A D I V B O I S

www.ativbois.org