

The background of the cover features a large, stylized illustration of autumn leaves in shades of red, orange, and yellow. At the bottom, there is a white silhouette of a city skyline with several buildings of different heights and shapes. Some buildings have small colored squares (blue, orange, red) representing windows or doors.

RÉDUCTION DE L'EXPOSITION DES BÂTIMENTS

face aux incendies
extérieurs de végétation

GUIDE MÉTHODOLOGIQUE

2025

AUTEURS ET CONTRIBUTEURS

Bruno GUILLAUME

Directeur Projets
R&I Incendies de Forêt

Mohamad EL HOUSSAMI

Chef de Projets
Ingénierie de Sécurité Incendie / Explosion

Maïkel LOPEZ

Responsable Développement
Réfèrent Infrastructures & Risques Majeurs

Jacky FAYAD

Ingénieur d'études R&I et
Ingénierie de Sécurité Incendie / Explosion

Gildas AUGUIN

Directeur Technique - Ingénierie Incendie
Ouvrages Spéciaux - Responsable Activités Essais OutLabs

COORDINATION ÉDITORIALE ET MISE EN FORME

Agence EDEL - Sandra DECELLE-LAMOTHE, expert risques majeurs
et Mirana METZGER, designer graphique

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier et exprimer toute notre gratitude à Frédérique GIROUD et Téo POLIMANN du laboratoire CEREN de l'Entente Valabre (Gardanne), ainsi qu'à Olivier GAUJARD de FIBOIS Sud, qui ont bien voulu relire et apporter une critique constructive à ce document.

Nous remercions également Pauline DIAS LOPES, en thèse pour Efectis, qui a fourni les données de puissance émise par les sources pour les foyers secondaires.

Le projet n'aurait pu aboutir et être finalisé sans la participation du projet BOIS-ZIF, financé par l'ADEME dans le cadre du plan France Relance 2030. Notons que si ce projet traite uniquement des constructions comportant des matériaux et systèmes de construction à base de bois et biosourcés, le présent guide concerne tout type de matériaux et de systèmes de construction.

GUIDE MÉTHODOLOGIQUE

INTRODUCTION - p.7



PHÉNOMÉNOLOGIE - p.17



MÉTHODOLOGIE - p.27



DÉFENDABILITÉ
- p.30



STRATÉGIE - p.33



INVENTAIRE - p.36



PROTECTION
DES PARTIES
PRINCIPALES - p.41



PROTECTION
DES ÉLÉMENTS
PARTICULIERS -p.60



CONCLUSION - p.63



ANNEXES - p.64



PLAN DU DOCUMENT

La prévention du risque d'incendie de forêt en France, notamment dans les interfaces urbaines, constitue un enjeu majeur pour la sécurité des personnes et des biens. Comme le présente l'introduction, ce risque a connu une évolution significative ces dernières années, rendant indispensable la mise à disposition d'un guide pratique sur les mesures constructives permettant de protéger efficacement les bâtiments exposés.

L'introduction replace également le sujet dans son cadre réglementaire actuel, en détaillant les obligations légales et les évolutions récentes en matière d'urbanisme, tout en soulignant la transition progressive d'une approche prescriptive vers des méthodes d'analyse performantielle. Elle précise également les objectifs, les utilisateurs et les limites d'application du guide, afin d'en clarifier le périmètre et l'utilité.

À noter

L'utilisation de ce guide nécessite la consultation préalable de deux documents :

[le guide IRSTEA sur les espèces ornementales \[9\]](#)

[et le complément des effets toxiques au guide PPRT \[14\],](#)

qui complètent la méthode déployée sur des aspects spécifiques du risque incendie de forêt.

Avant d'aborder les solutions constructives, il est essentiel de comprendre les mécanismes physiques en jeu : la **section 1** expose ainsi la phénoménologie de l'incendie de forêt aux abords des bâtiments, permettant d'identifier les principaux facteurs de risque et les modes de propagation du feu.

La **section 2** propose une vue d'ensemble de la méthodologie de mise en protection, structurant la démarche en étapes clés pour une approche à la fois rigoureuse et adaptée à chaque contexte. La première de ces étapes, détaillée dans la **section 3**, concerne l'analyse de la défendabilité, qui vise à évaluer la faisabilité et les contraintes spécifiques liées à l'implantation du bâtiment.

Le choix stratégique entre une approche prescriptive ou performantielle, ou une combinaison des deux, est abordé dans la **section 4**, afin de guider les acteurs dans la sélection de la méthode la plus adaptée à leur projet. Une fois cette orientation définie, la **section 5** présente la méthode d'inventaire des points de vulnérabilité de l'enveloppe bâtiminaire, étape cruciale pour identifier les faiblesses potentielles face au risque incendie.

Les **sections 5 et 6** constituent le cœur opérationnel du guide : la première détaille les étapes de mise en protection thermique des parties principales de l'ouvrage, tandis que la seconde se concentre sur les éléments particuliers, souvent négligés mais tout aussi critiques pour la sécurité globale du bâtiment.

Enfin, la conclusion du guide synthétise les bonnes pratiques et les points de vigilance à retenir. Deux annexes complètent le document : **l'annexe A** fournit le détail du calcul du facteur de vue, outil essentiel pour évaluer l'exposition d'un bâtiment aux rayonnements thermiques, et **l'annexe B** illustre l'application concrète de la méthodologie à travers un cas fictif, facilitant ainsi son appropriation par les professionnels.

Pour faciliter la compréhension et l'application des recommandations, un ensemble de **DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE** est disponible à la fin du guide (p.78).

ACRONYMES

ASFA	Association des Sociétés Françaises d'Autoroutes
ATG	Analyseur Thermogravimétrique
BUP	Bâtiment à Usage Professionnel
CF	Coupe-feu (classement EI au sens des normes européennes en résistance au feu)
CFD	Mécanique des fluides numérique (eng. : <i>Computational Fluid Dynamics</i>)
CNRC	Conseil National de Recherches Canada (eng. : <i>National Research Council Canada</i>)
CSTB	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
DDT(M)	Direction Départementale des Territoires (et de la Mer)
DECI	Défense Extérieure Contre l'Incendie
DFCI	Défense des Forêts Contre l'Incendie
EPDM	Matériau de membrane d'étanchéité de toiture, en caoutchouc éthylène propylène diène
ERP	Établissements Recevant du Public
ESSOC	Loi pour un État au Service d'une SOciété de Confiance
ETICS	Isolants extérieurs de façades
FDS	Fire Dynamics Simulator (code de calcul du NIST)
FEM	Méthode aux Éléments Finis (Finite Element Method)
FMC	Acronyme anglais (eng. <i>Fuel Moisture Content</i>) désignant le contenu en eau d'un végétal rapporté à sa masse sèche
FM	Nom d'un groupe d'assurance américains (USA) à portée internationale anciennement (FM Global)
ICPE	Installations Classées pour la Protection de l'Environnement
IRSTEA (ou INRAE)	Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture – renommé en 2020 Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement – On emploiera indistinctement IRSTEA ou INRAE
NIST	National Institute of Standards and Technology
ONF	Office National des Forêts
PAC	Porter à Connaissance
PaC	Pompe à Chaleur
PSE/PSX	Polystyrène expansé / polystyrène extrudé
PF	Pare-Flamme (classement E selon les normes européennes en résistance au feu)
PLU	Plan Local d'Urbanisme
PPRN	Plan de Prévention contre les Risques Naturels
PPRIF	Plan de Prévention contre les Risques d'Incendies de Forêt
PPRT	Plan de Prévention contre les Risques Technologiques
SDIS	Service Départemental d'Incendie et de Secours
WUI	Acronyme anglais (eng. : <i>Wildand Urban Interface</i>) désignant l'interface entre la forêt et la zone urbanisée

TERMINOLOGIE

utile à la compréhension du document

BRANDON	Éléments incandescents ou en feu, de petites tailles (millimétriques à centimétriques) transportés dans l'atmosphère – Synonyme : « bélugue »
COUPE-FEU	Capacité d'un système de construction à réduire le risque de propagation de l'incendie en limitant le passage des flammes et gaz chauds, et en limitant l'élévation de température pendant une durée conventionnelle donnée
DÉFENDABILITÉ	Ensemble des mesures de prévention à prendre pour assurer la lutte pompiers sur la défense d'un site contre l'incendie de forêt (accès, points d'eau, Obligations Légales de Débroussaillage)
FOYER PRIMAIRE	Source initiale du feu de forêt agressant un bâtiment, généralement la forêt voisine
FOYER SECONDAIRE	Source de feu agressant un bâtiment, dont l'inflammation a été provoquée par le foyer primaire
PARE-FLAMME	Capacité d'un système de construction à réduire le risque de propagation de l'incendie en limitant le passage des flammes et gaz chauds, pendant une durée conventionnelle donnée
PUISSANCE DE FEU	Quantité d'énergie thermique dégagée par la combustion pendant une unité de temps
RÉACTION AU FEU	Capacité d'un matériau ou système de construction à participer à un incendie, de par son inflammabilité puis sa combustibilité
RÉSISTANCE AU FEU	Capacité d'un produit et d'un système de construction à limiter la propagation du feu et assurer la fonction qui est dévolue malgré la présence d'un incendie pendant une durée conventionnelle donnée

INTRODUCTION



Évolution du risque d'incendies de forêt en France

Le risque d'incendie de forêt augmente en France depuis la dernière décennie, à la fois sous l'angle de l'aléa et sous l'angle de la vulnérabilité en raison de :

1. **l'augmentation de la masse combustible en forêt qui s'accroît du fait de plusieurs facteurs :**
 - **une réduction du nombre de départs de feux, engendrant une réduction des feux développés et une réduction des surfaces brûlées.** On observe ce même phénomène dans les Landes comme dans les parcs Nationaux Nord-Américains (avec le feu mémorable du parc Yellowstone en 1988) ou en Argentine (feux de 2020, 2021 et 2022 après plus de 70 ans de suppression des feux), qui fait que certaines zones forestières sont revisitées par le feu avec une fréquence de 50 à 60 ans, et ont acquis une continuité combustible très importante générant alors des feux gigantesques ;
 - **l'augmentation de la déprise agricole**, y compris à proximité des zones urbaines, remettant de plus en plus de la forêt en interface avec les zones urbanisées. La situation en Catalogne espagnole est particulièrement concernée par cette situation, avec une déprise agricole très avancée, engendrant par exemple une végétation très dense dans le parc Collserola situé en pleine agglomération Barcelonaise et jouxtant les habitations de 5 millions de personnes. La ville de Marseille n'est pas en reste, avec son campus universitaire Luminy, situé en pleine pinède mature dans une zone à accès unique. Les modèles économiques existants d'entretien de ces zones par l'agriculture et le pastoralisme sont difficilement soutenables dans le temps ;
 - **le nettoyage bien moins fréquent et important des zones forestières**, ce qui est mieux géré dans les zones de protection contre l'incendie (chemins DFCI et zones d'appui à la lutte ou coupures de combustibles) ;
 - **le débroussaillage individuel aux abords des habitations dans les zones à risque**, qui réduirait fortement la masse combustible dans ces abords, est très peu appliqué, bien que faisant l'objet d'une obligation légale (Obligations Légales de Débroussaillage, [Code Forestier \[7\]](#)) ;
2. **l'application de plus en plus fréquente de pratiques écologiques** au détriment de la protection contre l'incendie. Par exemple, la présence d'herbes dans les vignes a causé une propagation beaucoup plus importante du feu de Martigues 2020 comparé à celui survenu au même endroit en 2014 qui avait été bloqué par la zone en agriculture non raisonnée ;
3. **l'augmentation de la combustibilité des bâtiments** (isolants par l'extérieur à caractère combustible, parois bois/biosourcées non protégées par un écran de protection thermique, parements combustibles) ;
4. **l'ajout de situations plus fréquentes de conditions météorologiques estivales défavorables** (canicules, sécheresses) en lien avec le dérèglement climatique. On rappellera toutefois, que 9 incendies de forêt sur 10 sont d'origine purement anthropiques (accidentelles ou volontaires).

Si l'inversion de ces tendances, surtout celles liées à l'action humaine sur la gestion de la biomasse, n'est pas encore au rendez-vous, il y a toutefois une prise de conscience récente, après plusieurs décennies d'accalmie, du retour de grands feux à fort potentiel de destruction de forêt et d'habitations :

- 2016 à Rognac (env. 2 600 ha de dégâts aux forêts et constructions),
- 2017 à Bormes-les-Mimosas (env. 1 600 ha de dégâts aux forêts),
- 2020 à Martigues (env. 1 500 ha de dégâts aux forêts et campings, Côte Bleue détruite),
- 2021 à Gonfaron (env. 7 000 ha de dégâts aux forêts et constructions, plaine des Maures détruite),
- 2022 dans les Landes (record inédit d'un cumul estival de 32 000 ha brûlés avec des dégâts aux forêts et aux campings).

Une Commission Sénatoriale extraordinaire s'est tenue en août 2022 sur les effets des grands feux, et une loi « pour prévenir l'embrasement » a été promulguée le 10 juillet 2023. Elle vise notamment à mieux informer le grand public sur la météorologie favorable aux feux et à augmenter les moyens aériens.

La France possède également des atouts historiques, comme les choix par défaut suivants : des constructions plutôt en « dur », le fait de ne pas construire en forêt, des villes relativement peu étendues, un maillage par les centres de secours pompiers plutôt dense. Il en résulte une maîtrise du risque possiblement plus grande, lorsque les bons choix sont faits par anticipation.

Raison d'être et destinataires du guide

En France, plusieurs outils pour la prévention contre le feu de forêt au niveau des zones WUI ont déjà été réalisés et ont fait l'objet de nombreux guides :

- [note technique du 29 juillet 2015 \(NT2015\) sur la prise en compte du risque incendie de forêt dans les documents d'urbanisme \[4\]](#) ;
- [brochure DDTM13 « Ma maison est proche d'un massif forestier » : usages à risque dans la construction, la végétation environnante \(espèces haies ornementales à risque\) et les éléments combustibles artificiels, l'accessibilité \[6\]](#) ;
- [guide débroussaillage de l'ONF en 2019 \[7\]](#) ;
- [guide haies de l'ONF en 2012 \[8\]](#) ;
- [guide des espèces ornementales de l'IRSTEA en 2016 \[9\]](#) ;
- [guide Envirobat-BDM de 2016 sur les constructions bois et biosourcés en zones à risque d'incendie de forêt \[15\]](#).

Les mesures constructives, bien que dernier rempart d'autoprotection du bâtiment avant que l'incendie de forêt ne pénètre l'enveloppe bâtiminaire, est le parent pauvre de ces améliorations. Une liste prédéfinie de mesures constructives existe toutefois depuis la note technique NT2015 [4]. Mais elle appelle des précisions significatives qui sont faites dans le présent guide.

Comme indiqué dans la NT2015 [4], en vue de réaliser des améliorations sur la prise en compte de l'environnement du site, dans l'évaluation du risque, des travaux interministériels ont été initiés en 2012 mais n'ont à ce jour pas été finalisés.

Dans la NT2015 [4], les mesures constructives préconisées demandent des performances en résistance au feu de degré 30 min en corrélation avec une durée de confinement identique dans le bâtiment, ce qui est avéré cohérent par les services de secours (pompiers) et les scientifiques du domaine des feux de forêt. Cependant, ces mesures font l'hypothèse

que le feu de forêt est équivalent à un feu intérieur, ce qui est problématique. Cette version très simplificatrice a été adoptée par le CSTB dans les études préparatoires à la NT2015 [4] car le feu de forêt peut induire dans l'environnement immédiat de l'enveloppe bâtiminaire un feu de tout type de source artificiellement disposée par les usages humains (tas de bois ou stockage d'autres combustibles, véhicule, aménagement et ameublement de jardin, etc.), comme c'est le cas dans un feu intérieur. Donc pour éviter d'inventorier les sources combustibles au voisinage du bâtiment, le choix a été fait de prendre la courbe standard ISO 834 caractéristique d'un feu cellulosique généralisé dans un local (Dhionis Dhima, CSTB, pers. comm.). Il est très clair qu'en effet, ce type de situation peut être rencontré, mais l'environnement immédiat d'un bâtiment n'est pas en général sujet à ce type de situations. Or la situation varie grandement en fonction de la présence d'éléments combustibles dans les derniers 100 m autour du bâtiment (Cohen, 1999 [18]).

L'approche prescriptive « ISO 834 » pour les mesures constructives offre les avantages suivants :

- il n'y a pas besoin de caractériser l'environnement du site ;
- elle est purement prescriptive et il est donc très facile de vérifier si elle est respectée.

Mais, cette approche pose plusieurs problèmes majeurs :

- **elle peut s'avérer parfois faussement protectrice**, par rapport à un vrai feu de forêt, car :
 - non prise en compte de points d'entrée critiques du feu de forêt dans le bâtiment et qu'on retrouve souvent dans les retours d'expériences de dégâts bâtimentaires des feux de forêt : proximité des haies, présence de grimpants ou jardinières, etc. Les essais Australiens du « NASH report » [16] ont montré que les vitrages des menuiseries même E30 peuvent être sujets à destruction par un choc rapide en immersion flamme de type feu de forêt, car pour la montée en température sur les quelques premières minutes, la courbe ISO 834 n'est pas adaptée. Des habitations respectant parfaitement le débroussaillage et les mesures constructives de la NT2015 contre l'incendie de forêt peuvent donc être mises en défaut ;
 - omettant l'importance majeure d'instaurer, dans l'environnement immédiat du bâtiment, des distances avec les multiples foyers d'incendie susceptibles d'être allumés par le feu de forêt, elle n'incite pas du tout un constructeur ou un propriétaire à comprendre comment il peut se protéger efficacement de l'incendie de forêt ;
- **la NT2015 [4] comporte quelques incohérences ou imprécisions dans les performances qu'il convient de corriger** (performance E30 pour des parois qui est incompatible en l'état avec un objectif de confinement de personnes pendant 30 min derrière cette paroi, notion de non-pyrolyse non détaillée en termes de mesure de performance) ;
- **la NT2015 [4] ne traite pas des problèmes d'intoxication** : une personne peut se trouver parfaitement à l'abri des effets thermiques dans un bâtiment ou une pièce refuge. Pour autant elle pourrait être exposée à des gaz émis par les différents éléments naturels et manufacturés en décomposition thermique ; gaz qui seraient en concentration suffisante dans le refuge trop perméable pour subir des effets irréversibles, voire létaux.

L'arrivée de la loi ESSOC à partir de 2020, introduit la possibilité d'effectuer une analyse performantielle, autrement appelée étude de solutions d'« effets équivalents », c.-à-d. permettant d'atteindre les mêmes critères de performances tout en considérant une exposition des bâtiments qui soit fonction du comportement de l'incendie de forêt

sur l'environnement du site. C'est également le cas dans les documents d'urbanisme les plus récents (ex. PPRIF de Marseille établi en 2019), où une ouverture réglementaire est introduite, permettant de réaliser une étude d'« effets équivalents » lorsque les prescriptions de performances ne peuvent être remplies. Toutefois, aucun document (ni la NT2015) n'indique quelle méthodologie d'approche performantielle employer pour réaliser ces études d'effets équivalents. Cependant les décrets et ordonnances de mise en application de la loi ESSOC sont en attente.

À noter également, le guide [EnvirobatDBM 2016 \[15\]](#) indique bien, pour les « bâtiments durables », un ensemble de solutions techniques répondant aux performances prescriptives de la NT2015, mais ne fournit pas non plus de méthodologie d'approche performantielle.

Toutes ces raisons conduisent au présent guide sur la protection constructive face au feu de forêt qui a pour but de :

- compléter les performances prescriptives manquantes de la NT2015 (points singuliers) ;
- détailler une méthodologie performantielle autoportante (pour un certain domaine de validité), qui peut être suivie pas à pas pour (1) déterminer l'exposition du site et (2) fournir de premières mesures de protection adaptées à cette exposition, basée exclusivement sur l'éloignement des sources d'exposition à proximité du bâtiment.

L'approche développée dans ce document comporte les premiers éléments pour répondre aux objectifs généraux de protection contre les feux naturels en interface avec l'urbain (WUI) détaillés dans le [FORUM Position Paper de S. Manzello \[25\]](#), en traitant de l'éloignement des foyers secondaires d'incendie. Elle sera complétée ultérieurement par l'autre volet de protection lorsque les foyers secondaires ne peuvent pas être éloignés : le renforcement de la structure bâtiminaire.

Le présent guide est à destination en premier lieu des maitres d'ouvrage et des propriétaires, mais surtout des maitres d'œuvre et architectes, ou de leurs bureaux d'études, et des bureaux de contrôle, que ce soit pour la conception d'une construction nouvelle ou l'aménagement d'une construction existante.

Contexte et ouvertures réglementaires

La NT2015 [4] fixe les différents éléments de protection d'un bâtiment face à l'incendie de forêt, dans la séquence suivante :

- **mise en place des moyens de défendabilité du bâtiment :**
 - définition des zones à risque et du niveau d'aléa dans la commune concernée ;
 - aménagement du territoire pour éviter le mitage (habitat isolé en forêt) et privilégier le comblement de « dents creuses » dans l'interface urbaine située en première ligne face à la forêt ;
 - moyens de Défense Extérieure Contre l'Incendie (DECI) : mise en place, maintien dans le temps et autonomie suffisante des hydrants, suivant une couverture spatiale adaptée ;
 - respect du débroussaillage prévu par les Obligations Légales de Débroussaillage [7],
- **auto-protection :**
 - garantir l'accessibilité dans la propriété privée (aire de retournement, ouverture portail, etc.),
 - suppression ou évitement des usages à risque (accumulation de combustible près du bâtiment, etc.),
 - mesures constructives.

La défendabilité est définie de la sorte par l'Ordre d'Opérations National feux de forêt et espaces naturels [5]. Notons que les OLD peuvent être envisagées également comme un moyen d'autoprotection.

Parallèlement, comme évoqué précédemment, le développement du droit souple a conduit à la loi ESSOC, à partir de 2020, qui fait la part belle à l'analyse performantielle. De plus en plus de documents contenant initialement des prescriptions, proposent désormais des ouvertures réglementaires (possibilités de recourir à des études performantielles) allant dans ce sens, et les services instructeurs pompiers ont parfois recours eux-mêmes à ce type d'ouverture réglementaire, par activation par exemple de l'article R 111-2 du Code de l'Urbanisme quand des prescriptions de mesures constructives empêchent dans certains cas de garantir la sécurité publique.

On désignera ci-dessous les deux approches de mise en protection :

- **approche descriptive** : protection suivant des mesures entièrement prescrites, indépendantes de l'environnement du bâtiment ;
- **approche performantielle** : protection des parties principales d'ouvrage dépendante de l'exposition au feu sur l'environnement du site.

L'approche descriptive est la plus employée, notamment pour des bâtiments visés par les services de secours et d'intervention (ERP, sujets au passage de Commission de Sécurité, Bâtiments à Usage Professionnel ou d'habitation collective soumise à instruction de permis de construire au titre de la défense), tandis que l'approche performantielle est rendue possible par les nombreuses ouvertures réglementaires, en constant accroissement.

En analyse performantielle, le fait de tenir compte du niveau d'exposition permet d'ouvrir la voie à deux types de mise en protection distincts :

- une diminution de l'exposition par éloignement des éléments combustibles ;
- une diminution de la vulnérabilité par renforcement grâce à des matériaux moins vulnérables pour l'ouvrage ;

Seule cette deuxième voie peut être employée en approche descriptive.

Notons qu'une évolution réglementaire est envisagée depuis 2012 par une mission inter-ministérielle mais elle reste non finalisée en 2024. Elle vise à chercher en premier lieu à caractériser l'exposition, ce qui est désigné par « *déterminer les conditions de référence d'exposition à un feu de forêt suivant la nature des forêts françaises promptes à l'incendie* ». Une fois que ces « conditions de référence d'exposition » seront déterminées pour les différents massifs forestiers en France, il conviendra ensuite de traiter deux autres types d'amélioration :

- l'exposition à tout type de foyers secondaires (végétal ou combustible artificiel) présent en proximité du bâtiment, et qui est très souvent le vecteur final du feu de forêt avant l'enveloppe du bâtiment ;
- la vulnérabilité de l'enveloppe du bâtiment.

**Le présent guide propose
une première version de
ces améliorations, et servira
ultérieurement de base
à une évolution réglementaire
par les autorités compétentes.**

Objectifs du guide et approches de protection

Pour rappel, l'objectif général de la prise en compte des incendies de forêt dans l'urbanisme est de permettre en premier lieu la mise à l'abri des personnes pendant 30 min, englobant le passage de l'incendie de forêt sur site, ceci afin d'éviter l'évacuation non planifiée (notamment l'« évacuation sauvage » décidée en dernière minute sous l'effet de panique lié au feu visible en approche immédiate du bâtiment), ainsi que la possibilité pour les forces d'intervention, si présentes, de se trouver également protégées par la structure dans leur lutte contre l'incendie. En deuxième lieu, un niveau de protection supplémentaire peut être visé pour atteindre une protection des biens.

Ce guide traite de **deux types d'approches** pour la protection contre l'incendie de forêt :

- une « **approche descriptive** » (cf. *section 9.1*) à base de mesures prescriptives indépendantes de la configuration du site ;
- éventuellement complétée par une « **approche performantielle** » de plus en plus répandue, dépendant des niveaux d'exposition calculés pour le site. Elle ne s'applique qu'aux parties principales d'ouvrages (cf. *section 9.2*), les autres éléments étant traités en approche descriptive (cf. *section 10*).

L'**objectif** de ce guide est de fournir :

- pour l'approche descriptive, une interprétation pour traiter des zones d'ombre et compléter des points non traités de la NT2015 ;
- pour l'approche performantielle, une méthode générale d'évaluation du niveau acceptable d'exposition pour les parties principales d'ouvrage, en fonction de la configuration du site et des multiples foyers combustibles existants ou pressentis autour du bâtiment.

Deux déclinaisons sont proposées pour l'approche performantielle appliquée aux parties principales d'ouvrage :

- l'**approche performantielle simplifiée**, sécuritaire et applicable à la seule lecture du présent guide ;
- l'**approche performantielle optimale** : plus complexe, détaillée et très spécifique, mais ne pouvant être réalisée que par un **organisme ayant les compétences requises**.

L'approche performantielle simplifiée consiste uniquement à réduire l'exposition du bâtiment sans viser à réduire sa vulnérabilité. Si on vise à la fois à réduire l'exposition et également à réduire la vulnérabilité de l'ouvrage, il convient d'employer l'approche performantielle optimale.

Notons également que si toute réduction de l'exposition réalisable dans les contraintes géographiques du projet n'est pas suffisante, cela signifie que des foyers d'incendie sont trop proches du bâtiment vulnérable. Il est alors conseillé d'aller directement chercher les protections importantes fournies par l'approche descriptive (l'alternative est de chercher des protections plus optimisées en utilisant l'approche performantielle optimale,

mais les foyers étant proches du bâtiment une protection importante sera de toute façon indispensable).

Notons enfin que toute protection active (sprinklage de la structure et/ou de la végétation) n'est pas traitée par le présent guide, et doit faire également l'objet d'une étude spécifique avec l'appui de bureaux d'étude ayant les compétences requises pour le dimensionnement de tel système.

Pour l'approche performantielle optimale : faire appel à un organisme ayant les compétences pour tout ou partie des 5 besoins suivants >

• besoin n°1

Déterminer les paramètres de combustion pour d'autres types que les 4 types de massifs forestiers pris en compte dans ce guide.

L'organisme devra avoir les compétences nécessaires d'écologie forestière disposant des outils décrits dans ce guide ;

• besoin n°2

Déterminer les paramètres de combustion des autres foyers secondaires que ceux pris en compte dans ce document.

L'organisme devra avoir les compétences nécessaires en essais de résistance et réaction au feu et en modélisation incendie tel que précisés dans ce guide ;

• besoin n°3

Réaliser l'étude en approche performantielle optimale, c.-à-d. déterminer les niveaux d'exposition, évaluer le transfert thermique au travers de l'enveloppe, et évaluer la vulnérabilité, lorsque les gammes de matériaux et de systèmes constructifs constitutifs de l'enveloppe bâimentaire sont à considérer dans leur définition précise.

Cet organisme devra avoir les compétences nécessaires en essais de résistance et réaction au feu et/ou en modélisation incendie (développement de feu et transfert thermique) telles que précisées dans ce guide (cf. section 9.2.1) ;

• besoin n°4

Dimensionner un système de protection active (sprinklage structure ou végétation) ;

• besoin n°5

Évaluer l'étanchéité de l'enveloppe contre les gaz toxiques.

Remarques complémentaires**• remarque 1**

L'arrêté habitation de 1986 (modifié en 2020) met en place une approche descriptive pare-flamme vis-à-vis de tout type de feu extérieur (bâtiment voisin, feu de poubelle, etc.) imposant des distances d'éloignement prédéterminées. Dans le présent guide, on ne peut adopter la même méthode car on doit sommer les contributions multi-foyer de l'exposition induite par le feu de forêt sur le bâtiment ;

• remarque 2

Le présent guide, dans l'approche performantielle proposée, est inspirée en partie des approches Canadienne [11], Australienne [10] et Nord-Américaine [12] de protection du bâtiment contre l'incendie de forêt. En partie seulement, car ces approches ne traitent que du feu de massif forestier (foyer primaire), alors que dans la grande majorité des cas, plusieurs foyers secondaires de tout type sont présents dans l'environnement immédiat du bâtiment (éléments rapportés, éléments ornementaux, structures secondaires, véhicules, etc.), contribuant très significativement à l'exposition au feu du bâtiment ;

• remarque 3

Un laboratoire accrédité et agréé pour les essais en résistance et réaction au feu, avec une reconnaissance ou expertise en ingénierie de sécurité incendie sera à privilégier.

Domaine d'application

Ce guide a des limites d'application concernant l'approche performantielle simplifiée, dont l'application peut se faire à sa seule lecture. Ces limites seront progressivement levées dans les futures versions avec le retour d'expérience :

- il ne traite que de mesures de protection consistant à éloigner les foyers secondaires d'incendie, que le feu de forêt active à proximité du bâtiment. Les mesures complémentaires de renforcement de la structure sont pour l'instant hors domaine d'application ;
- il ne traite pas de la problématique de réinflammation bien après le passage de feu (feu de tourbe notamment non traité ici) ;
- pour les massifs forestiers, on fournit ici les aléas typiques pour quatre grandes classes de végétation rencontrées très fréquemment dans les régions à risques de feu de forêt en France. Ceci est dû au fait qu'il n'existe pas encore de conditions de référence (foyer primaire) pour toutes les scènes végétales de France. Par conséquent, un massif forestier dont la végétation principale ne peut pas se rapprocher d'une de ces quatre classes est hors domaine d'application ;
- les foyers secondaires peuvent être nombreux et très hétéroclites. Ils ne disposent pas tous d'une caractérisation au feu. Le guide actuel liste les foyers secondaires dont les caractérisations au feu ont été étudiées, dans l'état de l'art scientifique actuel. Tout autre type de foyer secondaire est hors domaine d'application (notamment si la taille des haies est plus élevée que celle employée ici) ;
- lorsque l'application de l'approche performantielle conduit à des éloignements d'éléments combustibles qui ne sont pas réalisables en pratique dans le projet de construction ou pour le bâtiment existant, on doit retourner au renforcement de protection fourni par l'approche descriptive ;
- les conditions environnementales du site couvertes par le présent guide sont les suivantes :
 - **condition E1** : moyenne sur 5 min du vent (définition du « vent moyen » par Météo France) qui peut être considéré dans l'étude comme vent fort (30 km/h) mais non extrême (50 km/h),
 - **condition E2** : pente en tout point du terrain qui soit inférieure à 20° ou 37 % (sont exclues les situations de crêtes ou de milieu de vallon),
 - **condition E3** : aucune direction marquée du vent, toute direction est considérée comme équiprobable,
 - **condition E4** : pas de reconstitution de la séquence chronologique de propagation du feu aux différents vecteurs rapprochant le feu de la structure,
 - **condition E5** : la végétation est considérée dans l'analyse de risque comme morte (FMC = 6 % pour herbe, 20 % pour espèces arborées), ce qui a pour effet d'être très sécuritaire sur ce paramètre,
 - **condition E6** : le bâtiment est à simple RDC ou R+1, ou bien on choisit arbitrairement d'ignorer l'effet des gaz chauds en n'évaluant que l'effet radiatif de l'incendie.

À noter

Si les conditions E1 ou E2 ne sont pas remplies, le transfert de chaleur de l'incendie vers le bâtiment cesse de se faire majoritairement par effet radiatif. Il se fait alors plutôt par convection des gaz chauds du panache : dans ce cas, il convient alors d'inclure dans l'étude l'impact additionnel de ces gaz chauds.

Dès que l'on se trouve hors du champ d'application sus-défini, une étude spécifique devra être réalisée par un organisme compétent.

PHÉNOMÉNOLOGIE

1



4.1 Exposition des bâtiments à l'aléa feu de forêt

4.1.1 Description de l'aléa

L'aléa feu de forêt est un phénomène catastrophique naturel bien particulier, dont le mode de propagation doit être bien compris pour rendre efficace la protection des personnes et des structures. Il ne s'agit pas d'une propagation continue tel un tsunami (Cohen, 1999 [18]). Il s'agit d'un phénomène auto-catalytique, qui par brûlage du combustible diffuse ensuite la chaleur vers les éléments combustibles voisins, situés à plus ou moins grande distance, qui s'enflamment si la chaleur reçue est suffisante, et qui peut aussi procéder d'un ensemble d'inflammations consécutives (brandons, etc.). Le feu laisse notamment des poches entières imbrûlées.

Il convient, pour une protection efficace, de penser l'attaque du feu sur un bâtiment non pas comme un phénomène continu, mais par des sautes multiples d'un élément combustible à un autre, suivant plusieurs « chemins de feu » possibles de propagation [17].

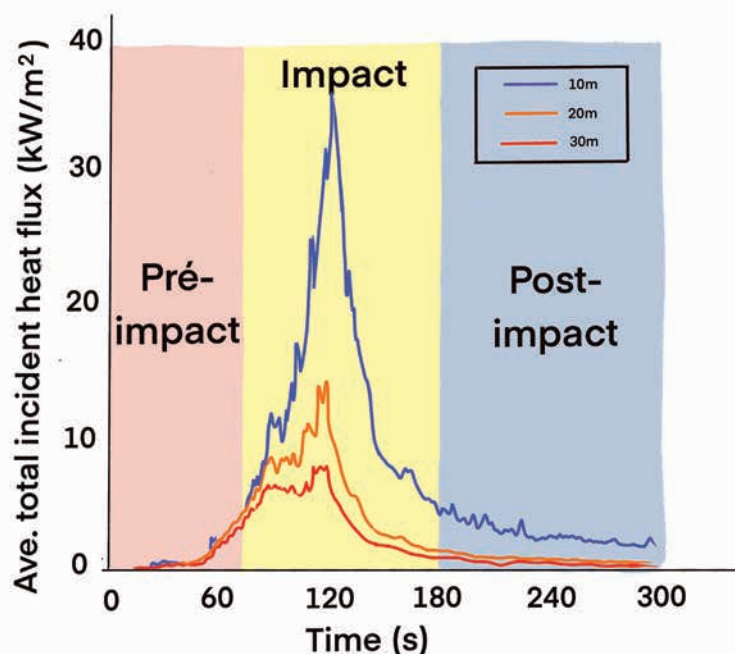
Un incendie de forêt impactant un bâtiment est un phénomène qui a lieu en trois phases (cf. **Figure 4-1**) :

- **la phase de pré-impact :**
 - des brandons, de taille très variable (millimétriques à centimétriques), attaquant potentiellement de très loin (parfois 200 m, à plus d'un kilomètre) les enjeux. On peut même y inclure des vecteurs involontaires, atmosphériques ou non, comme les animaux qui peuvent être en feu et propager l'inflammation dans leur course,
 - des gaz chauds attaquant à moins de 150 m du bâtiment viennent préchauffer les éléments combustibles dans l'environnement du bâtiment,
- **la phase d'impact :**
 - l'attaque thermique (essentiellement radiative) y est maximale, venant des flammes situées au plus près du bâtiment,
 - la propagation du feu se fait à de très nombreux combustibles naturels et artificiels proches du bâtiment,
- **la phase post-impact :**
 - tous les éléments combustibles de taille importante (les éléments fins ayant brûlé durant la phase d'impact) à proximité du bâtiment se sont embrasés et continuent à brûler après le passage du front de flamme. Les éléments les plus massifs (végétaux ou artificiels) restent imbrûlés ou se consomment lentement par carbonisation. Cette phase peut s'étendre à un feu intérieur du bâtiment, de durée nettement plus longue, si l'incendie a réussi à percer l'enveloppe du bâtiment et installe un feu couvant dans les parties non visibles de l'extérieur.

Ces trois phases sont prises en compte dans la méthode décrite dans le présent document.

Figure 4-1

Trois périodes d'impact visualisées sur l'évolution temporelle du flux thermique reçu par une cible impactée par un feu de forêt et située à 3 distances différentes de la lisière de la forêt - adapté de Cohen, 2004 [19]



Contrairement aux idées reçues, les études montrent que les dommages subis par les bâtiments lors d'un incendie de forêt, même en périphérie, sont rarement liés à l'intensité du feu dans la zone boisée adjacente (foyer primaire). Cette observation a notamment été mise en évidence lors du plus dévastateur incendie survenu dans le Colorado entre 1980 et aujourd'hui, le Fourmile Canyon Fire de 2010 [20], où la plupart des dégâts les plus importants étaient proches de massifs forestiers peu élevés. Ceci a également été vu sur le feu de Vidauban (2003) où les dégâts sur la commune de Plan de la Tour n'ont pas montré de corrélation forte à l'intensité du feu dans le massif forestier le plus proche. Il apparaît que les dégâts importants sont plutôt causés par :

- d'importants foyers secondaires situés très proches des bâtiments et rapprochant fortement le feu depuis le massif forestier voisin vers le bâtiment ;
- la pénétration directe dans l'enveloppe de brandons entrant par des points singuliers (grilles de ventilation, sous-tuiles, etc.), brandons qui peuvent être émis de très loin comme évoqué précédemment.

Dans une étude de risques pour un bâtiment, on appelle « **chemin de feu** » la séquence complexe d'allumage en cascades des différents foyers secondaires (végétation, combustibles artificiels) conduisant l'incendie à atteindre l'enveloppe de la structure étudiée.

D'où la nécessité, lorsqu'on souhaite tenir compte de l'environnement combustible du bâtiment, de bien renseigner non seulement le foyer primaire mais aussi et surtout les nombreux foyers secondaires potentiels.

Ces foyers secondaires, situés dans les derniers 100 m du bâtiment (50 m si le terrain est plat), sont très complexes et nombreux. Ils sont essentiellement composés de :

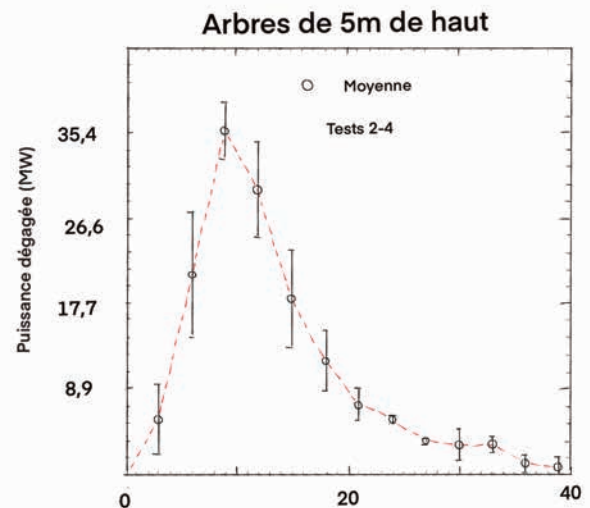
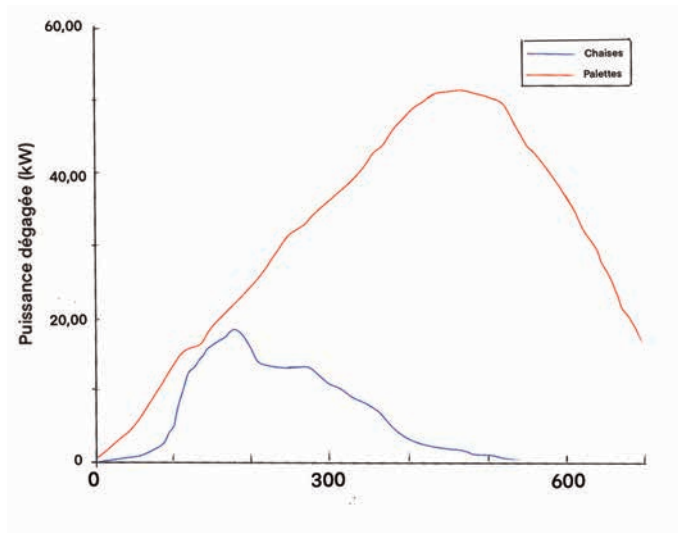
- structures naturelles : haies/talus, végétation ornementale ;
- structures artificielles extérieures : cabanes de jardin, pergolas, etc. ;
- combustibles d'usage : tas de bois, voitures, poubelles, stock de bouteilles de gaz, mobilier de jardin, etc.

Ils ont des durées et intensités maximales de combustion très variables (cf. **Figure 4-2**).

Figure 4-2

Puissance thermique (HRR)
d'un combustible artificiel -
adapté de [Vacca et al, 2020 \[28\]](#)

Puissance thermique (HRR)
d'un élément de végétation naturelle (sapin) -
adapté de [Mell, 2009 \[29\]](#)



On note également la grande complexité de la direction d'attaque du feu, qui malgré la présence de vents dominants dans une région, peut se comporter parfois de manière très différente du vent dominant localement autour d'un bâtiment : la zone soumise au feu de Canjuers en 2022 avait fait l'objet d'une analyse de risque avec deux scénarios de propagation privilégiés, liés aux deux vents dominants, Mistral (Nord-Ouest) et vent d'Est. Or le feu de 2022 a généré son propre vent du Sud (SDIS83, pers. comm.).

Les foyers de combustion primaire et secondaires sont considérés dans le présent document, avec leurs caractéristiques de combustion.

Par défaut dans ce guide, pour éviter d'éliminer des directions de propagation possible, on supposera une isotropie des directions de propagation locale autour d'un bâtiment. Une étude peut toutefois être réalisée avec des directions privilégiées de vent (sur la base de la rose des vents du secteur, de mesures in situ ou parce que la direction est fondamentalement intéressante à étudier).

De même, la temporalité de la propagation, d'un foyer secondaire à l'autre, autour d'un bâtiment donné est trop complexe (aérodynamique locale, feu générant son propre vent, etc.) et n'est donc pas prise en compte dans la méthodologie du présent document. En revanche, l'effet cumulatif des différents foyers secondaires dans l'exposition du bâtiment est important. Il est pris en compte dans le présent document.

4.1.2 Description des effets

Trois principaux effets sont à l'œuvre dans l'exposition d'un bâtiment à un feu de forêt :

- **les effets thermiques liés au front de flamme du foyer primaire et aux incendies des foyers extérieurs multiples autour du bâtiment** : la chaleur est transférée depuis ces foyers vers l'enveloppe bâtimementaire par (1) les flammes en contact direct, (2) le rayonnement à distance, (3) les gaz chauds (convection) ;
- **la pénétration par tous les points singuliers de l'enveloppe bâtimementaire** (ventilations, gaines techniques, etc.) des brandons ;
- **la pénétration de l'enveloppe bâtimementaire par les gaz toxiques** de l'incendie.

Les effets thermiques décroissent avec la distance et sont relativement modélisables (surtout le transfert radiatif prédominant à faible distance), dans les limites du domaine d'application évoqué précédemment. Une approche quantitative est possible pour bénéficier, dans la mise en place de protection, de cette atténuation de l'effet thermique par la distance. Toutefois, il reste la complexité et le grand nombre des foyers secondaires potentiels à prendre en compte.

Les brandons ont une portée nettement supérieure : des sautes de brandons de 200 m sont fréquentes au Sud-Est de la France, et de plusieurs kilomètres aux USA et en Australie, avec un record enregistré de 16 km sur un feu du Black Saturday de février 2009 en Australie [23]. L'effet de ces brandons n'est pas prédictible avec les modèles actuels, même si la littérature scientifique est très fournie depuis de nombreuses années sur le sujet (du fait de son caractère multi-échelle). L'approche doit donc être qualitative et sécuritaire pour la mise en protection, où les zones d'accumulation potentielles de brandons proches du bâtiment doivent être identifiées et ne pas être combustibles.

L'effet des gaz toxiques est également très complexe : bien que le feu a une base commune d'effluent (CO_2 , CO, etc.) la complexité des foyers secondaires engendre un spectre spécifique et très variable à chaque type de foyer secondaires et selon la composition du combustible (bois, plastique, etc.).

Étant données les difficultés pour évaluer la répartition des espèces chimiques réellement présentes durant un sinistre d'une part, et statuer sur leurs synergies toxicologiques d'autre part, on pourra par exemple baser les analyses de risque sur des critères contraignants. À ce titre, le traceur usuel utilisé dans les approches d'Ingénierie de Sécurité Incendie (ISI) est le monoxyde de carbone (CO). On pourra donc utiliser, en première approche, les seuils de toxicité donnés par la littérature, tout en tenant compte d'une marge de sécurité (cf. section 4.2.3).

Ces trois principaux effets, exposition thermique au front de flamme, pénétration des brandons et intoxication des personnes par pénétration des gaz toxiques, sont pris en compte dans le présent document.

4.2 Vulnérabilité et protection des bâtiments

Lors du passage du feu de forêt sur un bâtiment, la structure et les personnes présentes sur site sont soumises à trois types de vulnérabilité :

- la vulnérabilité aux effets thermiques ;
- la vulnérabilité à la pénétration par les brandons ;
- la vulnérabilité aux effets toxiques.

L'objectif premier de la mise en protection du bâtiment face à l'incendie de forêt est, en conformité avec la NT2015 [4] :

- le confinement pendant 30 min des personnes, donc des conditions de résistance structurelle, et de tenabilité thermique et respiratoire sur cette durée (défini comme l'objectif prioritaire par rapport à l'évacuation dans l'Ordre d'Opérations National [5]) ;
- puis une résistance plus long-terme de la structure.

Pour atteindre ces objectifs, on traite dans le présent guide :

- **pour les parties principales de l'ouvrage**, la mise en protection contre les effets thermiques des multiples foyers d'incendie (flamme en contact direct, rayonnement à distance, gaz chauds) :
 - par approche descriptive (NT2015 [4]) complétée,
 - ou bien par approche performantielle,
- **pour les autres éléments vulnérables de l'enveloppe**, la mise en protection contre la pénétration du feu et des brandons, par approche descriptive ;
- pour obtenir une atténuation suffisante de la pénétration par les gaz toxiques.

4.2.1 Effets thermiques

Les effets thermiques peuvent continuer à engendrer des dommages à la structure après les 30 min de confinement, notamment si le feu a pu installer des points chauds dans des parties non visibles du bâtiment, qui dégèneront en feu intérieur parfois plusieurs heures après l'intervention des secours (cf. **Figure 4-3**).

Figure 4-3

Différents instants du passage du feu lors d'un brûlage expérimental au Portugal sur une maquette (cabanon bois) d'habitation (collaboration Efectis/ Université de Coimbra)



(a) Passage du front de flamme sur l'habitation



(b) Le front de flamme s'est éloigné de l'habitation



(c) Déclenchement du feu intérieur longtemps après le passage du front de flamme



(d) Effondrement de l'habitation

Les critères qualitatifs utilisés pour la protection thermique des personnes pendant 30 min face au feu extérieur sont les suivants :

- non ruine des parois ;
- non destruction des vitrages, pouvant laisser pénétrer le feu ;
- non inflammation de la façade et de la toiture (pouvant entraîner la ruine de la toiture) ;
- non pénétration du feu dans le bâtiment, ce qui permet également un transfert latéral de personnes dans les pièces moins exposées, de manière à gagner le local de confinement. La pénétration du feu ne doit se faire :
 - ni par rayonnement trop important au travers des façades transparentes,
 - ni par échauffement trop important des façades opaques,
- dans le local de confinement, température de 60°C supportable pendant 30 min en moyenne dans la pièce pour les personnes confinées ;
- non création de points chauds dans le bâtiment, pour réduire les probabilités de dégâts après les 30 min par feu couvant déclenché sur les combustibles intérieurs non visibles (parois, etc.).

L'approche performantielle pour les principales parties de l'ouvrage permet d'évaluer le niveau de protection par trois types de moyens (qui peuvent être combinés) :

- par l'**approche performantielle simplifiée** entièrement explicitée dans ce document (*section 9.2.2*), qui vise à installer des distances suffisantes entre les foyers de l'incendie et les éléments constructifs de l'enveloppe ;
- par **essais en laboratoire de performance au feu** des éléments constructifs de l'enveloppe, en fonction de plusieurs niveaux d'exposition possibles pour le site ;
- par **étude numérique**.

Si les effets thermiques des foyers d'incendie sont traités en approche performantielle pour les parties principales de l'ouvrage, l'approche proposée par le présent guide est basée sur une approche similaire à celle déployée dans la norme australienne [10], dans le guide canadien [11] et dans l'approche FM Global aux USA [12], tout en employant des critères de protection basés sur le guide PPRT Français [13] et l'arrêté ICPE [2].

Ces éléments sont décrits en détail dans la *section 9.2*.

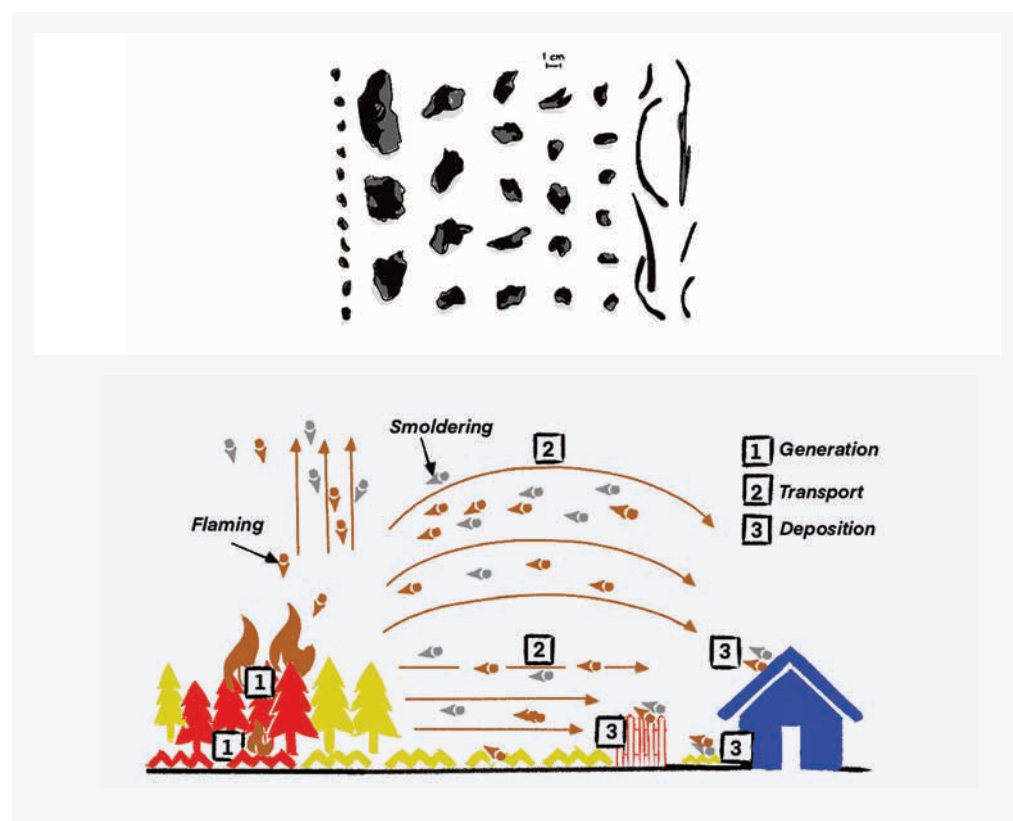
4.2.2 Pénétration par les brandons

La protection contre les brandons consiste à faire en sorte que :

- Les zones d'accumulation de brandons ne soient pas combustibles ;
- les ouvertures dans l'enveloppe soient obturées pour que les brandons de plus grosse taille ne puissent pas pénétrer.

Figure 4-4

Différentes formes et tailles de brandons collectés lors d'une pluie de brandons



Processus impliqués de la pluie de brandons issue d'un incendie de forêt - adapté de El Houssami et al. 2016 [21], Filkov et al. 2023 [22]

4.2.3 Effets toxiques

La protection contre les effets toxiques est également à traiter suivant la méthode et les prescriptions de protection décrites dans le « complément technique relatif à l'effet toxique » des guides PPRT [14].

La méthode est fondée sur l'analyse du niveau de perméabilité à l'air n50 de la pièce refuge, exprimé en vol/h (plus précisément : $\text{m}^3/(\text{hxm}^3)$), et qui représente le taux de fuite d'air d'une pièce placée sous une pression de 50 Pa. Cet indicateur est utilisé en réglementation thermique des bâtiments (labels BBC Effinergie, Maison Passive etc.).

Un niveau critique de perméabilité à l'air doit être déterminé qui va permettre le moins d'échanges possibles entre l'air extérieur soumis au panache toxique et l'air intérieur. Le « complément technique relatif à l'effet toxique » des guides PPRT [14] fournit des abaques dépendant de trois paramètres :

- la typologie du bâtiment ;
- le fait que la pièce de confinement soit exposée ou abritée du vent ;
- les conditions météorologiques.

et qui relie ce niveau critique de perméabilité de l'air au niveau critique d'atténuation de l'air, qui est le ratio entre l'exposition aux gaz toxiques en air intérieur et l'exposition aux gaz toxiques en air extérieur.

En situation d'incendie de forêt, on considèrera l'abaque de la situation météorologique 10D (vitesse de vent égale à 10 m/s, atmosphère neutre). Pour la typologie de bâtiment, on se référera aux catégories fournies dans le « complément technique relatif à l'effet toxique » des guides PPRT [14]. Pour l'exposition au vent, si le confinement porte sur le bâtiment entier (cf. *section 7* du présent guide), on le supposera de facto exposé au vent. Pour lire dans l'abaque sélectionnée le niveau critique de perméabilité de l'air à ne pas dépasser (cf. **Figure 4-5**), il convient donc au préalable de déterminer le niveau critique d'atténuation de l'air.

En toute rigueur, le niveau critique d'atténuation de l'air se détermine à partir des concentrations de l'ensemble des gaz toxiques présents dans le panache de fumée. Le principal contributeur à ces effets toxiques étant de loin, pour les incendies de forêt (combustion du bois), le monoxyde de carbone (CO), une approche suffisamment conservatrice consiste à calculer ce niveau critique d'atténuation de l'air uniquement sur la base du CO.

Le niveau critique d'atténuation de l'air se calcule alors comme le ratio entre :

- la concentration de CO évaluée en air extérieur dans le panache de fumée, en maximum sur 30 min ;
- la concentration de CO supportable en air intérieur, qui est définie comme le seuil des effets irréversibles sur 30 min, ou SEI30 du CO, défini par l'arrêté du 29 septembre 2005 portant sur les seuils de toxicité [2] : sa valeur est de 1500 ppm.

À la connaissance des auteurs, la bibliographie ne comporte que très peu de valeurs de référence en ce qui concerne les concentrations de CO auxquelles est soumis un bâtiment lors d'un incendie de forêt.

Les mesures de CO sur incendies de forêt qui sont référencées dans la bibliographie sont souvent mesurées à des niveaux peu élevés, car les prélèvements sont réalisés :

- soit au sol mais en restant à des distances suffisantes pour que les niveaux soient acceptables (< 5 ppm) pour ne pas faire prendre de risques professionnels aux pompiers (Miranda et al., 2004 [33]) ;
- soit par des capteurs embarqués sur drone ou avion, qui passent très haut dans le panache de fumée, loin de la zone de flammes, et s'en trouvent très diluées (quelques ppm) (Ragbir et al., 2023 [36]) ;
- soit par des estimations indirectes à partir d'imagerie satellite, et s'en trouvent également très diluées (quelques ppm ou dixièmes de ppm) (Sukitpaneemit and Oanh (2013) [37]).

La modélisation de pollution atmosphérique par les incendies de forêt fournit elle aussi des concentrations de CO très diluées (ex. : Surkova et al., 2014 [38]), car les modèles utilisés sont surtout des modèles d'effets en champs lointain, à plusieurs kilomètres de distance (ex : ville la plus proche) et sont donc basés sur des grilles de calcul à résolution grossière (quelques centaines de mètre à minima).

La seule référence trouvée (Barnard and Weber, 1979 [39]) évoque des concentrations atteignant 3 000 ppm. Une approche conservative consiste à retenir comme concentration de CO extérieure le seuil des effets létaux pour 1% de la population exposée, à savoir 4 200 ppm [2]. Dans cette hypothèse, le niveau critique d'atténuation de l'air s'établit donc à une valeur de 0.35.

Avec ce niveau critique d'atténuation de l'air, on lit dans l'abaque le niveau critique de perméabilité de l'air à ne pas dépasser. On établit alors, par le biais d'un organisme compétent, le niveau de perméabilité de l'air de la pièce ou du bâtiment :

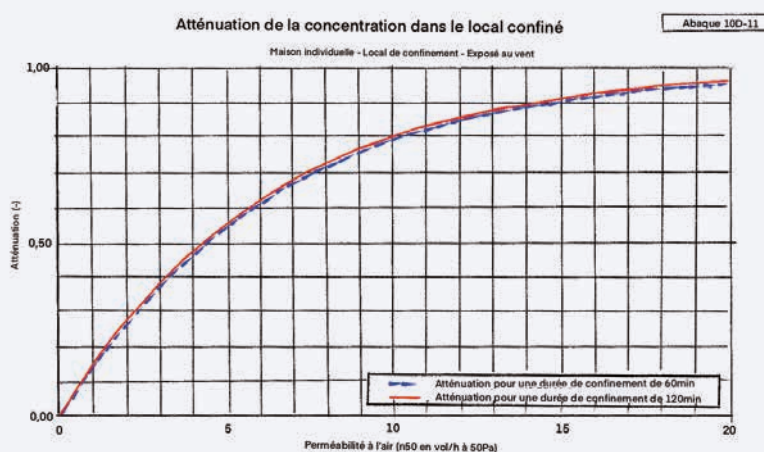
- pour un bâtiment existant, un test d'infiltrométrie ;
- pour un projet de bâtiment, un calcul de perméabilité de l'air.

Ceci permet de déterminer si la perméabilité de l'air est bien située en deçà du seuil critique de perméabilité de l'air.

Si ce n'est pas le cas, on applique, avec l'aide de l'organisme compétent, les différentes mesures de calfeutrement indiquées dans le « complément technique relatif à l'effet toxique » des guides PPRT [14], qui visent à réduire la perméabilité de l'air sous le seuil acceptable. Précisons que les autres effluents toxiques présents en minorité à côté du CO dans le panache de fumées, mais qui peuvent être des irritants, sont atténués de la même proportion que le CO lorsqu'on applique l'atténuation de l'air visée.

Figure 4-5

Abaque mettant en relation
l'atténuation de l'air et
la perméabilité à l'air pour
une maison individuelle
exposée au vent,
en conditions
météorologiques 10D -
adapté des guides PPRT [14]





La mise en protection se fait selon la séquence suivante (cf. **Figure 5-1**) :

- identifier le zonage réglementaire pour savoir si la constructibilité est acquise (cf. *section 6*) ;
- si la constructibilité est avérée : ➔

pour les parties principales de l'ouvrage :

- faire le choix de l'approche (descriptive ou performantielle) pour l'exposition thermique. Si l'approche performantielle est choisie, il faut sélectionner l'approche simplifiée ou optimale, puis la **stratégie** de protection thermique déterminant sur quoi faire porter la protection. Enfin il faut choisir les critères et pour combien de temps cette protection doit être efficace.
- faire l'**inventaire des composants vulnérables (cibles)** au feu de l'enveloppe bâtiminaire, à mettre en protection. Pour l'approche performantielle : faire l'inventaire des foyers (primaire et secondaires) impactant l'enveloppe bâtiminaire et le calcul du niveau d'exposition,
- définir la **mise en protection** des cibles vis-à-vis de l'effet thermique :
 - dans l'approche descriptive : choisir des matériaux pour obtenir un renforcement de la protection des structures contre l'incendie ;
 - dans l'approche performantielle : mettre en place des distances de recul des différents foyers (massif forestier, foyers secondaires, etc.) par rapport à la structure, suivant deux options possibles :
 - **approche simplifiée sécuritaire** : méthode de calcul entièrement décrite dans le présent guide,
 - **approche optimale plus complexe** : étude numérique ou essais en laboratoire de performance au feu (par un organisme ayant les compétences requises uniquement),

NB : lorsque l'approche performantielle conduit à des distances de recul d'éléments combustibles qui ne sont pas réalisables en pratique dans le projet de construction ou pour le bâtiment existant, on doit refaire l'analyse en approche descriptive.

pour les autres éléments, mise en œuvre des dispositions de protection prescrites sur ces éléments (effets thermiques sur les points singuliers de l'enveloppe bâtiminaire, protection contre les brandons).

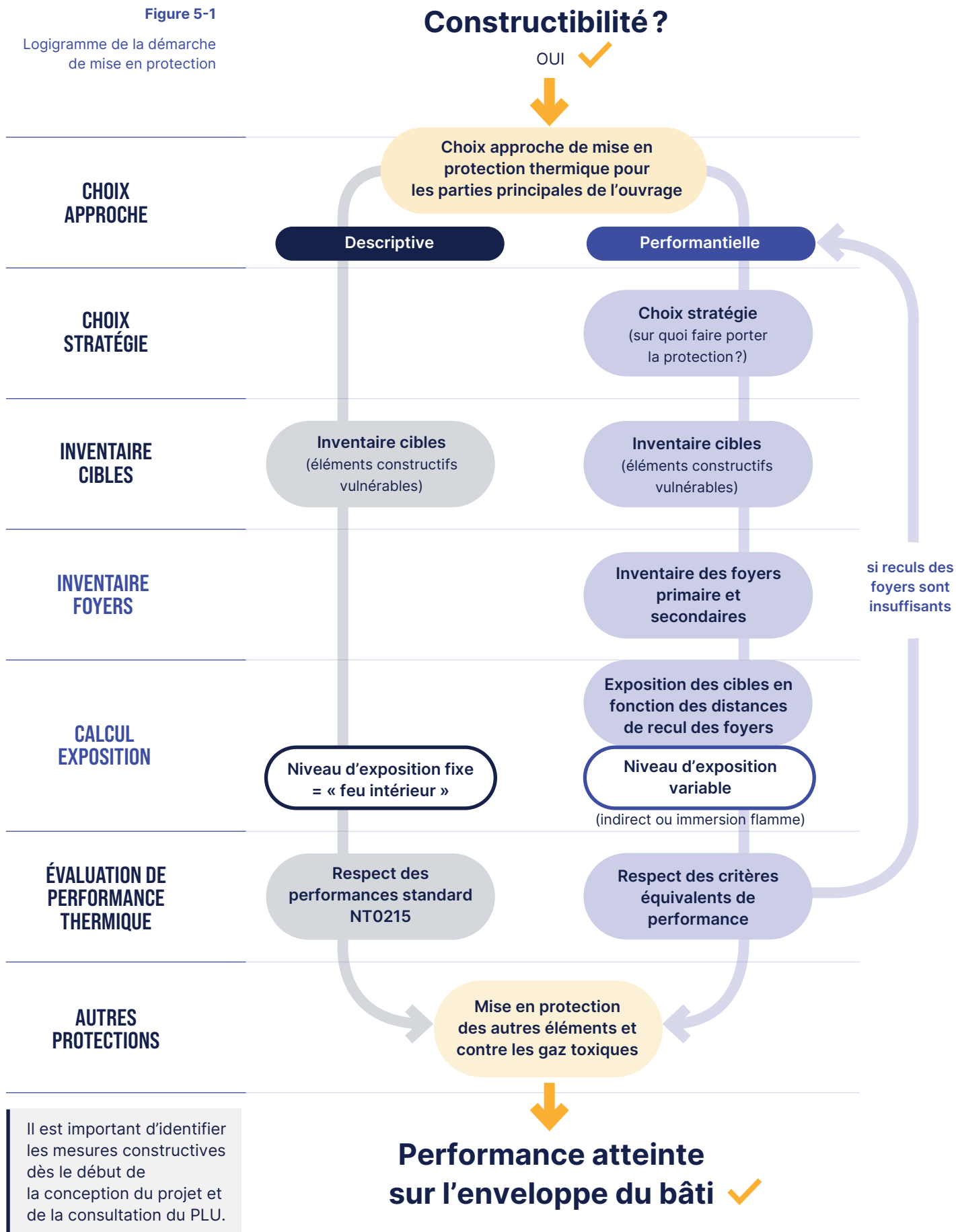
Comme indiqué plus haut, la protection n'est pas décrite en détail dans le présent guide, elle est à traiter suivant la méthode et les prescriptions de protection décrites dans le « complément technique relatif à l'effet toxique » du guide PPRT [14].

La méthode consiste à :

- évaluer la perméabilité à l'air (n_{50}) du bâtiment (par mesure d'infiltrométrie) qui permet de viser un objectif de non-toxicité, en fonction de la typologie d'activité du bâtiment (habitation, ERP, etc.) ;
- appliquer des mesures de protection (calfeutrement, etc.).

Figure 5-1

Logigramme de la démarche
de mise en protection





Tout bâtiment, pour tout type d'activités, qui est situé sur une « commune à risques » doit faire l'objet d'une prise en compte de l'incendie de forêt dans les interactions avec les services de l'urbanisme (permis de construire, d'aménager, etc.).

Dans chaque département français, les « communes à risques » d'incendie de forêt sont listées dans le Dossier Départemental des Risques Majeurs (DDRM téléchargeables sur les sites des préfectures). Une commune à risque doit également disposer de deux documents qu'il convient également de consulter : un Plan Communal de Sauvegarde (PCS) et un Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs (DICRIM).

Cinq cas différents se présentent, en complément du dispositif pour la prévention contre les incendies de forêt dans la « commune à risque » :

- **la commune peut disposer d'un document de PPRIF** (cf. ex. en [Figure 6-1](#)), qu'on trouve annexé au PLU de la commune : il définit un zonage opposable légalement à la construction :
 - les zones classées en rouge ne sont pas constructibles,
 - les zones classées en bleu (ou violet) sont des zones constructibles sous conditions précisées dans le règlement du PPRIF à consulter (certaines zones en bleu dites « B0 » dans les Alpes-Maritimes ne permettent de construire qu'un certain type de bâtiment, excluant par exemple les Établissements Recevant du Public (ERP) ;
- **la commune ou le département peut disposer d'un document de PAC**, également annexé au PLU de la commune : il tient alors lieu d'information sur les niveaux de risque, sans que le zonage soit opposable à la construction, mais il pourra clairement orienter la connaissance du maître d'ouvrage sur le point de vue de l'acteur public quant à la constructibilité ;
- **la commune dispose d'une carte d'aléa Feu de Forêt** (généralisation en cours au territoire métropolitain) par la loi n° 2023-580 du 10 juillet 2023 visant à renforcer la prévention et la lutte contre l'intensification et l'extension du risque incendie) ;
- **les espaces sont situés à moins de 200 m de terrains en nature de bois et forêt, appelés « zones exposées »** (article R133-5 du Code forestier) générant une obligation légale de débroussaillage qui s'applique dans ces espaces, cette cartographie est annexée aux plans locaux d'urbanisme ou aux documents d'urbanisme (article L134-15 du Code forestier) ;
- pour tous les autres cas, la commune ne fait pas l'objet d'un document spécifique : il n'y a pas de zonage et la commune est alors soumise au **cadre général de la Note Technique de 2015** (NT2015) [\[4\]](#).

La constructibilité passe ensuite par la vérification du respect des mesures de défendabilité (moyens publics et moyens privés).

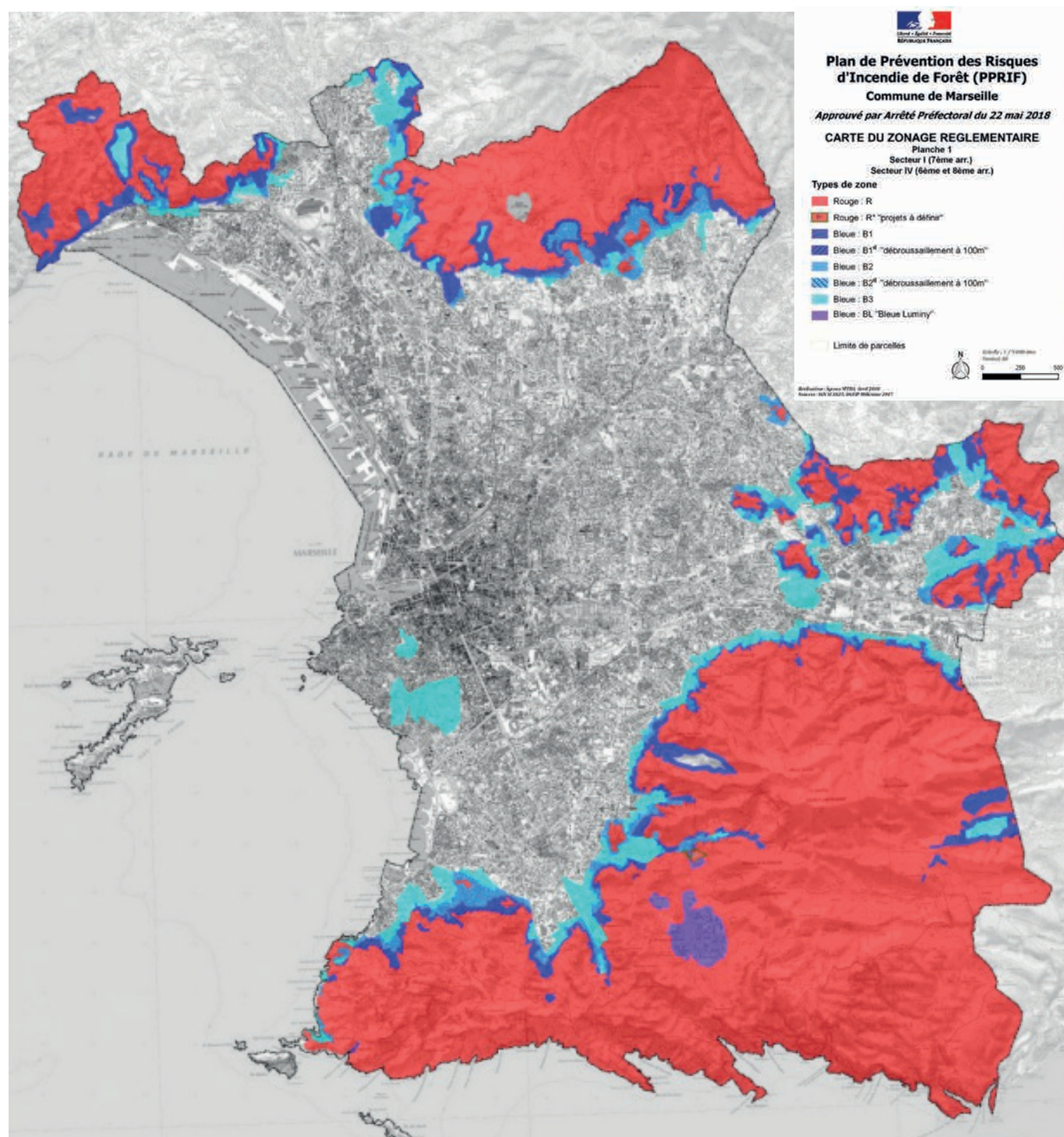


IMPORTANT

Toutes les mesures de défendabilité (accès, points d'eau d'incendie, obligations légales de débroussaillage) décrites dans la NT2015 (*annexe 5.2*) doivent d'abord être respectées autour du bâtiment existant ou futur, pour acter de la constructibilité, avant de s'intéresser aux mesures constructives.

Figure 6-1

Carte du zonage PPRIF
de Marseille
source : DDTM13



STRATÉGIE

4



Si le projet peut réglementairement faire l'objet de l'approche performantielle pour la protection des principales parties de l'ouvrage face aux effets thermiques, le présent guide fournit une méthode pour déterminer quelles mesures de recul il convient de prendre pour protéger un bâtiment contre ces effets, sans nécessité de renforcer ce bâtiment. Dans ce cas, il convient en premier lieu de déterminer la stratégie de protection, c'est à dire quelle partie du bâtiment est à protéger et pendant combien de temps.

Lorsque la constructibilité est acquise (cf. *section précédente*), c'est par défaut **l'approche descriptive** qu'il convient d'appliquer pour les mesures constructives, telle qu'elle est explicitée dans l'annexe 5.3 de la NT2015 [4]. La stratégie de protection y est indépendante de l'environnement du site et de l'exposition du bâtiment, puisque le feu de forêt est considéré équivalent à une courbe standard de feu intérieur (courbe ISO 834).

L'approche performantielle peut être choisie comme alternative pour évaluer la protection des principales parties de l'ouvrage face aux effets thermiques lorsque le contexte réglementaire permet une ouverture réglementaire (conditions explicitées précédemment à la *section 3.2*) : les performances y dépendent du niveau d'exposition, ce qui demande donc de déterminer ce niveau en fonction de l'environnement combustible du bâtiment.

En **approche descriptive**, c'est l'enveloppe du bâtiment qui doit être soumise aux protections constructives.

En **approche performantielle**, les stratégies suivantes peuvent être choisies – sans hiérarchisation.

(cf. **Figure 7-8**)

Figure 7-8

Stratégies de protection

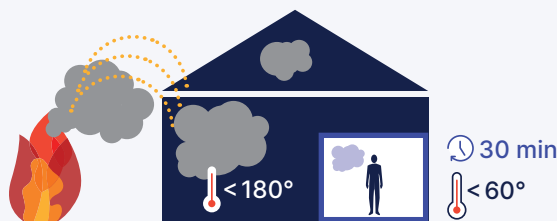
Stratégie 1

Protection des personnes pendant 30 min dans une zone refuge extérieure au bâtiment (bâtiment potentiellement en feu) ;



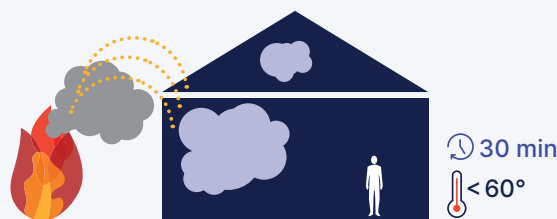
Stratégie 2

Protection des personnes pendant 30 min dans un local de confinement interne au bâtiment, avec protection également de l'enveloppe du bâtiment pour qu'il n'y ait de risque de ruine du bâtiment sur le local pendant les 30 min (le bâtiment peut prendre feu intérieurement et ruiner plus tard) ;



Stratégie 3

Protection des personnes pendant 30 min dans le bâtiment ;



Stratégie 4

(équivalente à la stratégie de la NT2015)

Protection des personnes pendant 30 min dans le bâtiment, avec en plus garantie de non création de points chauds dans le bâtiment (« **non pyrolyse** » des éléments combustibles non visibles de l'enveloppe) pendant 24 h, réduisant considérablement le risque de ruine ultérieure du bâtiment.





Nous désignerons par « **élément cible** » tout composant constructif de l'enveloppe bâ-
timentaire qui constitue un point de vulnérabilité de l'enveloppe et est donc à protéger,
parce que :

- comportant au moins un élément combustible dans sa composition, susceptible de céder (dégradation avec ou sans inflammation) sous l'agression thermique ;
- ou bien constituant directement une entrée dans l'enveloppe.

Si cette cible n'est pas suffisamment protégée et ne fait pas obstacle au feu, deux phé-
nomènes apparaissent :

- soit les gaz toxiques, flammes, ou brandons sont susceptibles de rentrer dans le bâtiment et mettre en danger l'intégrité des personnes confinées ;
- soit un feu couvant s'installe dans les parties non visibles de l'enveloppe (isolant, combles non aménagés, etc.), qui conduira à un feu intérieur dans un second temps.

Suivant la stratégie de protection thermique choisie (cf. *section précédente*), on fera porter la protection :

- en **stratégie 1**, sur les cibles de l'enveloppe du refuge extérieur ;
- en **stratégie 2**, sur les cibles de l'enveloppe du local de confinement, et également, pour la non-ruine, sur les cibles du bâtiment contenant ce local ;
- en **stratégie 3**, sur les cibles de l'enveloppe du bâtiment (le confinement se fait dans le bâtiment entier) ;
- en **stratégie 4**, on renforcera la protection pour éviter la pyrolyse dans les éléments invisibles combustibles du bâtiment (typiquement isolants, etc.).

Il convient d'inventorier toutes les cibles composant l'enveloppe bâ-
timentaire (cf. **Table 8-1**), suivant les deux grandes catégories de cibles :

1/ les parties principales d'ouvrage :

- a/ **les parois verticales extérieures**, décomposées en :
parois opaques, incluant murs porteurs, parois non porteuses, ajout des revêtements-parements de façades, ETICS, etc.), menuiseries (incl. châssis et obturations),
- b/ **les toitures**, décomposées en :
couverture (interface avec l'air extérieur), support de couverture (étanchéité, isolant, charpente, etc.).

2/ les éléments particuliers :

- a/ **les éléments traversants** :
cheminée, ventilation, gaines techniques, chemin de câbles etc. ;
en aérien ou en enterré si mise à l'air dans les 100 m.
- b/ **les éléments rapportés à l'enveloppe** bâ-
timentaire :
vérandas, auvents, etc.
- c/ **les points singuliers ou « interfaces »** :
jonction toiture-paroi,
jonctions paroi-menuiseries, etc.

Table 8-1

Catégories de cibles et correspondances
entre le présent guide et la [NT2015 annexe 3 \[4\]](#)

GRANDES CATÉGORIES DE CIBLES	CATÉGORIES DE CIBLES	SOUS-CATÉGORIES DE CIBLES PRÉSENTES DANS L'ANNEXE 5.3 DE LA NT2015	SOUS-CATÉGORIES DE CIBLES SUPPLÉMENTAIRES (NON TRAITÉES PAR LA NT2015)
Parties principales d'ouvrage	Parois verticales (mix transparentes et opaques)	Parois verticales opaques (murs)	
		Ouvertures des parois verticales	
	Toitures	Toitures	
Éléments particuliers	Éléments traversants	Aérations	
		Cheminées	
		Conduites et canalisations extérieures apparentes	
			Autres gaines techniques entrant dans l'enveloppe (climatisation, câbles électriques, etc.)
	Éléments rapportés	Gouttières et descentes d'eau	
		Auvents et éléments en surplomb	
			Autres éléments rapportés (balcons, etc.)
			Grimpants
	Points singuliers	Jonctions toiture-paroi (débords de toiture)	
			Jonctions paroi-sol (margelle baie vitrée, pied de porte, etc.)
			Jonctions paroi-élément rapporté au sol (terrasse, deck piscine, etc.)
			Jonctions paroi-menuiserie (volet roulant, margelle fenêtre, etc.)

Suivant l'approche choisie, plusieurs éléments d'information sont à collecter sur chaque cible :

- pour les approches performantielles simple ou complexe :
 - pentes du terrain entre les éléments de combustion (foyers) et les éléments cibles de l'enveloppe du bâtiment,
- pour l'approche performantielle complexe, faisant l'objet d'une étude par un organisme ayant les compétences requises :
 - composition matérielle précise de chaque élément cible,
 - la hauteur du milieu de la cible mesurée par rapport au pied de façade,

Dans l'approche performantielle simplifiée, la hauteur du milieu de cible n'est pas prise en compte : pour des bâtiments de faible hauteur (< 2 étages), ce paramètre ne joue pas de manière significative (cf. [Figure 8-1](#)). Si le bâtiment comporte 2 étages ou plus, il convient de revenir à une approche performantielle complexe.



IMPORTANT

Il convient d'indiquer dans les contraintes d'exploitation du bâtiment de bien fermer les ouvrants et les éventuels occultants lorsqu'il y a une alerte incendie de forêt, sans quoi l'effet de protection qu'ils apportent est réduit à néant.

Table 8-2

Types de matériau les plus
répandus dans la composition
de chaque type de cible

Les principaux matériaux
rencontrés dans les par-
ties principales et dans les
éléments particuliers de
l'ouvrage sont listés dans la
Table 8-2 ci-dessous.

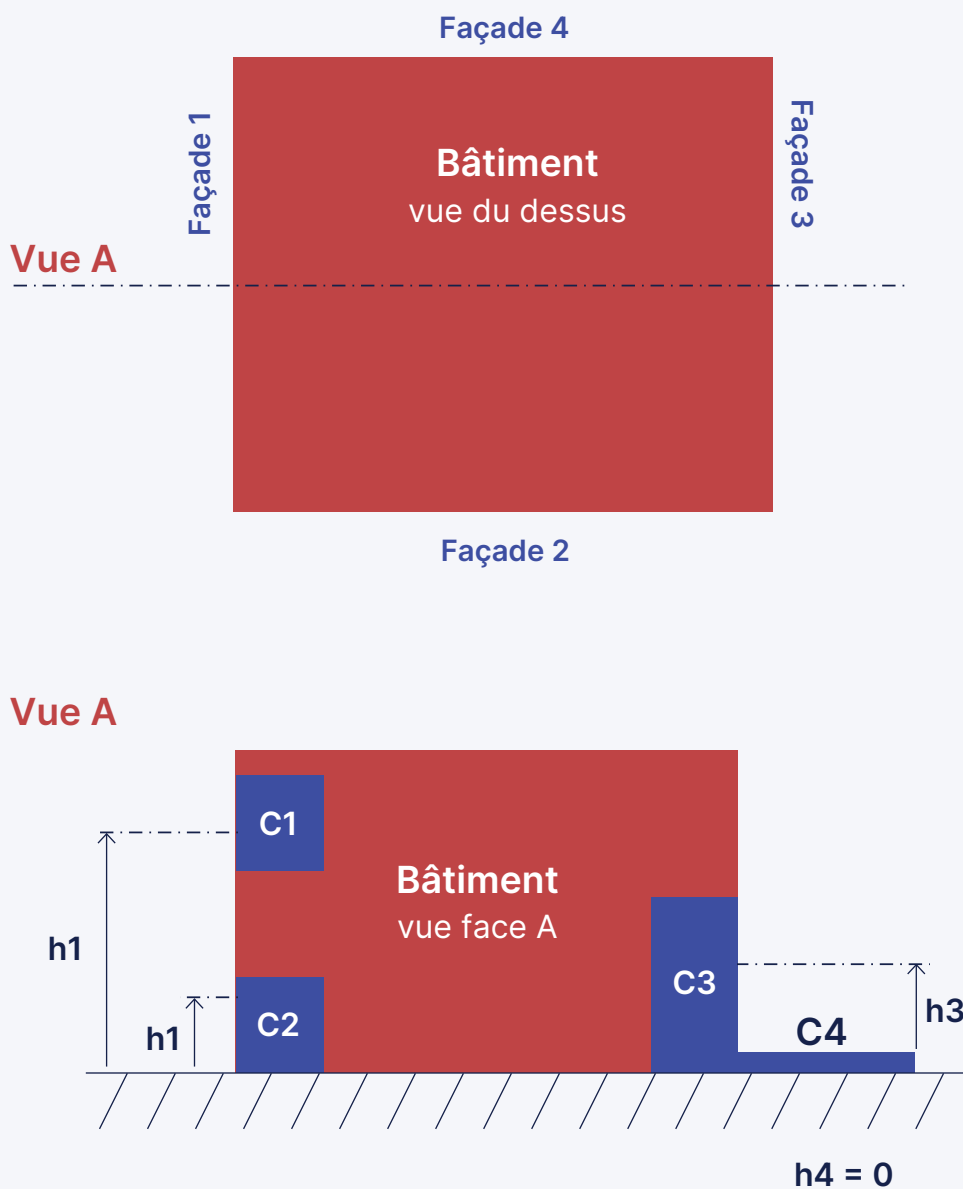
Les éléments particuliers
comportent :

- les éléments traversants ;
- les éléments rapportés ;
- les interfaces.

CATÉGORIE DE CIBLE	SOUS-CATÉGORIE DE CIBLE	MATÉRIAUX DANS LA COMPOSITION
Parois verticales	Parois verticales opaques (murs)	Maçonnerie (brique en terre cuite, blocs béton)
	Parement, bardage	Produit bois ou biosourcé Produit plastique
	Isolation extérieure de paroi verticale	Enduit + PSE
	Isolation intérieure de paroi verticale	Air et plâtre ¹ PSE et plâtre Laine de roche et plâtre Bois-biosourcé et plâtre
	Châssis de menuiseries	Bois / PVC Aluminium
	Vitrages de menuiseries	Double vitrage Double vitrage performance thermique Double vitrage feu
	Occultants de menuiseries	Bois / PVC / Aluminium
	Portes extérieures	Bois / PVC / Aluminium
Toitures	Couverture de toiture	Tuile de terre cuite / Tuile béton Métal (bac acier)/ Bitume Membranes d'étanchéité (PVC, caoutchouc EPDM, polyoléfinés)
	Charpente de toiture	Béton / Acier / Bois
Éléments traversants	Aérations	N/A
	Cheminées	N/A
	Conduites et canalisations extérieures apparentes	N/A
	Autres éléments traversants entrant dans l'enveloppe (canalisation de fluides, climatisation, câbles électriques, etc.)	N/A
Éléments rapportés	Auvents et éléments en surplomb	Bois / Acier / Béton
	Autres éléments rapportés (balcons, etc.)	Bois / PVC Acier / Béton
	Grimpants	Végétation
	Gouttières et descentes d'eau	PVC / Aluminium, Zinc
Interfaces	Jonctions toiture-paroi (débords de toiture)	Bois Béton
	Jonctions paroi-sol (margelle baie vitrée, pied de porte, etc.)	Béton Lame d'air
	Jonctions paroi-élément rapporté au sol (terrasse, deck piscine, etc.)	Béton Bois
	Jonctions paroi-menuiserie (volet roulant, margelle fenêtre, etc.)	PVC / Béton Aluminium / Acier

Figure 8-1

Exemple de repérage des
cibles et de leurs hauteurs par
rapport au pied de façade

**Exemple**

- C1** : menuiserie 1^{er} étage
- C2** : porte entrée
- C3** : baie vitrée jardin
- C4** : deck piscine

PROTECTION DES PARTIES PRINCIPALES

6



9.1 | Approche descriptive

Pour rappel

• les performances constructives de protection contre les effets thermiques pour les catégories de cibles sont définies par l'annexe 5.3 de la NT2015, qui sont rappelées dans la **Table 9-1**

• les solutions techniques permettant de répondre à ces performances sont décrites dans le [guide Envirobat-BDM \[15\]](#).

Table 9-1

Rappel des critères de performances attendus dans l'approche descriptive (NT2015)

CATÉGORIES DE CIBLES DANS LE PRÉSENT DOCUMENT	CATÉGORIES DE CIBLES DE L'ANNEXE 5.3 DE LA NT2015	MESURES DE PROTECTION (PERFORMANCES DEMANDÉES)
Parois (mix transparentes et opaques)	Parois verticales opaques	1/ Parois opaques non composites : PF ½h-E30 et C-s3,d0 2/ Parois opaques composites : présence devant élément combustible d'un écran thermique E30 et A2-s1,d0 (M0). L'élément combustible ne doit pas pouvoir entrer en pyrolyse une fois placé derrière l'écran thermique
	Ouvertures des parois verticales	E30 (à faire porter préférentiellement sur occultants)
Toitures	Toitures	Broof(t3) (incluant panneaux photovoltaïques) Si couche combustible, installer écran protecteur A2-s1,d0 (M0)

Sur ces éléments, les précisions suivantes sont nécessaires :

1/ Pour les parois opaques composites, la « non pyrolyse derrière écran » n'est pas définie avec précision en termes d'essais à réaliser ou de critères de performance à atteindre dans la NT2015 (ni dans les PPRIF).

L'interprétation proposée ici consiste à réaliser les étapes suivantes :

- obtenir comme écran thermique un produit classé au moins E30 et A2-s1,d0 (ou M0) ;
- **essai n°1** : effectuer un test de température derrière l'écran thermique seul : à réaliser en four, avec sollicitation thermique suivant le standard ISO 834. On doit relever en 30 min le maximum de température mesurée en face non exposée de l'écran. Si l'écran est déjà classé EI30, on peut s'affranchir de cet essai et l'hypothèse que la température en face non-exposée est en moyenne de 140°C+température ambiante et au maximum 180°C+température ambiante est acquise.
- **essai n°2** : effectuer un test de température de pyrolyse (ATG) sur l'élément combustible seul : mesurer la température de pyrolyse du combustible choisi pour être mis derrière l'écran thermique, et vérifier que cette valeur est bien inférieure de 5 % à la température derrière écran thermique mesurée par le précédent essai.

De cette manière, le combustible derrière écran ne subira pas la création de points chauds. Notons que pour un écran classé EI30, il peut être intéressant d'effectuer tout de même le test de température derrière écran si on souhaite mesurer une élévation de températures plus basse que 180°C. Si l'élévation de température s'avère plus basse, cela donne plus de possibilité pour le choix du produit combustible derrière écran.

À noter

Le dispositif d'occultation des ouvrants E30 ajoute une protection supplémentaire mais ne protège pas non plus de l'inflammation d'éléments combustibles situés derrière l'ouvrant et son occultant.

2/ Pour les parois transparentes et opaques, le fait qu'elles doivent être choisies E30 ne protège pas de l'inflammation d'éléments combustibles situés derrière ces parois, car la température atteinte derrière ces parois n'est pas limitée avec ce type de classement. Certains PPRIF ont corrigé ce problème en prescrivant une performance EI30, ce qui garantit la non-inflammation dans le bâtiment, mais ne permet pas non plus un confinement de personnes sur une durée de 30 min derrière ces parois.

Il conviendrait de préciser que les conditions derrière une performance EI30 ne sont supportables que pour des personnes en transfert latéral vers une pièce de confinement. En cas de doute, il est préconisé de faire réaliser une étude par organisme ayant les compétences requises.

9.2 | Approche performantielle

L'approche performantielle vise à éloigner suffisamment les éléments combustibles mis à feu par l'incendie de forêt (massif forestier, foyers secondaires naturels ou artificiels proches du bâtiment) pour atteindre des critères équivalents de performance.

On rappelle que deux déclinaisons sont proposées pour l'approche performantielle dans le présent guide :

- **approche performantielle optimale** : les exigences de performances à observer sont indiquées dans le présent guide, et les critères de performance attendus pour une étude numérique ou pour des essais en laboratoire de performance au feu sont également indiqués. Cette étude numérique ou ces essais sont à faire réaliser par un organisme ayant les compétences requises de résistance et réaction au feu ;
- **approche simplifiée sécuritaire** : pour les mêmes exigences de performances à observer quand dans l'approche performantielle optimale, les critères de performances attendus sont choisis comme étant plus sécuritaires et vont pouvoir faire l'objet d'une évaluation entièrement décrite à l'aide d'abaques dans le présent guide (*section 10*) ;

Les paragraphes de cette section décrivent ces deux approches.

9.2.1 | Approche performantielle optimale

Suivant les foyers secondaires, le feu agressant la structure sera de durée variable, pouvant aller :

- de quelques min (cas de végétaux fins) ;
- à ½h ou plus (foyer secondaire artificiel très chargé en combustible).

L'organisme ayant les compétences requises pourra choisir pour vérifier les critères une combinaison :

- d'essais en laboratoire (peu courant car actuellement seuls des laboratoires Australiens proposent des essais avec exposition variable) ;
- d'approches numériques, en réalisant des calculs (1) d'exposition multi-foyers puis (2) de transfert thermique des parois bâtementaires, à l'aide d'outils numériques adaptés et validés ;

Les critères thermiques par cible pour l'approche performantielle optimale, sont exprimés dans la **Table 9-2**. Comme dans l'approche PPRT [13], on exprime les seuils quantitatifs correspondants aux critères :

- **en dose thermique reçue** (au sens de l'arrêté du 29 septembre 2005 [2]), lorsque l'agression thermique est transitoire, c.-à-d. si l'ensemble des foyers brûlent en moins de 2 min ;
- **en flux thermique reçu**, lorsque l'agression thermique est continue, c.-à-d. si l'ensemble des foyers brûlent en plus de 2 min (approche sécuritaire).

Les seuils de ruine et de non-inflammation de parois et toitures sont tirées du guide PPRT [13]. Le seuil de destruction du vitrage est tiré de Vacca et al (2020) [28]. Ces seuils sont pris pour que la protection soit réputée acceptable pour tout type de matériau constitutif.

Table 9-2

Critères de performances à évaluer dans l'approche performantielle optimale

sources :

- (a) Guide Canadien CNRC (2021),
(b) Arrêté ICPE (2005),
(c) Vacca et al (2020)

CRITÈRE N°	ENJEU DE PROTECTION PENDANT 30 MIN	FACE DE LA CIBLE SUR LAQUELLE PORTE LE CRITÈRE	CRITÈRE À OBSERVER POUR EXPOSITION DE 2 MIN	CRITÈRE À OBSERVER POUR EXPOSITION DE 30 MIN
1a	Non ruine structurelle (hors béton)	Face exposée au feu	Flux reçu < 25 kW/m ² (a)	Flux reçu < 8 kW/m ² (b)
1b	Non ruine structurelle béton	Face exposée au feu	OK pour tous les cas	Flux reçu < 20 kW/m ² (b)
2	Non ruine des vitrages	Face exposée au feu	3 critères à vérifier : (c) Dose thermique < 1 840 (kW/m ²) ^{4/3} s, ΔT (milieu-bordure) < 58°C, Température vitrage < 150°C	3 critères à vérifier : (c) Flux reçu < 8 kW/m ² , ΔT (milieu-bordure) < 58°C, Température vitrage < 150°C
3	Non inflammation de la façade ou de la toiture	Face exposée au feu	Flux reçu 25 < kW/m ² (a)	Flux reçu < 8 kW/m ² (b)
4	Non pénétration du feu dans le bâtiment	Face non-exposée au feu	$T_{\text{maximale}} < 180^{\circ}\text{C} + T_{\text{ambiant}}$ $T_{\text{moyenne}} < 140^{\circ}\text{C} + T_{\text{ambiant}}$	Idem 2 min
5	Température supportable en confinement	Face non-exposée au feu	$T < 60^{\circ}\text{C}$ en moyenne dans le volume de la pièce	$T < 60^{\circ}\text{C}$ en moyenne dans le volume de la pièce
	ENJEU DE PROTECTION LONG-TERME			
6	Non pyrolyse des composants combustibles situés derrière leur écran thermique	À l'interface entre la face non exposée de l'écran thermique et l'élément combustible	2 critères : 1/ Écran thermique : A2-s1,d0 et EI30 2/ T° (pyrolyse de l'élément combustible) > T° (face non exposée de l'écran thermique) + 20 %	Idem 2 min

Essais en laboratoire

L'organisme ayant les compétences requises vérifiera que les critères sont respectés en réalisant par essai, la mesure des critères de performance pour les éléments cibles, en imposant différents niveaux d'exposition possibles pour le site.

Approche numérique

Suivant les cas, on observe que les critères listés ci-dessus sont évalués soit en face exposée soit en face non exposée au feu. Lorsqu'ils sont exprimés pour la face non exposée de l'enveloppe, on doit supposer la connaissance des caractéristiques des matériaux de la paroi (capacité thermique, conductivité thermique, masse volumique, etc.) afin de calculer le transfert thermique au travers de cette paroi.

L'étude emploiera :

- pour le calcul d'exposition des cibles à partir des foyers multiples, on emploiera un logiciel de propagation de l'incendie de forêt dans les 100 derniers mètres avant impact sur le bâtiment, tel que le « Fire Dynamics Simulator » (FDS) du NIST (USA), ou tout autre logiciel de CFD en mesure d'effectuer un calcul de flux résultant radiatif reçu par l'enveloppe du bâtiment. Cette modélisation permettra de rendre compte des phases de pré-impact, impact et post-impact du feu de forêt sur le bâtiment ;
- pour le calcul de transfert thermique, on emploiera un logiciel FEM approprié.

Si l'exposition globale n'est que de 2 min, les flux reçus sont à intégrer dans le temps pour déterminer la dose thermique.

À noter

Lors de l'approche performantielle optimale, l'organisme ayant les compétences requises pourra également se rapporter à la section « approche performantielle simplifiée » et aux éléments de calcul présentés en Annexe A pour certains foyers pouvant se rapprocher des foyers typiques couverts par l'approche performantielle simplifiée.

9.2.2 Approche performantielle simplifiée

Le principe de cette approche consiste, pour chaque cible, à éloigner suffisamment les foyers de la cible (primaire et secondaires) afin que l'exposition descende en dessous d'un seuil critique d'exposition. Dans cette approche (cf. **Figure 9-1**), les critères thermiques sont pris plus sécuritaires que dans l'approche performantielle optimale et sont convertis en seuils critiques d'exposition (cf. étape 4 ci-dessous).

L'approche performantielle simplifiée, réalisable à la simple lecture de ce guide, doit être conduite dans la **séquence réursive suivante** (cf. schéma) :

ÉTAPE 1

Caractérisation des foyers primaire et secondaires impactant les éléments cibles du bâtiment, par identification à des foyers types aux propriétés de combustion prédéfinies ;

ÉTAPE 2

Localisation et caractérisation des foyers autour du bâtiment ;

ÉTAPE 3

Calcul de l'exposition multi-foyers résultante au niveau de chaque cible ;

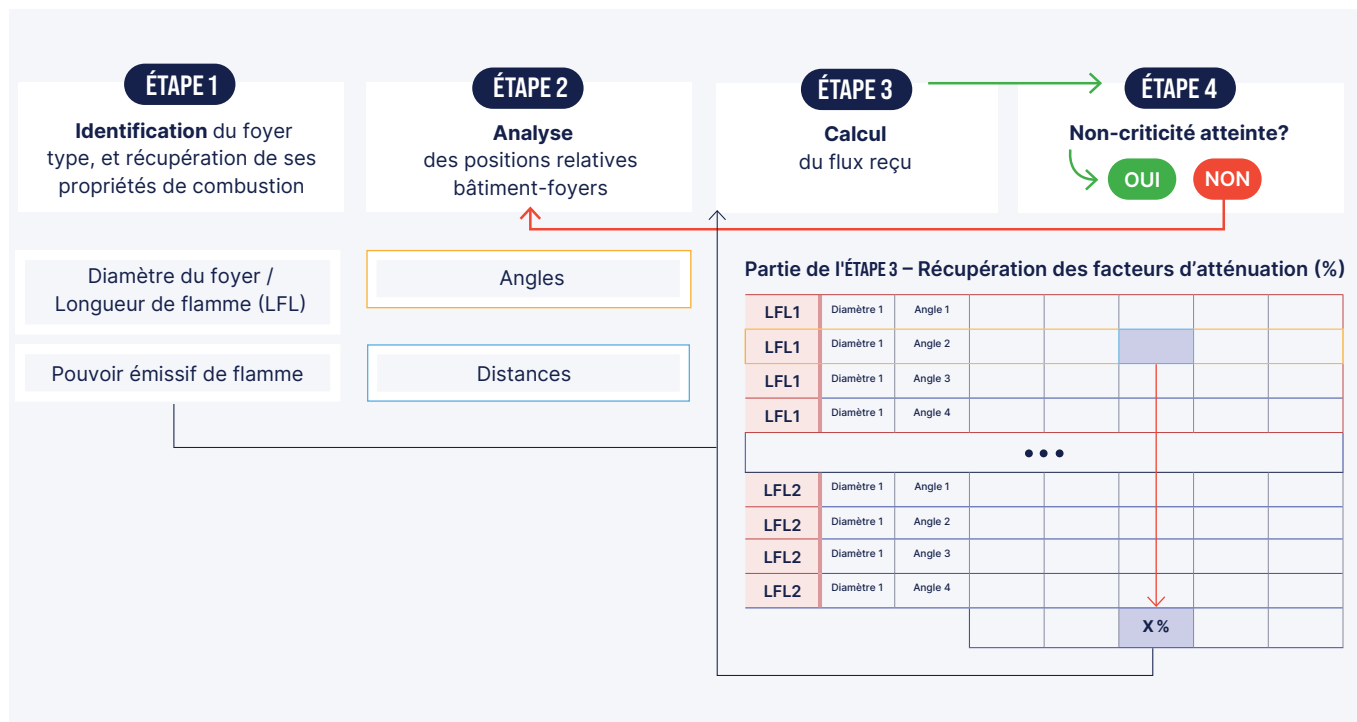
ÉTAPE 4

Vérification que l'exposition est bien inférieure au seuil critique d'exposition pour chaque cible. Si l'exposition d'au moins un élément cible n'est pas sous le seuil critique, reprendre à l'étape 2 en en éloignant certains foyers, et recommencer cette itération autant que nécessaire.

Pour suivre la déclinaison pas à pas de l'approche performantielle simplifiée sur un scénario fictif, on se reportera à l'annexe B.

Figure 9-1

Schéma de principe de
l'approche performantielle
simplifiée



Les étapes 1 à 4 du calcul d'exposition sont décrites dans les paragraphes suivants.

ÉTAPE 1

CARACTÉRISATION DES FOYERS D'EXPOSITION DES ÉLÉMENTS CIBLES

L'étape 1 de l'approche performantielle simplifiée consiste à :

- **étape 1.1** : effectuer l'inventaire des foyers autour de chaque élément cible ;
- **étape 1.2** : attribuer des propriétés de comportement au feu pour chaque foyer (longueur de flamme, durée de combustion, puissance émissive) ;

Rappel

tout foyer inventorié hors des foyers types présentés dans ce guide devra être caractérisé par un organisme ayant les compétences requises.



IMPORTANT

L'inventaire des foyers concerne exclusivement les structures combustibles naturelles ou artificielles en phase de conception du futur bâtiment ou d'aménagement du bâtiment existant.

Il ne concerne pas les combustibles d'usage (tas de bois, voitures, poubelles, stock de bouteilles de gaz, mobilier de jardin). Pour ces derniers, il convient d'indiquer dans les contraintes d'exploitation du bâtiment que tout combustible d'usage doit :

- soit pouvoir être éloignés facilement à plus de 10 m du bâtiment ;
- soit pouvoir être stockés dans un local dédié situé à plus de 8 m du bâtiment.

Étape 1.1 – Inventaire des foyers

On désigne par « foyer » un élément combustible présent à moins de 100 m du pied de bâtiment, ayant une taille significative (au moins chaque dimension supérieure à 30 cm) pouvant contribuer de ce fait significativement à l'incendie généré par le feu de forêt à proximité du bâtiment.

Deux foyers forment un foyer continu s'ils sont séparés de moins de 3 m. Ils sont considérés comme des foyers isolés dans le cas contraire.

Les foyers types couverts par l'approche performantielle simplifiée, sont présentés dans la **Table 9-3** ci-après. Ils représentent les catégories ci-dessous :

- **foyer primaire** : 4 types différents de massif forestier ;
- **foyers secondaires artificiels** : emplacement de stationnement automobile, abris de jardin,
- **foyers secondaires végétaux (ornementaux)** : emplacement de haies, bosquets arbustifs, zones d'herbacées ou vivaces hautes (> 80 cm de haut).

Les foyers primaires et secondaires ornementaux doivent faire tout d'abord l'objet d'une analyse de niveau de risque incendie en fonction des espèces présentes. Pour cela, il convient d'utiliser le guide IRSTEA-INRAE [9]. Celui-ci, en pages 26 à 30, met à disposition un algorithme simple, à base de clés de sélection (type de plante, type d'écorce, hauteurs des branches, nature des feuilles/aiguilles, présence de combustible mort dans la plante, etc.), permettant d'attribuer à toute espèce végétale une valeur parmi 4 niveaux de risque incendie :

- risque extrême ;
- risque élevé ;
- risque moyen ;
- risque faible.

Table 9-3

Foyers types pris en compte dans l'approche performantielle simplifiée

Les végétaux à niveau de risque faible (ex. : feuillus à larges feuilles persistantes, etc.) peuvent être retirés de la liste des foyers combustibles. Pour tous les autres, on cherchera un représentant dans la table ci-dessous.

TYPE DE FOYER INDIVIDUEL	TYPE DE COMBUSTIBLE	FOYER PRIMAIRE OU SECONDAIRE
Garrigue haute	massif forestier	primaire
Maquis	massif forestier	primaire
Peuplement de chêne vert	massif forestier	primaire
Peuplement mixte pin-chêne, ou maquis arboré	massif forestier	primaire
Pinède plantée (considérée à maturité 10 ans)	massif forestier	primaire
3 m linéaire de haie de cyprès (5 m de haut)	ornemental	secondaire
3 m x 3 m de zones d'herbacées ou vivaces hautes (80 cm)	ornemental	secondaire
3 m x 3 m de bosquet arbustif (2 m de haut - base cyprès)	ornemental	secondaire
Abris/cabanon de jardin bois	artificiel	secondaire
Abris/cabanon de jardin plastique	artificiel	secondaire
Abris/cabanon de jardin acier	artificiel	secondaire
Stationnement pour 1 place automobile 4 m x 2 m (combustion d'un véhicule typique)	artificiel	Secondaire

À noter

- l'herbe basse (< 30 cm) est un foyer secondaire très souvent présent à proximité immédiate du bâtiment (cf. adjacent au bâtiment), car non supprimé par le traitement végétal des OLD. Il ne sera toutefois pas comptabilisé dans le calcul d'exposition, car il est d'intensité négligeable devant les autres foyers. Il faut néanmoins protéger le bâtiment du feu d'herbe basse également, comme explicité dans la section « points singuliers » ;
- en phase d'exploitation du bâtiment, des foyers supplémentaires viendront s'ajouter (tas de bois ou de tout autre type de combustibles, plantation de nouvelles haies, etc.) et une nouvelle mise en protection pourra être dérivée de la précédente par ajout de l'influence de ces nouveaux foyers dans l'approche performantielle simplifiée. Pour ce faire, on reprendra l'étape n°3 de l'approche en ajoutant dans le calcul d'exposition la contribution de ces nouveaux foyers ;
- le véhicule typique considéré est un « grand véhicule léger » (routière, grand monospace) (moins de 2 m de haut et moins de 3,5 t) avec moteur essence ou diesel (de classe 1 au sens de l'ASFA) ;
- le fait que l'étude prenne en compte ou non la réduction de masse combustible du fait que les OLD sont (ou seront) respectés aux abords du bâtiment (c.-à-d. appliqués et maintenus dans le temps) est à déterminer indépendamment de ce guide. Pour rappel, **le code Forestier [7] fixe que toute construction située à 200 m du massif forestier est sujette aux Obligations Légales de Débroussaillage qui s'appliquent usuellement sur 50 m autour du bâtiment (ou autre suivant exigence locale : PPRIF, etc.)**. Les modalités pratiques du débroussaillage sont à trouver dans les arrêtés préfectoraux de débroussaillage en vigueur (parfois au niveau inter-départemental, comme c'est le cas par exemple pour l'arrêté débroussaillage 2025 commun à la Gironde, aux Landes et au Lot-et-Garonne). Efectis suppose que les OLD sont considérés comme appliqués et pérennisés dans le temps quand les conditions suivantes sont réunies :
 - pour un bâtiment existant : si une facture peut être produite (de moins de 1 an) de traitement paysager qui a été réalisé sur le site, conformément aux pratiques demandées par le guide du débroussaillage ;
 - pour un bâtiment en projet : lettre d'un organisme public ou privé (propriété et parties sur propriétés voisines nécessaires aux OLD) stipulant que l'application et la pérennité dans le temps sera assurée pour le site, conformément aux pratiques demandées par le guide du débroussaillage. **Un dispositif réglementaire existe au 01/01/2025 si vente : une attestation de bonne réalisation des OLD doit être fournie par le vendeur.**

Étape 1.2 - Évaluation des paramètres de combustion des foyers

Les trois phases du passage du feu sur le bâtiment (pré-impact, impact et post-impact) sont simplifiées par :

- une exposition constante pendant toute la durée de passage du front de flamme ;
- une exposition de valeur maximale pendant toute cette durée d'exposition.

La **Table 9-4** ci-après fournit, par type de foyer, les 3 paramètres de combustion du foyer suivants :

- durée d'exposition : 2 choix possibles 2 min ou 30 min : dt (min) ;
- longueur de flamme de l'exposition constante : LFL(m) ;
- intensité radiative émise pendant l'exposition constante : PE (kW/m²).

Tous les foyers individuels sont assimilés à des foyers circulaires de surface équivalente, paramétrées par une seule dimension : leur diamètre, qui est pris forfaitairement égal à la plus grande dimension du foyer.

Table 9-4

Paramètres de combustion des foyers types
de différents types (usage, aménagement, conception, etc.)

sources : (a) Butler et al 2004 [30], (b) Mell et al (2009)[29],

(c) NIST et al (2022) [31], (d) CETU (2003)[32]

TYPE DE FOYER	DIAMÈTRE (M)	DURÉE D'EXPOSITION (DT, MIN)	LONGUEUR DE FLAMME (LFL, M)	INTENSITÉ RADIATIVE ÉMISE (PE, KW/M ²)
Garrigue haute (80 cm)	3	2 min	1,52	76(a)
Maquis (2 m)	3	2 min	5,52	76(a)
Peuplement de chêne vert (litière de feuilles)	3	2 min	0,4	76(a)
Peuplement mixte pin-chêne, ou maquis arboré (10 m de haut)	3	2 min	30	120(a)
Pinède plantée (considérée à maturité 10 ans – 10 m de haut)	3	2 min	30	200(a)
3 m linéaire de haie de cyprès (5 m de haut)	3	2 min	13	49(b)
3 m x 3 m de zones d'herbacées ou vivaces hautes (80 cm)	3	2 min	1,6	76(b)
3 m x 3 m de bosquet arbustif (2 m de haut)	3	2 min	5	49(b)
Abris/cabanon de jardin bois	3	30 min	5,1	54(c)
Abris/cabanon de jardin plastique	3	30 min	5,66	53(c)
Abris/cabanon de jardin acier	3	30 min	2,94	37(d)
Stationnement pour 1 place automobile 4 m x 2 m (combustion d'un véhicule typique)	3	30 min	4,9	43(d)

**Précision sur la correction
de la longueur de flamme
pour les foyers continus**
(cf. ci-dessus)

On applique une correction à la longueur de flamme pour tenir compte du mélange des flammes des foyers individuels constitutifs du foyer continu :

- foyers continus linéaires : augmenter la LFL de 20 % ;
- foyers continus surfaciques : augmenter la LFL de 50 %.

**Précision sur la longueur
de flamme pour source
« ornemental ou massif
forestier »**

Pour un foyer isolé de ce type, si la hauteur de végétation est très différente de la source répertoriée dans la **Table 9-4**, on remplacera la valeur de LFL fournie dans la **Table 9-4** par une estimation différente : on prendra pour LFL la valeur sécuritaire de 3 fois la hauteur de végétation (Butler, 2014 [35]). Si de plus le foyer est continu, on ajoutera la correction du paragraphe précédent.

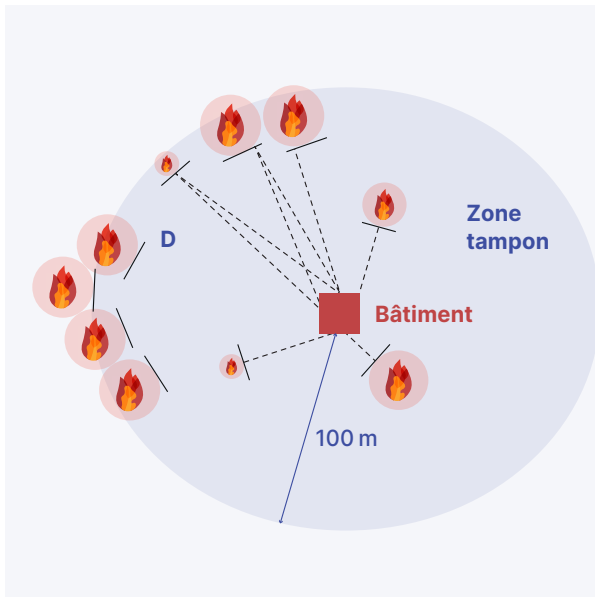
**Précision sur la hauteur
de flamme maximale**

La hauteur de flamme, sur des arbres de 15-20 m dans un massif linéaire continu, peuvent atteindre des valeurs de 50-60 m. Or la répartition supposée uniforme de l'émissivité d'une flamme de feu d'arbre ne l'est pas dans la réalité : Butler et al (2004) [30] a montré que ce sont environ les 2/3 de la hauteur de flamme qui émettent effectivement, le 1/3 haut restant étant de contribution très faible, ceci étant d'autant plus vrai pour les très grandes flammes. On met donc un maximum à 30 m de longueur de flamme.

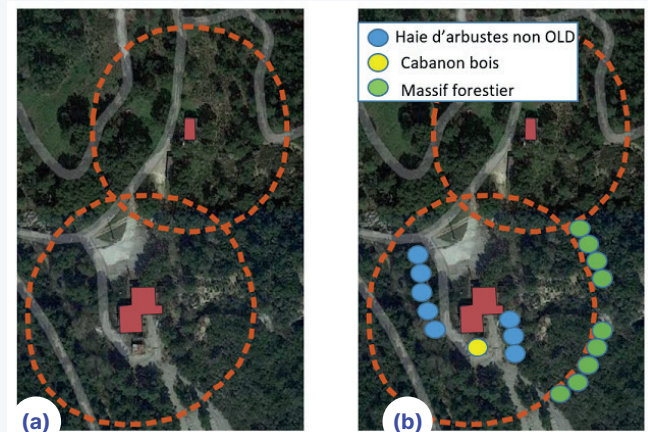
ÉTAPE 2

POSITIONNEMENT DES FOYERS

L'inventaire spatial des foyers (cf. **Figure 9-2**) s'effectue, sur un bâtiment existant ou en projet, dans une zone tampon de 100 m autour du bâtiment, cette distance étant déterminée à partir du pied de chaque façade en distance vue du ciel (cf. **Figure 9-3**).

**Figure 9-2**

Inventaire des sources ayant des effets sur le bâtiment cible dans une zone tampon de 100 m autour du bâtiment

**Figure 9-3**

Ex. sur un site type :
(a) zone tampon de 100 m autour du bâtiment en vue du ciel,
(b) inventaire des foyers pour le bâtiment en bas de l'image

Traitement des foyers continus

Pour un foyer continu (linéaire ou surfacique), on a le choix pour le schématiser entre considérer :

- un foyer uniforme et linéaire de 100 m de long ;
- une juxtaposition de foyers individuels de 3 m de diamètre. Dans le foyer continu ainsi discrétisé par des foyers individuels, on ne tiendra pas compte des foyers individuels qui se trouvent écrantés à plus de 10 % de leur surface et/ou de leur hauteur par un autre foyer individuel.

Deux raisons feront plutôt pencher vers le choix d'une discrétisation en foyers individuels :

- lorsque le foyer continu est concave : la forme concave ne doit pas être approchée par une forme linéaire car le flux reçu est alors minoré ;
- lorsque le foyer continu est clairement inférieur à 100 m de long.

Traitement des foyers isolés

On retient le diamètre du disque équivalent à la surface de l'empreinte au sol du foyer.

ÉTAPE 3

CALCUL DE L'EXPOSITION RÉSULTANTE AU NIVEAU DES ÉLÉMENTS CIBLES

Pour chaque cible évaluée en approche performantielle, les effets thermiques de tous les foyers qui ont été inventoriés pour cette cible (cf. *section précédente*) se cumulent.

Il est impossible de savoir selon quel chemin de feu, de foyer en foyer, la propagation se fera. On ne considère donc pas de propagation privilégiée, **on considère le cas extrême sécuritaire (mais probable) où tous les foyers sont en flamme en même temps autour du bâtiment, fournissant le plus gros impact de puissance cumulée, et ceci pendant le temps d'exposition le plus grand des foyers pris en compte.**

Le calcul de l'exposition passe par les trois étapes suivantes, décrites dans les sections suivantes :

Étape 3.1

Détermination des façades exposées sur lesquelles se trouvent des cibles ;

Étape 3.2

Calcul de la puissance reçue par chaque cible de par la combustion d'un foyer : atténuation de la puissance émise par le foyer du fait de la distance et de la pente du terrain entre cible et foyer ;

Étape 3.3

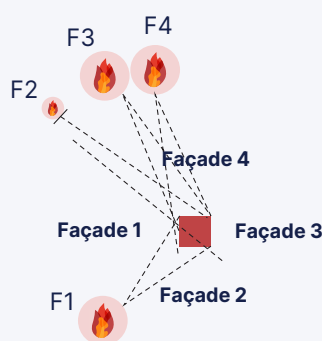
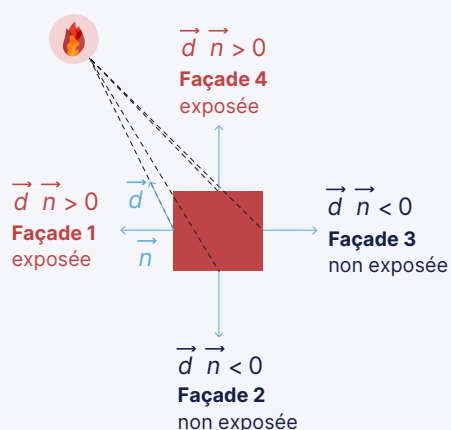
Calcul des propriétés résultants d'exposition pour chaque cible : puissance maximale reçue et durée d'exposition.

Étape 3.1 – Détermination des façades exposées

Une façade (et tous les éléments cibles associés) est prise en compte dans le calcul d'exposition si le produit scalaire entre la direction bâtiment-foyer et la normale de la façade est positif (cf. **Figure 9-4**). La liste des foyers exposant chaque façade est ainsi constituée, dont on déduit la liste des foyers exposant chaque élément cible. À noter qu'une cible peut se situer sur plus d'une façade, et dans ce cas on la protège de tous les foyers exposant ces façades.

Figure 9-4

Association des façades
aux cibles pour le calcul
d'exposition



**Contribution des foyers
à l'exposition par façade**
Façade 1 : F1+F2+F3+F4
Façade 2 : F1
Façade 3 : -
Façade 4 : F2+F3+F4

À noter

si on détermine une « façade cible » exposée à un foyer continu discrétisé en foyers individuels, entre deux foyers individuels de ce foyer continu, leurs points les plus proches respectifs sur la façade seront potentiellement différents ;

dans le présent guide, si on souhaite être plus précis et calculer l'exposition d'un élément cible situé à une hauteur précise de la façade, il est nécessaire de reprendre les relations de l'annexe A, car les abaques de calcul ci-dessous (Tables 9-5 à 9-8) ne font pas la distinction de la hauteur sur façade de l'élément cible, mais ont été calculées en envisageant toutes les hauteurs de cible possibles sur la façade.

Étape 3.2 – Calcul de la puissance reçue pour un couple (foyer, cible)

Détermination des distances foyer-cible

Une exposition est déterminée dans l'approche performantielle simplifiée en considérant une distance entre le foyer et la cible.

Le foyer est toujours ramené au centre du foyer.

Pour la cible, il existe 2 choix possibles :

- choix 1 du « point cible » : on choisit le centre de l'élément cible sur la façade, à supposer que la taille de l'élément cible est petite par rapport à la longueur de l'arête de la façade en vue du ciel (ex. fenêtre de 1 m de largeur située aux 2/3 en partant d'un des 2 coins d'une façade de 8 m de long) ;
- choix 2 de la « façade cible » : on choisit le point de la façade qui se trouve à la plus courte distance du centre du foyer.

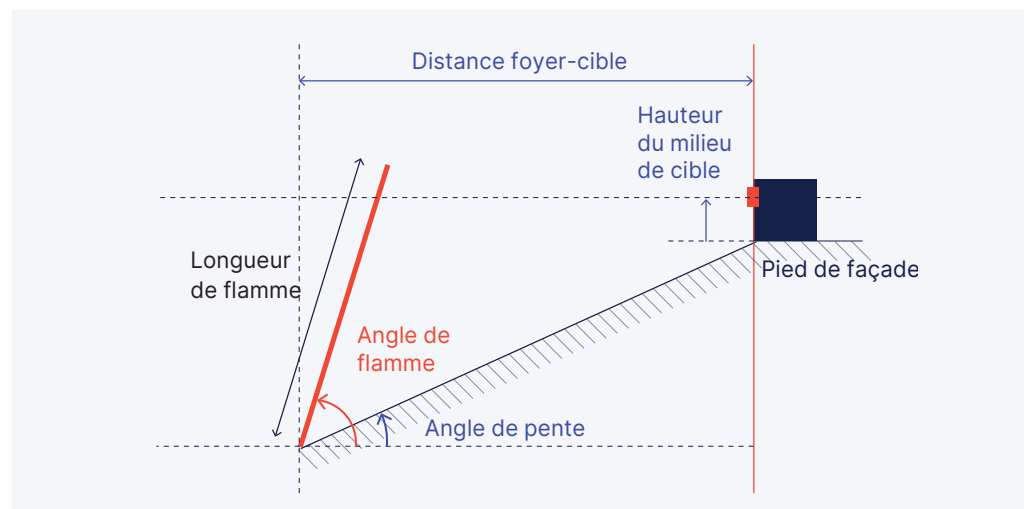
Détermination des paramètres d'un couple (foyer-cible)

Une fois fixés à l'étape 2 les positionnements des foyers autour du bâtiment, on peut déterminer, grâce à un logiciel de géomatique (QGIS, Google-Earth, etc.), les paramètres suivants (cf. Figure 9-5) :

- distance vue du ciel (d) ;
- pente entre foyer et cible, qui se traduit par un angle mesuré entre l'horizontale et le segment allant du pied de foyer au pied de façade de la cible (theta).

Figure 9-5

Repérage visuel des 3 paramètres géométriques à identifier pour chaque couple (foyer-cible)



Puissance reçue

La puissance reçue P pour un couple (foyer, cible) est à calculer avec :

- le pouvoir émissif du foyer P_{emis_foyer} (obtenu à l'étape 3.1) ;
- le facteur de vue FV en pourcentage qui est due à la configuration du terrain entre le foyer et la cible (angle de pente, distance, hauteur par rapport au pied de bâtiment) et aux caractéristiques intrinsèques du foyer (diamètre, longueur de la flamme LFL, angle d'inclinaison de la flamme α) ;
- la transmissivité de l'air qui est prise égale à 1,

suivant la formule :

$$P(\text{foyer,cible}) = FV \times P_{emis_foyer}$$

Cas particulier : dans le cas où la distance (foyer, cible) est inférieure à la longueur de flamme : la cible est considérée comme se trouvant immergée dans la flamme produite par la combustion du foyer. On désignera plus loin ce cas par une **exposition de type « immersion flamme »**.

On retrouve (cf. **Table 9-5**) le fait que, dans une configuration sans pente, pour toute exposition au seul foyer primaire aussi intense soit-il (allant jusqu'à longueur de flamme de 30 m et émittance de 200 kW/m²) une protection thermique du bâtiment, nécessaire pour un flux reçu de 25 kW/m² (voir Étape 4), implique donc une mise à distance de 50 m, obtenue grâce aux OLD, cette profondeur étant donc légitimement celle par défaut dans les arrêtés débroussaillage pour couvrir toute situation de ce type. En cas de forte pente sur la commune (>20°) l'impact des gaz chauds joue un rôle important qui doit être pris en compte, et des profondeurs de 75 m ou 100 m peuvent parfois être nécessaires.

Le facteur de vue fonction de la distance tel que tabulé pour chaque jeu de 3 paramètres (longueur de flamme, diamètre de foyer, angle de terrain) dans les tables ci-dessous, a été obtenu à sa valeur maximale en parcourant l'ensemble des valeurs possibles de l'angle d'inclinaison de la flamme (comme dans l'approche Australienne [10]), ainsi que pour un ensemble de valeurs de hauteur de cible par rapport au pied de bâtiment allant de 1 m jusqu'à l'équivalent de la hauteur de flamme par pas de 1 m.

L'estimation du facteur de vue avec la distance est détaillée en Annexe A du présent document. Sa valeur est comprise entre 55 % (puissance du foyer atténuée d'un peu moins de la moitié) et 5 % (très peu de flux radiatif reçu par la cible car le foyer est situé trop loin pour l'impacter).

À noter

- les tableaux sont présentés pour des valeurs fixes de (1) longueurs de flamme LFL, (2) de diamètres de foyers, et (3) d'angles de pente. Ces tableaux peuvent être utilisés pour d'autres foyers types sous respect de prendre des longueurs de flammes, et des diamètres de foyer strictement égaux ou supérieurs à ceux du foyer ;
- lorsqu'on lit sur une ligne de tableau (pour LFL et pente données), si la distance existant entre un point source et une cible est inférieure à la 1^{ère} valeur de distance indiquée dans cette ligne, c'est qu'on est en immersion flamme ;
- la manière similaire les facteurs de vue sont donnés avec un pas de valeur de 5 %, et des seuils plus faibles pour les foyers de petite taille. Il convient d'arrondir à l'atténuation de la distance dans le tableau qui est immédiatement inférieure à la distance réelle, et non pas d'interpoler entre les atténuations des deux distances du tableau qui sont les plus proches de la distance réelle ;
- pour la sélection de la valeur discrète de la LFL dans l'abaque, on prendra systématiquement la valeur juste majorante, sauf si la valeur juste minorante n'est que 2 % en dessous, en quel cas on prendra cette valeur juste minorante ;
- même si l'approche ne considère pas de direction de vent privilégiée, lorsque les multiples points sources sont réparties sur plus de 180° autour du point cible, lorsque l'incendie allume simultanément ces points sources pour le calcul d'exposition, il a une seule direction de vent pour toutes ces sources simultanées. Dans ce cas, on procède donc de la manière suivante :
 - on choisit 2 (ou plus) directions de vent les plus pénalisantes pour amener l'incendie sur tous les points cibles (note : on peut avoir choisi plus de directions de vent que celles des vents météorologiquement présents dans la zone) ;
 - pour chacune de ces directions de vent, on calcule l'exposition uniquement en comptabilisant les points sources qui sont dans le ½ espace situé en amont du point cible ;
 - on retient la valeur maximale de ces expositions.

Table 9-5

Pour les foyers primaires (largeur de front de 100 m) :
abaque des distances à instaurer entre source et cible,
connaissant le facteur de vue souhaité et connaissant la pente
et la hauteur de flamme (1 m, 2 m, 5 m et 10 m).

Les distances sont en mètres,
et la valeur exacte du facteur
de vue est indiquée
entre parenthèses.

DISTANCE FOYER-CIBLE À CHOISIR EN FONCTION DU FACTEUR DE VUE SOUHAITÉ [FOYER PRIMAIRE]													
PENTE (°)	LFL (M)	≤60%	≤55%	≤50%	≤45%	≤40%	≤35%	≤30%	≤25%	≤20%	≤15%	≤10%	≤5%
-20	1		1m (55%)					2m (29%)		3m (18%)	4m (14%)	6m (9%)	10m (5%)
-10	1				1m (44%)			2m (26%)		3m (17%)	4m (13%)	5m (10%)	10m (5%)
0	1			1m (50%)					2m (25%)	3m (17%)	4m (13%)	5m (10%)	10m (5%)
10	1	1m (56%)							2m (25%)	3m (17%)	4m (12%)	5m (10%)	9m (5%)
20	1		1m (55%)						2m (24%)	3m (16%)	4m (11%)	5m (9%)	8m (5%)
-20	2	2m (57%)				3m (39%)			5m (22%)	6m (19%)	7m (14%)	11m (10%)	19m (5%)
-10	2	2m (56%)					3m (34%)	4m (26%)	5m (21%)	6m (17%)	7m (15%)	10m (10%)	19m (5%)
0	2		2m (52%)				3m (33%)		4m (25%)	5m (20%)	7m (14%)	10m (10%)	19m (5%)
10	2	2m (56%)					3m (34%)		4m (25%)	5m (20%)	7m (14%)	10m (10%)	19m (5%)
20	2		2m (55%)				3m (33%)		4m (24%)	5m (19%)	7m (13%)	9m (10%)	16m (5%)
-20	5	5m (59%)		6m (48%)	7m (42%)	8m (37%)	9m (32%)	10m (28%)	11m (25%)	14m (19%)	17m (15%)	26m (10%)	43m (5%)
-10	5	5m (56%)			6m (44%)	7m (38%)	8m (33%)	9m (29%)	11m (24%)	13m (20%)	17m (14%)	24m (10%)	41m (5%)
0	5	5m (56%)			6m (44%)	7m (37%)	8m (32%)	9m (28%)	10m (25%)	13m (20%)	17m (15%)	24m (10%)	41m (5%)
10	5	5m (56%)			6m (44%)	7m (37%)	8m (32%)	9m (28%)	10m (25%)	13m (19%)	16m (15%)	23m (10%)	40m (5%)
20	5		5m (55%)		6m (43%)	7m (36%)	8m (31%)	9m (27%)	10m (24%)	12m (20%)	15m (15%)	22m (10%)	36m (5%)
-20	10	10m (57%)	11m (51%)	12m (48%)	13m (44%)	15m (38%)	17m (34%)	19m (30%)	22m (25%)	27m (20%)	34m (15%)	46m (10%)	71m (5%)
-10	10	10m (56%)		11m (49%)	12m (44%)	13m (40%)	15m (34%)	17m (30%)	21m (25%)	25m (20%)	32m (15%)	43m (10%)	68m (5%)
0	10	10m (56%)		11m (49%)	12m (44%)	13m (40%)	15m (34%)	17m (30%)	20m (25%)	24m (20%)	31m (15%)	42m (10%)	66m (5%)
10	10	10m (56%)		11m (48%)	12m (44%)	13m (40%)	15m (34%)	17m (30%)	20m (25%)	24m (20%)	31m (14%)	42m (10%)	65m (5%)
20	10	10m (55%)		11m (48%)	12m (43%)	13m (39%)	15m (32%)	17m (28%)	19m (25%)	23m (20%)	29m (15%)	39m (10%)	61m (5%)

Table 9-6

Pour les foyer primaires (largeur de front de 100 m) :
abaque des distances à instaurer entre source et cible,
connaissant le facteur de vue souhaité et connaissant
la pente et la hauteur de flamme (20 m et 30 m).

Les distances sont en mètres,
et la valeur exacte du facteur
de vue est indiquée
entre parenthèses.

DISTANCE FOYER-CIBLE À CHOISIR EN FONCTION DU FACTEUR DE VUE SOUHAITÉ [FOYER PRIMAIRE]													
PENTE (°)	LFL (M)	≤60%	≤55%	≤50%	≤45%	≤40%	≤35%	≤30%	≤25%	≤20%	≤15%	≤10%	≤5% (OU MAX 100 M)
-20	20	20 m (59%)	22 m (53%)	24 m (48%)	26 m (44%)	28 m (40%)	32 m (35%)	36 m (30%)	41 m (25%)	48 m (20%)	58 m (15%)	74 m (10%)	100 m (6%)
-10	20		20 m (55%)	22 m (49%)	24 m (43%)	26 m (40%)	29 m (35%)	33 m (30%)	39 m (25%)	45 m (20%)	55 m (15%)	71 m (10%)	100 m (6%)
0	20	20 m (56%)	21 m (51%)	22 m (49%)	24 m (43%)	26 m (40%)	29 m (34%)	33 m (30%)	38 m (25%)	44 m (20%)	54 m (15%)	69 m (10%)	100 m (6%)
10	20	20 m (56%)	21 m (52%)	22 m (49%)	24 m (43%)	26 m (40%)	29 m (34%)	32 m (30%)	37 m (25%)	44 m (20%)	53 m (15%)	68 m (10%)	100 m (5%)
20	20		20 m (55%)	22 m (48%)	23 m (45%)	25 m (40%)	28 m (35%)	31 m (30%)	36 m (25%)	42 m (20%)	50 m (15%)	64 m (10%)	100 m (5%)
-20	30	30 m (58%)	32 m (54%)	34 m (50%)	38 m (44%)	41 m (40%)	45 m (35%)	50 m (30%)	57 m (25%)	65 m (20%)	76 m (15%)	93 m (10%)	100 m (9%)
-10	30		30 m (55%)	32 m (50 %)	34 m (45%)	38 m (40%)	42 m (35%)	47 m (30%)	53 m (25%)	61 m (20%)	73 m (15%)	92 m (10%)	100 m (9%)
0	30		30 m (55%)	32 m (50%)	35 m (45%)	38 m (40%)	41 m (35%)	46 m (28%)	52 m (25%)	60 m (20%)	71 m (15%)	89 m (10%)	100 m (9%)
10	30	30 m (56%)	31 m (53%)	32 m (50%)	35 m (44%)	38 m (40%)	41 m (35%)	46 m (30%)	52 m (25%)	60 m (20%)	71 m (15%)	89 m (10%)	100 m (8%)
20	30		30 m (54%)	32 m (49%)	34 m (45%)	37 m (40%)	40 m (35%)	44 m (30%)	50 m (25%)	57 m (20%)	67 m (15%)	84 m (10%)	100 m (8%)

Table 9-7

Pour les foyers secondaires (diamètre 3 m) et pour les foyers individuels des foyers primaires continus (diamètre 3 m) : abaque des distances à instaurer entre source et cible, connaissant le facteur de vue souhaité et connaissant la pente et la hauteur de flamme (1 m, 2 m, 5 m et 10 m).

Les distances sont en mètres, et la valeur exacte du facteur de vue est indiquée entre parenthèses.

DISTANCE FOYER-CIBLE À CHOISIR EN FONCTION DU FACTEUR DE VUE SOUHAITÉ [FOYERS SECONDAIRES ET FOYERS PRIMAIRES INDIVIDUELS]														
PENTE (°)	LFL (M)	≤55%	≤50%	≤45%	≤40%	≤35%	≤30%	≤25%	≤20%	≤15%	≤10%	≤5%	≤1%	≤0.1%
-20	1	1m (52%)						2m (22%)			3m (10%)	5m (4%)	9m (1%)	27m (0.1%)
-10	1			1m (42%)					2m (20%)		3m (10%)	5m (4%)	9m (1%)	26m (0.1%)
0	1		1m (50%)						2m (19%)		3m (10%)	5m (4%)	9m (1%)	26m (0.1%)
10	1	1m (55%)							2m (19%)		3m (9%)	4m (5%)	8m (1%)	25m (0.1%)
20	1	1m (54%)							2m (18%)		3m (8%)	4m (5%)	8m (1%)	23m (0.1%)
-20	2	2m (54%)						3m (25%)		4m (14%)	5m (9%)	7m (4%)	12m (1%)	38m (0.1%)
-10	2	2m (52%)						3m (22%)		4m (12%)	5m (8%)	7m (4%)	12m (1%)	36m (0.1%)
0	2		2m (48%)					3m (22%)		4m (12%)	5m (8%)	6m (5%)	12m (1%)	36m (0.1%)
10	2	2m (54%)						3m (22%)		4m (12%)	5m (8%)	6m (5%)	12m (1%)	35m (0.1%)
20	2	2m (51%)							3m (20%)	5m (11%)		6m (5%)	11m (1%)	33m (0.1%)
-20	5		5m (47%)					6m (22%)		7m (14%)	8m (10%)	11m (5%)	20m (1%)	59m (0.1%)
-10	5		5m (48%)					6m (22%)		7m (14%)	8m (9%)	11m (4%)	19m (1%)	58m (0.1%)
0	5		5m (49%)					6m (22%)		7m (13%)	8m (9%)	10m (5%)	19m (1%)	57m (0.1%)
10	5		5m (50%)					6m (22%)		7m (13%)	8m (9%)	10m (5%)	18m (1%)	56m (0.1%)
20	5			5m (41%)					6m (19%)		8m (8%)	10m (5%)	17m (1%)	52m (0.1%)
-20	10		10m (46%)					11m (22%)		12m (13%)	13m (9%)	17m (5%)	29m (1%)	84m (0.1%)
-10	10		10m (47%)					11m (21%)		12m (13%)	13m (9%)	16m (5%)	27m (1%)	82m (0.1%)
0	10		10m (48%)					11m (21%)		12m (13%)	13m (9%)	16m (5%)	27m (1%)	81m (0.1%)
10	10			10m (44%)					11m (20%)	12m (13%)	13m (9%)	16m (5%)	26m (1%)	79m (0.1%)
20	10						10m (30%)		11m (16%)	12m (11%)	13m (8%)	15m (5%)	25m (1%)	74m (0.1%)

Table 9-8

Complément pour les foyers individuels des foyers primaires continus (largeur de 3 m) : abaque des distances à instaurer entre source et cible, connaissant le facteur de vue souhaité et connaissant la pente et la hauteur de flamme (20 m et 30 m).

Les distances sont en mètres, et la valeur exacte du facteur de vue est indiquée entre parenthèses.

DISTANCE FOYER-CIBLE À CHOISIR EN FONCTION DU FACTEUR DE VUE SOUHAITÉ [COMPLÉMENT POUR FOYERS PRIMAIRES INDIVIDUELS]														
PENTE (°)	LFL (M)	≤55%	≤50%	≤45%	≤40%	≤35%	≤30%	≤25%	≤20%	≤15%	≤10%	≤5%	≤1%	≤0.1% (OU MAX 100 M)
-20	20			20 m (41%)					21 m (19%)	22 m (12%)	23 m (9%)	26 m (5%)	42 m (1%)	100 m (0.2%)
-10	20			20 m (41%)					21 m (20%)	22 m (12%)	23 m (9%)	26 m (5%)	40 m (1%)	100 m (0.2%)
0	20			20 m (44%)					21 m (20%)	22 m (12%)	23 m (9%)	26 m (5%)	39 m (1%)	100 m (0.2%)
10	20				20 m (37%)				21 m (18%)	22 m (11%)	23 m (8%)	25 m (5%)	39 m (1%)	100 m (0.2%)
20	20								20 m (19%)	22 m (12%)	23 m (7%)	25 m (5%)	37 m (1%)	100 m (0.2%)
-20	30				30 m (37%)				31 m (18%)	32 m (12%)	33 m (8%)	35 m (5%)	52 m (1%)	100 m (0.3%)
-10	30					30 m (34%)			31 m (17%)	32 m (11%)	33 m (8%)	35 m (5%)	49 m (1%)	100 m (0.3%)
0	30				30 m (40%)				31 m (20%)	32 m (11%)	33 m (8%)	35 m (5%)	49 m (1%)	100 m (0.3%)
10	30					30 m (31%)			31 m (16%)	32 m (11%)	33 m (8%)	35 m (5%)	49 m (1%)	100 m (0.3%)
20	30									30 m (14%)	31 m (10%)	34 m (5%)	47 m (1%)	100 m (0.3%)

Étape 3.3 – Calcul de l'exposition multi-foyers d'une cible

Une fois déterminée pour chaque couple (foyer-cible) la puissance reçue, pour une cible :

- la puissance reçue est obtenue en additionnant les puissances reçues depuis tous les couples (foyer-cible) impliqués ;

$$P(\text{cible}) = \text{somme}(P(\text{foyer}, \text{cible}))$$

- la durée d'exposition est obtenue en prenant la valeur maximale des durées de combustion de tous les foyers impliqués (donnant donc une valeur de 2 min si tous les foyers impliqués sont à 2 min, ou bien de 30 min quand au moins un foyer à une durée de combustion de 30 min).

$$Dt(\text{cible}) = \max(Dt(\text{foyer}, \text{cible}))$$

Cas particuliers

1/ dès qu'une cible se trouve en exposition de type « immersion flamme » pour au moins un des foyers, la puissance reçue totale n'est pas à calculer : l'exposition de la cible est alors de type « immersion flamme ». Comme vu dans la **Table 9-2** des critères, cette exposition de type « immersion flamme » est compatible avec un nombre restreint de critères.

2/ si la somme des puissances reçues est supérieure à 50 kW/m², on considère alors que l'exposition de la cible est de type « immersion flamme ».

ÉTAPE 4**ÉVALUATION DE LA CRITICITÉ DE L'EXPOSITION**

Les sections précédentes fournissent l'évaluation du flux thermique reçu et de la durée d'exposition pour chaque cible, en fonction des positionnements des multiples foyers primaires et secondaires.

Ces expositions peuvent alors être comparées aux expositions critiques pour chaque cible qui sont fournies par la **Table 9-9** ci-dessous. Comme évoqué précédemment, dès qu'une exposition critique est dépassée pour au moins une des cibles, les foyers doivent être éloignés et l'analyse doit être reprise récursivement, jusqu'à aboutir à ce que l'ensemble des cibles soit exposées à des valeurs non critiques.

Dans cette approche performantielle simplifiée ; les critères sont également simplifiés (cf. **Table 9-9**) et ont les propriétés suivantes :

- ils portent uniquement sur l'exposition résultante de la face exposée au feu, donc sans faire appel à une connaissance détaillée de la paroi ;
- ils sont exprimés uniquement en flux thermique maximal reçu (et pas en dose thermique).

À noter

- Le cas le plus commun rencontré pour le bâtiment et son environnement combustible immédiat possède ces 3 caractéristiques : (1) la possibilité de traverser la (les) pièce(s) exposée(s) directement au feu pour aller se confiner dans une pièce n'ayant pas de face exposée au feu, (2) des éléments combustibles en proximité du bâtiment qui sont exclusivement végétaux et (3) des vitrages occultables par des volets. Dans ce cas, une protection thermique particulière des pièces exposées au feu n'est nécessaire que si le seuil d'exposition excède 25 kW/m². C'est également au-dessus de ce seuil que la protection supplémentaire est préconisée par le guide Canadien, et la norme Australienne qui est légèrement plus permissive (avec un seuil de 29 kW/m² au lieu de 25 kW/m²) ;
- Si toutes les pièces du bâtiment sont directement au feu, le critère 5 de la **Table 9-9** demande des mesures de protection thermique à un seul d'exposition beaucoup plus faible pour avoir un confinement possible dans cette pièce, voire les pièces peuvent ne pas être adaptées au confinement si des éléments combustibles de combustion de durée 30 min sont présents dans l'environnement du bâtiment.

Table 9-9

Critères de performances à évaluer dans l'approche performantielle simplifiée

CORRESPONDANCE AVEC CRITÈRES N°	ENJEU DE PROTECTION PENDANT 30 MIN (OU LONG-TERME QUAND INDIQUÉ)	CIBLE SUR LAQUELLE PORTE LE CRITÈRE	CRITÈRE À OBSERVER POUR EXPOSITION DE 2 MIN	CRITÈRE À OBSERVER POUR EXPOSITION DE 30 MIN
1a, 3	Non ruine structurelle (hors béton), non inflammation de la façade ou de la toiture (***)	Face exposée au feu	Flux reçu < 25 kW/m ²	Flux reçu < 8 kW/m ²
1b	Non ruine structurelle béton	Face exposée au feu	OK pour tous les cas, même en immersion flamme (*)	Flux reçu < 20 kW/m ²
2, 4a	Non ruine des vitrages, non pénétration du feu au travers des vitrages	Face exposée au feu	Flux reçu < 8 kW/m ²	Idem 2 min
4	Non pénétration du feu dans le bâtiment au travers de façade opaque hors bois – brique 150 mm, pierre 200 mm, béton 200 mm	Face exposée au feu	OK pour tous les cas, même en immersion flamme (*)	OK pour tous les cas, même en immersion flamme (*)
	Non pénétration du feu dans le bâtiment au travers de – MOB 12 mm et ou de volets (bois, PVC ou alu)	Face exposée au feu	Passe, même en immersion flamme (*), (**)	Flux reçu < 25 kW/m ²
5	Température supportable en confinement - brique 150 mm, pierre 200 mm, béton 200 mm	Face exposée au feu	OK pour tous les cas, même en immersion flamme (*)	OK pour tous les cas, même en immersion flamme (*)
	Température supportable en confinement dans pièce derrière – MOB 12 mm et volet bois	Face exposée au feu	Flux reçu < 8 kW/m ²	Ne passe pas
6	Long-terme : température n'atteignant pas la pyrolyse des combustibles intérieurs derrière écran thermique – brique 150 mm, pierre 200 mm, béton 200 mm, plâtre 20 mm (*)	Face exposée au feu	OK pour tous les cas, même en immersion flamme (*)	OK pour tous les cas, même en immersion flamme (*)
6b	Température n'atteignant pas la pyrolyse des combustibles intérieurs derrière écran thermique – MOB 12 mm	Face exposée au feu	OK pour tous les cas, même en immersion flamme (*)	Flux reçu < 25 kW/m ² (*)

Notes : (*) Dès qu'un isolant extérieur de paroi est présent, une étude par un organisme aux compétences requises est nécessaire.

(**) Il faut bien s'assurer que les volets bois ne présentent pas de fissure ou de jour ayant une surface totale équivalente à un disque de plus de 5 mm de diamètre, sans quoi le vitrage derrière sera exposé également à un flux trop important. (***) Pour les volets bois de plus de 12 mm, l'inflammation est acceptable car elle ne dégradera pas l'effet d'occultation (noircissement de surface uniquement).

7

PROTECTION DES ÉLÉMENTS PARTICULIERS



10.1 Traitement contre les effets thermiques

La **Table 10-1** rappelle les traitements prescrits par la [NT2015\[4\]](#) et la complète pour les éléments particuliers non considérés dans celle-ci.

Table 10-1

Mesures de protection à
appliquer aux différents
éléments particuliers de
l'enveloppe bâtementaire

CATÉGORIES DE CIBLES	SOUS-CATÉGORIES DE CIBLES PRÉSENTES DANS L'ANNEXE 5.3 DE LA NT2015	MESURES DE PROTECTION (PERFORMANCES DEMANDÉES)
Éléments traversants	Conduites et canalisations extérieures apparentes	A2-s1,d0 (M0) ou thermodur armé de classe B-s3,d0 Calfeutrement A1 (M0) de l'espace libre entre parois et conduites/canalisations
	Autres gaines techniques entrant dans l'enveloppe (climatisation, câbles électriques, etc.)	B-s3,d0 (M1)
Éléments rapportés	Gouttières et descentes d'eau	B-s3,d0 (M1)
	Auvents et éléments en surplomb	B-s3,d0 (M1)
	Autres éléments rapportés (balcons, etc.)	B-s3,d0 (M1)
	Grimpants	Suppression lorsqu'ils sont présents à une distance de moins de 3 m d'éléments vitrés
Points singuliers	Jonctions toiture-paroi (débords de toiture)	A2-s1,d0 (M0) Cas particulier : les génoises sont à maçonner (pas forcément en extérieur), au moins à quelques centimètres en intérieur pour qu'il n'y ait pas de contact possible avec les éléments combustibles de charpente
	Jonctions paroi-sol (margelle baie vitrée, pied de porte, etc.)	A2-s1,d0 (M0)

À noter

Si une approche performantielle simplifiée a été choisie pour les éléments principaux de l'ouvrage, on peut également envisager, lorsqu'on connaît le ou les matériaux à risque pour un élément particulier, de traiter également cet élément particulier avec les critères d'exposition de l'approche simplifiée (*section 9.2.2.4*).

10.2 Traitement contre les brandons

La **Table 10-2** rappelle les traitements prescrits par la [NT2015\[4\]](#) et la complète pour le traitement des brandons non effectué dans celle-ci.

Table 10-2

Mesures de protection à
appliquer pour la protection
contre les brandons

CATÉGORIES DE CIBLES	SOUS-CATÉGORIES DE CIBLES PRÉSENTES DANS L'ANNEXE 5.3 DE LA NT2015	MESURES DE PROTECTION (PERFORMANCES DEMANDÉES)
Eléments traversants	Aérations	Disposer un grillage fin métallique (≤ 5 mm), voire grille intumescente à petites mailles
	Cheminées	Clapet de fermeture
Points singuliers	Jonctions paroi-élément rapporté au sol (terrasse, deck piscine, etc.)	Pied de façade à minéraliser sur une profondeur de 1 m pour éviter le feu d'herbes basses (< 30 cm). (Si existence d'élément rapporté, on fait porter la minéralisation à partir du pied de l'élément rapporté) Deck de piscine : minéralisation sur 3 m entre le bord du deck et le pied de bâtiment
	Jonctions paroi-menuiserie (volet roulant, pièce d'appui de fenêtre, etc.)	La présence de volets d'occultation est nécessairement positionnée au nu extérieur de la paroi, de manière à ne pas présenter de rebord où peuvent s'accumuler les brandons

D'une manière générale, il convient d'identifier tous les recoins (angles) de l'enveloppe bâtiminaire qui sont susceptibles d'être le réceptacle d'une accumulation de brandons. Deux traitements de ces recoins sont possibles :

- protéger par un écran thermique A2-s1, d0 tout matériau combustible qui jouxte cette zone d'accumulation ;
- orienter différemment le recoin pour qu'il ne constitue plus une zone d'accumulation (ex. : en inclinant toute surface horizontale avec un angle de 20° (source : [AS-3959 \[10\]](#))).

CONCLUSION

Ce document constitue un premier guide français de protection des bâtiments contre l'incendie de forêt en zone WUI déterminée en fonction du niveau d'exposition, à l'image de ce qui a déjà été proposé aux USA ([guide du groupe d'assurances FM](#)), Canada ([guide du CNRC](#)), Australie ([standard AS-3959](#)).

Dans cette première version, la protection est obtenue uniquement en procédant à l'éloignement des multiples foyers d'incendie, à la fois les éléments du massif forestier et tous les foyers secondaires proches du bâtiment, naturels ou artificiels, qui sont allumés secondairement par l'incendie.

Une interprétation a été fournie dans ce guide à certaines prescriptions de l'approche descriptive de la [NT2015\[4\]](#), et la protection contre les effets toxiques a été abordée.

Une approche performantielle simplifiée est intégralement décrite pour permettre de déterminer ces éloignements.

Un premier ensemble de foyers secondaires types a été décrit pour le traitement de cette approche simplifiée.



A DÉTERMINATION
DU FACTEUR DE VUE

B RÉALISATION D'ÉTUDE
SUR UN SCÉNARIO FICTIF



ANNEXE

A

Le facteur de vue est déterminé à l'aide de trois formulations de calcul différentes :

- la formulation « AS » : formulation empirique fournie par la norme Australienne AS-3959 APPENDIX B, qui suppose un front de flamme de largeur infinie ;
- la formulation « Ana » : une formulation empirique, détaillée ici à partir de formulations simples [24], tenant compte de la largeur finie du front de flamme ;
- la formulation « MC » : une formulation de simulation de Monte-Carlo de « lancer de rayons » (ray-tracing), qui tient compte également de la largeur du front de flamme.

Validation des formulations

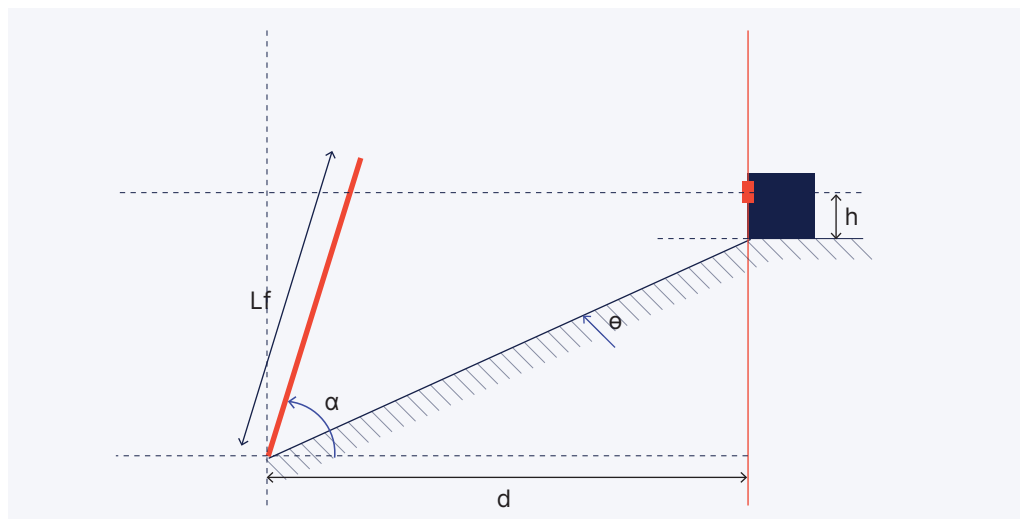
Les formulations AS et Ana ont fait l'objet de nombreuses validations par des organismes internationaux, ce qui n'est pas le cas de la formulation MC qui a été développée par l'Université d'Aix-Marseille [27]. Sa méthode particulière de « ray tracing » la rend très différente des deux autres approches empiriques. Elle est validée dans l'article Billaud et al (2010) [27].

Paramètres d'entrée

Les trois formulations employées ici partent des mêmes paramètres d'entrée (cf. **Figure A-1**):

- **les paramètres de géométrie de la flamme :**
 - **a** (non représenté sur la figure car perpendiculaire au plan de représentation) : largeur du front de flamme, prise égale à la largeur du foyer primaire ou secondaire (sauf pour la formulation AS-3959 où cette largeur est infinie),
 - **L_f** : hauteur de flamme,
 - **α** : angle d'inclinaison de la flamme par rapport à l'horizontale,
- **les paramètres de caractéristique de la cible :**
 - **h** : hauteur de la cible par rapport au pied de bâtiment,
 - la cible a une surface très petite mais a une certaine orientation : elle est prise systématiquement orientée suivant la verticale du lieu,
- **les paramètres de positionnement de la cible par rapport à la flamme :**
 - **d** : distance horizontale entre le pied de flamme et le pied de bâtiment,
 - **θ** : pente du terrain entre le pied de flamme et le pied de bâtiment (positive ou négative).

Figure A-1
Configuration du
calcul de facteur de vue



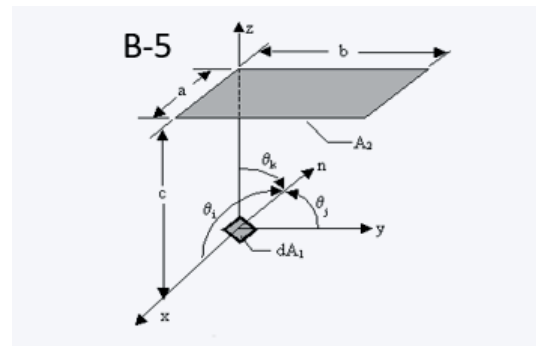
Le calcul du facteur de vue est répété pour une gamme d'angle d'inclinaison de la flamme d'une inclinaison nulle à l'inclinaison maximale permise par le terrain, avec un pas de 5°. Ensuite, le facteur de vue maximum est retenu (à l'identique de la méthode utilisée dans l'AS-3959). Dans une approche également sécuritaire, on retient comme valeur du facteur de vue la valeur maximale des 3 formulations.

Description de la formulation Ana

Les deux autres formulations ont été décrites par ailleurs, AS dans l'AS-2959 [10] et MC dans Billaud et al (2010) [27]. La formulation Ana est détaillée ici : elle consiste à partir de la formulation simple du catalogue d'Howell [24] qui est la plus proche des configurations du présent guide (cf. **Figure A-2**), à savoir la configuration B5, pour l'appliquer à ces configurations. Cette configuration B5 est ici restreinte à $\Theta_i=0$, donc à $\Theta_j=\pi/2$ Θ_k .

Figure A-2

Configuration B5 du catalogue de Howell [24]



On note $F_{B5}(a,b,c,\Theta_k)$ le facteur de vue fourni par la configuration B-5.

Du fait des paramètres d'entrée du problème (cf. plus haut), la flamme est inclinée tandis que la cible est toujours verticale. La configuration B-5 suppose le contraire. Un changement de repère est donc appliqué

Les variables intermédiaires (cf. **Figure A-3**) suivantes sont définies dans ce changement de repère :

Axe Y : passant par la cible, cet axe est parallèle à l'axe de la flamme ;

angle droit (permettant de se ramener à la configuration B-5) : il est situé entre l'axe de la flamme et le chemin le plus court entre la cible et l'axe de la flamme ;

δ : angle entre l'axe Y et l'axe reliant le pied de flamme et la cible (angle $> 0^\circ$) ;

σ : angle entre l'axe Y et l'axe reliant le haut de la flamme et la cible (angle $> 0^\circ$) ;

k : distance entre le pied de flamme et la cible ;

c : distance entre l'angle droit et la cible (paramètre semblable à celui de la configuration B-5) ;

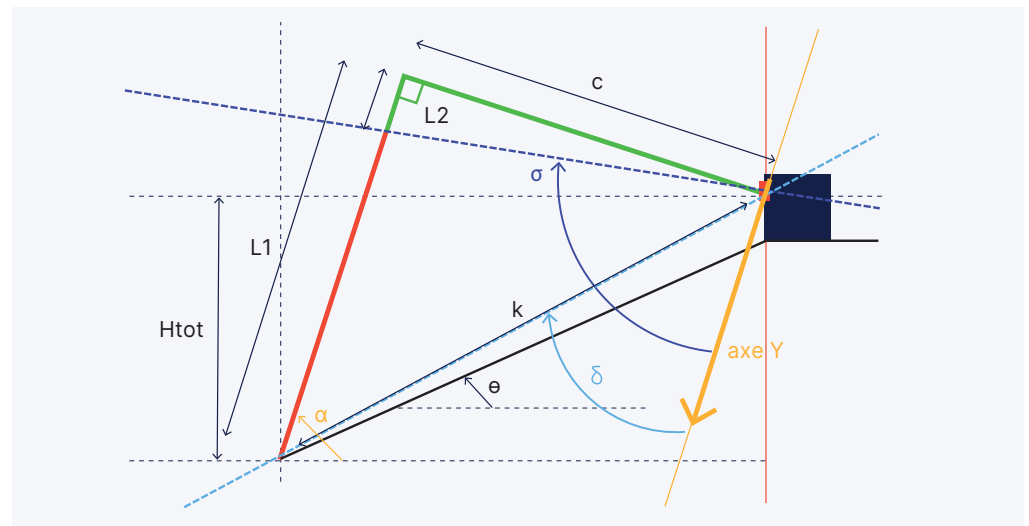
Htot : distance verticale entre le pied de flamme et la cible ;

L1 : la portion de flamme qui se situe entre le pied de flamme et l'angle droit ;

L2 : la portion de flamme qui se situe entre le haut de flamme et l'angle droit.

Figure A-3

Variables intermédiaires



Les valeurs des variables intermédiaires sont données par les formules suivantes :

$$\begin{aligned}\delta &= \alpha - \tan^{-1} \left(\frac{d \tan \Theta + h}{d} \right) \\ \sigma &= \tan^{-1} \left(\frac{1}{\frac{1}{\tan \delta} - \frac{L_f}{c}} \right) [+ \pi, \text{ si } \sigma < 0] \\ k &= \sqrt{H_{\text{tot}}^2 + d^2} \\ c &= k \sin(\delta) \\ H_{\text{tot}} &= d \tan \Theta + h\end{aligned}$$

La résolution du problème conduit à distinguer quatre cas (cf. **Figure A-4**) :

cas 0 : point cible dans la flamme, ce qui conduit au cas « immersion flamme » ;

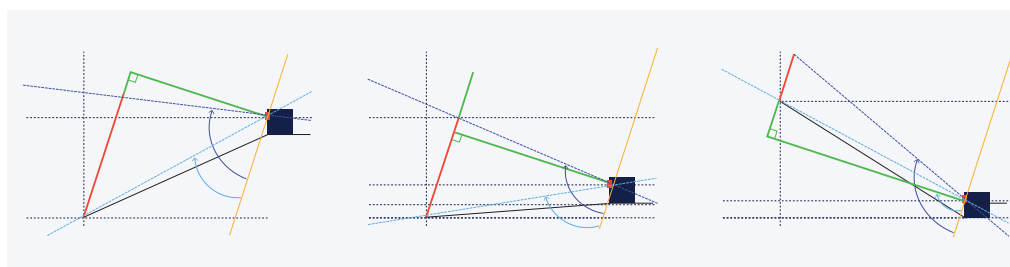
cas 1 : $\delta < \pi/2$ et $\sigma < \pi/2$: l'angle droit est positionné au-dessus du pied et du haut de la flamme ;

cas 2 : $\delta < \pi/2$ et $\sigma > \pi/2$: l'angle droit est positionné entre le pied et le haut de la flamme ;

cas 3 : $\delta > \pi/2$ et $\sigma > \pi/2$: l'angle droit est positionné en dessous du pied et du haut de la flamme.

Figure A-4

de gauche à droite :
illustration des cas 1, 2 et 3



Suivant le cas, le facteur de vue F est donné par la relation suivante :

Table A-3

Détermination
du facteur de vue

CAS 1	CAS 2	CAS 3
$F = F_{B5}(a, L_1, c, \alpha) - F_{B5}(a, L_2, c, \alpha)$ avec : $L_1 = c \tan \left(\frac{\pi}{2} - \delta \right)$ $L_2 = c \tan \left(\frac{\pi}{2} - \sigma \right)$	$F = F_{B5}(a, L_1, c, \alpha) + F_{B5}(a, L_2, c, \pi - \alpha)$ avec : $L_1 = c \tan \left(\frac{\pi}{2} - \delta \right)$ $L_2 = c \tan \left(\sigma - \frac{\pi}{2} \right)$	$F = F_{B5}(a, L_2, c, \pi - \alpha) - F_{B5}(a, L_1, c, \pi - \alpha)$ avec : $L_1 = c \tan \left(\delta - \frac{\pi}{2} \right)$ $L_2 = c \tan \left(\sigma - \frac{\pi}{2} \right)$

ANNEXE

B

RÉALISATION D'ÉTUDE SUR UN SCÉNARIO FICTIF

La présente annexe explicite sur un cas d'étude fictif comment appliquer la méthodologie d'approche performantielle simplifiée, entièrement réalisable à partir du présent guide et de guides complémentaires existants ([guide INRAE \[9\]](#), complément sur l'effet toxique du guide PPRT [\[14\]](#)).

Le scénario de ce cas fictif est la demande de la part d'un propriétaire d'un permis de construire pour un bâtiment en sous-lotissement sur une parcelle du terrain à côté d'un bâtiment principal d'habitation existant. Le bâtiment et la propriété existent bien dans la réalité, seul le scénario est fictif. Dans le scénario fictif, la demande est faite par les autorités au propriétaire de vérifier avant d'évaluer la constructibilité du bâtiment en sous-lotissement, que le bâtiment principal d'habitation est lui-même bien protégé contre l'incendie de forêt. L'étude présentée ici se concentre uniquement sur l'étude du bâtiment existant.

Dans un scénario fictif, les autorités sont favorables à ce que cette étude se fasse par approche dérogatoire performantielle. Le bâtiment est situé dans une zone d'aléa de niveau moyen dans la partie jardin et de niveau exceptionnel dans la forêt voisine (cf. [Figure B-1](#)).

Figure B-1

à gauche : vue aérienne
du bâtiment existant
dans son environnement
ornemental et forestier,
à droite : carte d'aléa
existant au niveau du site
d'étude



Dans le scénario fictif, la stratégie 3 de protection est choisie (cf. *section 7*), faisant porter la protection sur l'enveloppe extérieure de la totalité du bâtiment : l'ensemble du bâtiment doit pouvoir faire office de refuge temporaire pendant 30 min pour les habitants pendant le passage de l'incendie sur la zone.

On choisit de réaliser l'étude par approche performantielle simplifiée décrite dans le présent guide.

Du fait de l'approche performantielle simplifiée, on inventorie l'ensemble des cibles et leurs matériaux sur les différentes façades (*section 8*) et des sources auxquelles ces cibles sont exposées (*section 9.2.2.1*).

On va suivre ci-après l'application pas à pas de l'approche performantielle simplifiée telle qu'elle est détaillée dans la *section 9.2.2*.

Inventaire des éléments cibles

La figure ci-dessous pose une convention de numérotation des façades du bâtiment.

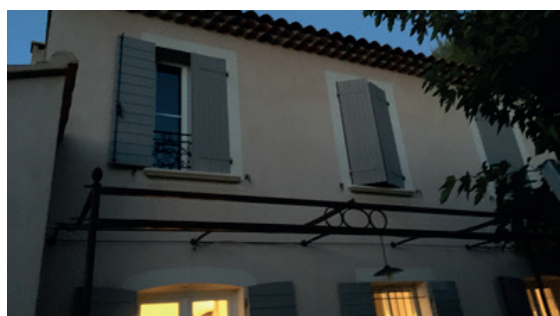
Figure B-2
Repérage des façades
du bâtiment



Concernant les parties principales d'ouvrage, les éléments cibles sont peu nombreux sur ce bâtiment (cf. **Table B-1**). Les parois et la toiture sont maçonnées (cf. **Figure B-3**). Les éléments présentant une vulnérabilité à déterminer par calcul sont repérés par une croix et feront l'objet du calcul d'exposition.

Table B-1
Éléments vulnérables des
parties principales d'ouvrage

FAÇADES CONCERNÉES	ÉLÉMENTS CIBLES	VULNÉRABILITÉ AU FLUX THERMIQUE
Toutes les façades	Vitrage+châssis (fenêtres et porte-fenêtres) avec volets bois	X
	Porte d'entrée et porte de garage en bois	X

Figure B-3Différentes vues
de l'habitationvue des
façades 1 et 4vue de
la façade 3vue de
la façade 2

Les éléments particuliers
sont décrits dans la **table B-2**.

Les éléments présentant
une vulnérabilité sont soit :

- déjà protégés ;
- à évaluer par calcul,
ils sont alors cochés
d'une croix (pour calcul
d'exposition plus bas) ;
- à protéger selon
la protection qualitative
indiquée.

À noter

L'analyse ne traite pas
des éléments d'exploitation
du bâtiment
(ex. : éléments visibles
sur photo stockés le long
de la maison, facilement
déplaçables : tuyau arrosage,
roue de charrue décorative
le long de la façade 4, etc.)

Table B-2

Éléments particuliers de l'enveloppe qui
présentent une vulnérabilité à l'incendie extérieur

CATÉGORIE	DESCRIPTION DÉTAILLÉE	VULNÉRABILITÉ AU FLUX THERMIQUE	VULNÉRABILITÉ AUX BRANDONS
Éléments traversants	Façade 4 - Module extérieur de pompe à chaleur (PaC)	X	Protection qualitative : à mettre dans cage, avec bords alu et grillage de maille ≤ 5 mm
	Conduit de cheminée	Entièrement maçonné et couvert	
	Compteur électrique	Suffisamment éloigné de l'habitation	
Éléments rapportés	Gouttières	La seule gouttière (façade 2) est en zinc	
Points singuliers	Jonctions toiture-paroi	Génoises maçonnées fermées, pas de vulnérabilité	
	Jonction paroi-sol	Paroi maçonnée, sol minéral (gravier, terrasse en dur), pas de vulnérabilité	Seuls les pieds de porte en bois sont des points d'accumulation de brandons - épaisseur importante des volets bois et portes, pas de vulnérabilité
	Jonction maison-garage	Parois maçonnées	

Inventaire des éléments sources

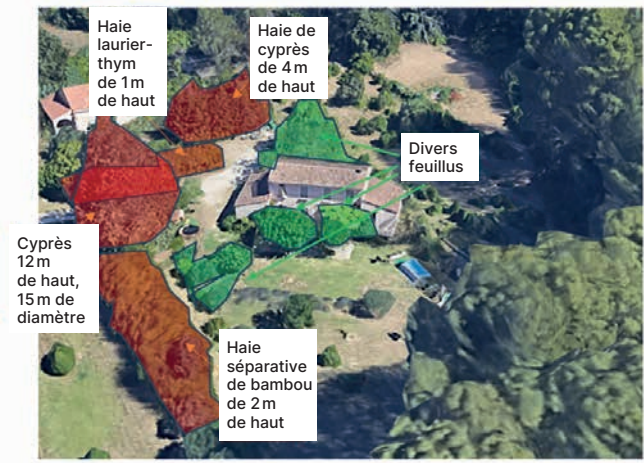
La table ci-dessous présente les différents éléments sources présents sur la propriété à moins de 100 m de l'habitation. Les éléments présentant un potentiel fort de flux thermique ou de brandons sont cochés d'une croix (pour calcul d'exposition plus bas).

Table B-3
Éléments sources

CATÉGORIE	DESCRIPTION DÉTAILLÉE	EMISSION DE FLUX THERMIQUE	EMISSION DE BRANDONS
Élément artificiel	- Serre jardinière recouverte de film plastique ; - Balançoire (sièges plastique)	Très peu de matière combustible	
	Parking auto (visible sur Figure B-4)	Éloigné de la maison, et beaucoup d'autres zones possibles de stationnement plus éloignées (dans l'herbe basse du jardin au Nord-Ouest notamment)	
Végétation ornementale	Arbustes collés à la maison (cf. Figure B-3)	Espèces uniquement à risque faible, pas prises en compte (cf. explication usage guide INRAE en section 9.2.2.1)	
	Grands arbustes et arbres isolés dans le jardin (cf. Figure B-4)	Espèces uniquement à risque faible, pas prises en compte (cf. explication usage guide INRAE en section 9.2.2.1)	
	Haies de cyprès, de laurier-thym, de bambou et grand cyprès isolé (cf. Figure B-4)	X	X
Végétation naturelle	Lisière continue de forêt	X	X

Figure B-4

Localisation des haies à proximité immédiate du bâtiment



Localisation de la lisière du massif forestier voisin



La **Figure B-5** indique la discrétisation qui est effectuée sous QGIS pour les haies, le cyprès isolé et la lisière forestière. Ces éléments sont discrétisés par des disques de 3 m car :

- la lisière de forêt est un foyer continu présentant une concavité : comme indiqué en *section 9.2.2.2* (traitement des foyers continus), il convient donc de discrétiser la lisière en petits foyers individuels ;
- les haies et le cyprès isolé bien que plutôt linéaires, sont de longueur bien inférieures à 100 m.

À noter

- l'image de droite de la **Figure B-4** révèle des ombrages qui donnent l'impression que la lisière est plus proche du bâtiment, qu'on retrouve sur la **Figure B-5** ;
- on arrête ici la discrétisation de la lisière forestière volontairement à une distance de 50 m : le point le plus éloigné de la lisière se trouve à 50 m du bâtiment, car on a pu constater que les points situés plus loin n'apportent plus de contribution majeure au flux reçu par les façades 1 et 2 ;
- tous les points de discrétisation du massif forestier, des haies et du cyprès qui se trouveraient derrière les points visibles sur la **Figure B-5** sont en fait écrantés par les points visibles, et donc ne sont pas pris en compte ;
- les points cibles sont pris aux coins de la maison, positions les plus proches des sources pour chaque façade ;
- pour rappel : le calcul d'exposition sera majoré pour toute hauteur de cible sur la façade et pour toute inclinaison possible de la flamme, donc il n'est pas nécessaire pour l'approche performantielle simplifiée de repérer si les fenêtres sont situés au RdC ou au 1^{er} étage, le raisonnement est majorant pour tous les étages.

Figure B-5

Localisation des points sources de discrétisation des haies, du cyprès isolé et de la lisière de forêt, et localisation des points cibles



Critères de vulnérabilité

Notons que nous n'avons ici que des foyers secondaires de type ornemental ou massif forestier, autrement dit les durées d'exposition ne sont que de 2 min (pas de foyer dont la combustion durerait 30 min).

Comme indiqué dans la *section 9.2.2.4*, le choix est fait des seuils critiques simplifiés suivants :

- pour les vitrages et châssis, et pour le plastique du module extérieur de la PaC (on traite la PaC conformément à la note sous la **Table 10-1**), la face exposée au feu doit recevoir un flux maximal de 8 kW/m^2 pour être non vulnérable ;
- pour les volets bois d'épaisseur $>12 \text{ mm}$, du fait que l'exposition n'est que de 2 min, le seuil critique de pénétration du feu n'est jamais atteint (critère 4 de la **Table 9-9**) et le noircissement des volets si l'exposition excède 25 kW/m^2 (critère 1a, 3 de la même table) n'engendre pas de dégradation de l'effet occultant. Pour rappel, il faut bien s'assurer que les volets bois ne présentent pas de fissure ou de jour ayant une surface totale équivalente à un disque de plus de 5 millimètres de diamètre, sans quoi le vitrage derrière sera exposé également à un flux trop important.

Si ces seuils sont dépassés pour le point cible, comme le bâtiment est existant et non à l'état de projet, faute de pouvoir éloigner la source (ce qui est possible en phase de conception d'un projet), il conviendra de la réduire en taille (donc en intensité), voire de la supprimer. On constate que si tous les volets sont fermés, l'habitation est quasiment en auto-protection malgré son entourage de foyers secondaires, à l'exception du module extérieur de PaC qu'il convient de protéger.

On applique la même logique que la NT2015, qui impose de faire porter la performance de protection soit sur la menuiserie (vitrage et châssis), soit sur l'occultant.

On effectue toutefois le calcul pour la menuiserie sans que les occultants ne soient fermés : comme il y a un certain nombre de fenêtres (env. 10-12) sur le bâtiment au RdC et au 1^{er} étage, et qu'il en suffit d'une qui soit ouverte pendant le sinistre pour que le volet bois ne serve pas à son rôle de protection, on évaluera tout de même le critère du vitrage de 8 kW/m^2 pour la suite de l'étude.

Calcul de l'exposition des éléments cibles

La pente du terrain est parfaitement négligeable sur toute la propriété : on prend donc une pente nulle.

On effectue le calcul d'exposition façade par façade, en exposant chaque façade uniquement aux sources qui lui font face. Tous les couples de points sources-cibles pour lesquels le calcul se fait sont détaillés dans la table ci-dessous. On choisit pour les distances foyer-cible (cf. 9.2.2.3 *Étape 3.2*):

- pour les fenêtres, de faire un calcul de type « façade cible » ;
- pour la PaC, de faire un calcul plus précis de type « point cible », la PaC étant situé approximativement à mi-chemin entre les deux coins de la façade 4.

Du fait de l'écrantage engendré par le bâtiment ; qui peut faire obstacle au rayonnement entre point source et point cible, les points cible ne voient pas tous les points source de la lisière, des haies et du cyprès isolé. La **table B-4** indique quels points source sont vus depuis les points cibles.

Table B-4

Éléments cible à considérer
pour le calcul d'exposition

POINT OU FAÇADE CIBLE	POINTS DES FOYERS IMPACTANT LA CIBLE
Façade1	Lisière forêt : F1-22 à F1-45 Haie de cyprès : tous les points F2 Haie laurier-thym : F3-4 à F3-9 Grand cyprès : pas exposée Haie de bambou : pas exposée
Façade2	Lisière forêt : F1-2 à F1-45 Pas exposée aux autres foyers
Façade3	Lisière forêt : F1-1 à F1-20 Haie de cyprès : pas exposé Haie laurier thym : pas exposé Grand cyprès : F4-1 à F4-5 Haie de bambou : tous les points F5
Façade4	Lisière forêt : pas exposée Haie de cyprès : tous les points F2 Haie laurier-thym : tous les points F3 Grand cyprès : F4-2 à F4-8 Haie de bambou : F5-7 à F5-13
PaC	Lisière forêt : pas exposée Haie de cyprès : tous les points F2 Haie laurier-thym : F3-1 à F3-7 Grand cyprès : F4-3 à F4-8 Haie de bambou : F5-7 à F5-13

Afin d'attribuer aux sources les propriétés nécessaires au calcul d'exposition, il convient de sélectionner la source type la plus approchante disponible dans le guide (étapes 1.1 et 1.2 de la section 9.2.2), on fait les hypothèses suivantes :

- **lisière de forêt** : forêt Méditerranéenne en cime, on l'assimile à un peuplement mixte pin-chêne, tout en recalculant la hauteur de flamme à partir de la hauteur d'arbre de 15 m : émissivité 120 kW/m², en ajoutant 20 % LFL de 54 m ramenée à 30 m (comme indiqué en précision en section 9.2.2.1 étape 1.2) ;
- **haie de cyprès** : on l'assimile à une haie de cyprès de 5 m de haut, avec recalcul de la LFL à partir de hauteur de cyprès de 4 m, et ajout de 20 % ;
- **haie de laurier-thym** : on l'assimile à une haie de cyprès, avec recalcul de la LFL et ajout de 20 % (linéaire continu) ;
- **grand cyprès isolé** : on l'assimile à une haie de cyprès, avec recalcul de la LFL, ajout de 20 % (linéaire continu) et LFL ramenée à 30 m ;
- **haie de bambou** : on l'assimile à une haie de cyprès, avec recalcul de la LFL. et ajout de 20 % (linéaire continu).

Pour rappel

- on ramène également chaque LFL systématiquement à la valeur juste majorante dans les abaques, sauf quand la valeur juste minorante n'est que 20 % en dessous : c'est le cas pour la haie de laurier-thym, donc on retient une LFL de 2 m dans l'abaque ;
- dès qu'on rencontre une immersion flamme pour un couple de point source et point cible, le calcul est interrompu pour le point cible concerné. Ce dernier reçoit alors un état d'immersion flamme.
- on a affaire ici à des points sources qui sont répartis à plus de 180° autour de chaque point cible, donc on procède en :
 - i. choisissant les 2 directions de vent les plus pénalisantes pour amener l'incendie sur le point cible ;
 - ii. calculant l'exposition uniquement en comptabilisant les points sources qui sont dans le ½ espace situé en amont du point cible ;
 - iii. retenant le maximum des 2 expositions.

Cette dernière hypothèse conduit dans le cas fictif à considérer pour chaque point cible deux calculs d'exposition :

- vent d'Est : prise en compte uniquement de la lisière forêt ;
- vent d'Ouest : prise en compte uniquement de la haie de cyprès, de la haie de laurier-thym, du grand cyprès et de la haie de bambou.

Voici pour illustration un exemple de sélection du facteur de vue dans les abaques : pour le couple constitué en source du point F1-22 de la lisière de forêt et en cible de la façade 2, la distance source-cible étant de 16.6 m (prise au point de la façade 1 qui est le plus proche de F1-22), on lit dans la **Table 9-8**, pour une pente de 0° et pour une LFL de 30 m, que le premier facteur de vue est signalé à 27 % pour une distance de 30 m. Donc avec 16.6 m, on est très proche de la source et donc en immersion flamme.

On donne dans la table ci-dessous les calculs principaux d'exposition et quelques exemples supplémentaires de calcul intermédiaire.

Table B-5

Calcul d'exposition des cibles

CIBLE	EMISSIVITÉ DES FOYERS EN FACE (KW/M²)	LFL DES FOYERS EN FACE (M)	DISTANCES POINT FOYER - CIBLE (M)	ATTÉNUATION LUE DANS LES ABAQUES ET FLUX REÇU RÉSULTANT ; SUIVANT SCÉNARIO	FLUX REÇU TOTAL AU POINT CIBLE
Façade1	Lisière forêt : 120 Haie de cyprès : 49 Haie laurier-thym : 49	Lisière forêt : 30 Haie de cyprès : 20 Haie laurier-thym : 5	Lisière forêt : distances allant de 16 m (F1-23) à 55 m (F1-45) Haie cyprès : de 16 m (F2-1) à 20 m (F2-5) Haie laurier-thym : de 9 m (F3-7) à 15 m (F3-9)	Vent d'Est : - Lisière forêt : LFL=30 m et F1-23 est à moins de 30 m de distance, donc on est en immersion flamme Vent d'Ouest : - Haie de cyprès : LFL=20 m et F2-1 est à moins de 20 m de distance, donc on est en immersion flamme - Haie de laurier-thym : 1 point à 9 % et 5 points à 5 % ⇒ exposition de 16.7 kW/m²	Immersion flamme (haie de cyprès sous vent d'Ouest, lisière forêt sous vent d'Est)
Façade2	Lisière forêt : 120	Lisière forêt : 30	Lisière forêt : de 16 m (F1-23) à 55 m (F1-45)	Vent d'Est : - Lisière forêt : LFL=30 m et F1-20 est à moins de 30 m de distance, donc on est en immersion flamme Vent d'Ouest : pas d'exposition	Immersion flamme (lisière forêt sous vent d'Est)
Façade3	Lisière forêt : 120 Grand cyprès : 49 Haie de bambou : 49	Lisière forêt : 30 Grand cyprès : 30 Haie de bambou : 10	Lisière forêt : de 16 m (F1-23) à 39 m (F1-1) Grand cyprès : de 7 m (F4-5) à 13 m (F4-1)	Vent d'Est : - Lisière forêt : LFL=30 m et F1-20 est à moins de 30 m de distance, donc on est en immersion flamme Vent d'Ouest : - Haie de cyprès : LFL=30 m et F4-5 est à moins de 30 m de distance, donc on est en immersion flamme	Immersion flamme (grand cyprès sous vent d'Ouest, lisière forêt sous vent d'Est)

Façade4	Haie de cyprès : 49 Haie laurier-thym : 49 Grand cyprès : 49 Haie de bambou : 49	Haie de cyprès : 20 Haie laurier-thym : 5 Grand cyprès : 30 Haie de bambou : 10	Haie de cyprès : de 17 m (F2-1) à 22 m (F2-5) Grand cyprès : de 6.5 m (F4-5) à 13 m (F4-2) Haie laurier-thym : de 9 m (F3-7) à 19 m (F3-1) Haie de bambou : de 15 m (F5-13) à 25 m (F5-7)	Vent d'Ouest : - Haie de cyprès : LFL=20m et F2-1 est à moins de 20m de distance, donc on est en immersion flamme - Grand cyprès : LFL=30m et F4-5 est à moins de 30m de distance, donc on est en immersion flamme - Haie de laurier-thym : 1 point à 9%, 7 points à 5% et 1 point à 1% ⇒ exposition de 22 kW/m ² - Haie de bambou : 47 points à 5% ⇒ exposition de 17.15 kW/m ²	Immersion flamme (grand cyprès et haie de cyprès sous vent d'Ouest)
PaC	Haie de cyprès : 49 Haie laurier-thym : 49 Grand cyprès : 49 Haie de bambou : 49	Haie de cyprès : 20 Haie laurier-thym : 5 Grand cyprès : 30 Haie de bambou : 10	Haie de cyprès : de 22 m (F2-1) à 26 m (F2-5) Grand cyprès : de 6.5 m (F4-5) à 13 m (F4-2) Haie laurier-thym : de 13 m (F3-7) à 20 m (F3-1) Haie de bambou : de 20 m (F5-13) à 30 m (F5-7)	Vent d'Ouest : - Haie de cyprès : 1 point à 12%, 3 points à 9% et 1 point à 5% ⇒ exposition de 21.55 kW/m ² - Grand cyprès : LFL=30m et F4-5 est à moins de 30m de distance, donc on est en immersion flamme - Haie de laurier-thym : 7 points à 5% et 1 point à 1% ⇒ exposition de 18.13 kW/m ² - Haie de bambou : 4 points à 5% et 3 points à 1% ⇒ exposition de 11.3 kW/m ²	Immersion flamme (grand cyprès sous vent d'Ouest)

Criticité de l'exposition

Table B-6

Synthèse des expositions

ÉLÉMENT CIBLE	FLUX TOTAL ET CRITICITÉ 8KW/M ² – EN L'ÉTAT	FLUX TOTAL ET CRITICITÉ 8KW/M ²
Façades 1 à 4	● Immersion flamme	● OK si tous les volets fermés
PaC	● Immersion flamme	● Les flux reçus individuels sont tous supérieurs à 8 kW/m ²

Quelle que soit l'état des haies, du fait de la lisière forestière pour les façades 1 à 3 et du grand cyprès pour la façade 4, on n'obtient que des situations d'immersion flamme. Les flux reçus de chaque éléments ornemental (grand cyprès isolé, haie de cyprès, haie de laurier-thym, haie de bambou) pris individuellement sont tous supérieurs à 8 kW/m².

La solution est donc :

- pour protéger les vitrages : une totale fermeture des volets bois qui joueront leur rôle de protection (dans la même logique que la NT2015, on fait porter la protection sur les occultants) ;
- pour protéger la PaC :
 - soit une protection plus importante doit être réalisée pour la PaC : une étude spécifique de mise en protection doit être réalisée par un organisme compétent ;
 - soit les différents éléments ornementaux présents aux alentours (grand cyprès isolé, haie de cyprès, haie de laurier-thym, haie de bambou) doivent être supprimés.

Synthèse des résultats de l'étude de cas fictive

Après application de l'approche performantielle simplifiée (*section 9.2.2*) et de la mise en protection des éléments particuliers de l'enveloppe (*section 10*), les mesures suivantes sont préconisées pour l'objectif de confinement de 30 min des personnes dans le bâtiment entier :

- pour protéger les vitrages des façades : s'assurer de la fermeture de la totalité des volets bois, qui joueront leur rôle de protection, même en immersion flamme de durée 2 min. Il faut bien s'assurer que ces volets ne présentent pas de fissure ou de jour ayant une surface totale équivalente à un disque de plus de 5 millimètres de diamètre, sans quoi le vitrage derrière sera exposé également à un flux trop important ;
- pour protéger la PaC :
 - i. *protection contre les brandons par grillage perforé du module extérieur de PaC ;*
 - ii. *protection contre le flux thermique :*
 1. *soit les différents éléments ornementaux présents aux alentours (grand cyprès isolé, haie de cyprès, haie de laurier-thym, haie de bambou) doivent être supprimés ;*
 2. *soit une protection plus importante doit être réalisée pour la PaC (une étude spécifique de mise en protection doit être réalisée par un organisme compétent).*

Pour la protection du bâtiment contre la toxicité des fumées d'incendie, comme indiqué en *section 4.2.3*, afin de servir de lieu de confinement pendant 30 min, on utilise l'abaque du « complément technique relatif à l'effet toxique du guide PPRT » [14], avec les paramètres « maison individuelle », « exposée au vent » et « conditions 10D ». À la lecture de l'abaque, on établit que l'atténuation de l'air 0.35 correspond à un n50 critique de 2.2 vol/h. Un test d'infiltrométrie d'état initial est à réaliser sur le bâtiment. Suivant le résultat de ce test par rapport au seuil de 2.2 vol/h, la protection doit potentiellement être complétée par les mesures de calfeutrement supplémentaire décrites par le « complément technique toxicité » [14].

RÉFÉRENCES

Références réglementaires

[1] Arrêté du 7 décembre 2020 modifiant l'arrêté du 31 janvier 1986 relatif à la protection contre l'incendie des bâtiments d'habitation

[2] Arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation ;
- Annexe II relative aux valeurs de référence de seuils d'effets des phénomènes dangereux pouvant survenir dans des installations classées

[3] OLD prévu dans le Code Forestier, en particulier art. L321-5-3, art. L 131-10 à L.131-18, art. L.134-1, art. L.134-5 à L.134-18, art. L134-2 et suivants

Références techniques

[4] Note Technique Urbanisme (2015) :
« Note technique du 29 juillet 2015 relative à la prise en compte du risque incendie de forêt dans les documents de prévention et d'aménagement du territoire »

[5] Ordre d'Opérations National feux de forêt et espaces naturels 2024

[6] Brochure DDTM13 (2016)
« Ma maison est proche d'un massif forestier »

[7] ONF (2019)
Guide débroussaillage

[8] ONF (2012) Guide haie

[9] IRSTEA (2016)
Le risque incendie dans les interfaces habitat-forêt – Évaluer l'inflammabilité de la végétation ornementale

[10] Australian Standards (2018) – Corpus de 3 documents constituant la norme Australienne de protection contre les feux de forêt : AS3959, AS1530.8.1 et AS1530.8.2

[11] Guide CNRC (2021) – Guide national (Canadien) sur les incendies en milieu périurbain : lignes directrices sur l'évaluation des dangers et de l'exposition, la protection des biens, la résilience des collectivités et la planification d'urgence afin de réduire au minimum les répercussions des incendies en milieu périurbain

[12] FM Global (2022), Property loss prevention Data Sheet 9-19 Wildfire, USA

- [13]** Guides et rapports techniques PPRT (2008) et autres compléments techniques :
- Caractérisation et réduction de la vulnérabilité du bâti face à un phénomène dangereux technologique thermique (rapport E-ING-07/564b – Efectis France, juil. 2008)
 - Guide de prescriptions techniques pour la résistance du bâti face à un aléa technologique thermique avec pour unique but la protection des personnes (rapport E-ING-07/565c – Efectis France, juil. 2008)
 - Cahier technique de la vulnérabilité du bâti aux effets de thermiques transitoires (réf. : DRA-09-103154-07092D – INERIS ; oct. 2009)
 - Guide de réalisation des diagnostics de la vulnérabilité de l'habitat existant face aux risques technologiques – Version 3 – INERIS ; sept. 2017
 - Guide de prise en compte des risques technologiques dans la conception des logements neufs – INERIS ; sept. 2018
 - Guide de prise en compte des risques technologiques dans la conception des logements neufs : INERIS/CEREMA – mise à jour juil. 2021
 - Référentiel de travaux de prévention des risques technologiques dans l'habitat existant INERIS/CEREMA – mise à jour jan. 2022
- [14]** Guide PPRT – Complément technique relative à l'effet toxique, INERIS/ CETE Lyon, 2013
- [15]** Guide EnvirobatBDM (2016) : « Construire durable en zone à risque d'incendie de forêt. Techniques adaptées à la mise en œuvre de matériaux bois et biosourcés »
- [16]** Rapport « NASH report » du CSIRO (2010) - NASH Steel Framed House Burnover
- [17]** Rapport ICLR(2017) « Why some homes survived: learning from the Fort Mc Murray wildland/urban interface fire disaster » by Alan Westhaver (Institute for Catastrophic Loss Reduction)
- [18]** Cohen J. (1999), Reducing the Wildland Fire Threat to Homes: Where and How Much? Fire Economics Symposium in San Diego, California on April 12, 1999
- [19]** Cohen J. (2004) Relating flame radiation to home ignition using modeling and experimental crown fires. Can. J. Forest Res., 34, 1616-1626
- [20]** Rapport USDA (2011) « Fourmile Canyon Fire Findings »
- [21]** El Houssami M., Mueller E., Thomas J.C., Simeoni A., Filkov A., Skowronski N., Gallagher M.R., Clark K., Kremens R. (2016) Experimental procedures characterising firebrand generation in wildland fires, Fire Technol. 52, 731-75
- [22]** Filkov A.I. et al. (2023), « A review of thermal exposure and fire spread mechanisms in large outdoor fires and the built environment, » Fire Safety Journal, vol. 140
- [23]** Gellie, N. J. H., Gibos, K. E., Mattingley G., Wells T., & Salkin O. (2010). Reconstructing the spread and behaviour of the February 2009 Victorian Fires. In: Wade, Dale D.; Robinson, Mikel L., eds. Proceedings of 3rd Fire Behavior and Fuels Conference; 25-29 October 2010; Spokane, WA. Birmingham, AL: International Association of Wildland Fire
- [24]** Howell, John R. «A catalog of radiation heat transfer configuration factors », 3rd ed.
- [25]** Manzello S., Amand K., Guillaume E., Vallerent S., Hameury S., Hakkarainen T. (2018) FORUM Position Paper The growing global Wildland Urban Interface (WUI) fire dilemma: priority needs for research, Fire Safety Journal 2018, 100 : doi:10.1016/j.firesaf.2018.07.003
- [26]** Australian Standards AS-3959:2018
- [27]** Billaud Y., Kaiss A., Consalvi J.L., Porterie B. (2011), Monte Carlo estimation of thermal radiation from wildland fires, International Journal of Thermal Sciences 50, 2-11
- [28]** Vacca P., Caballero D., Pastor E., Planas E., 2020, WUI fire risk mitigation in Europe: A performance-based design approach at home-owner level, J. Safety Sci. and Resilience, 97-105
- [29]** Mell W., Maranghides A., McDermott R., and Manzello S.L. (2009) Numerical simulation and experiments of burning douglas fire trees, Combustion and Flame, vol. 156, no. 10, pp. 2023-2041
- [30]** Butler B.W., Cohen J.D., Latham D.J., Schuette R.D., Sopko P., Shannon K. S., Jimenez D., Bradshaw L.S. (2004) Measurements of radiant emissive power and temperatures in crown fires. Canadian Journal of Forest Research 34(8):1577-1587.
- [31]** Technical Note NIST TN 2235, Structure separation experiments: sheds burn without wind
- [32]** CETU (2003) Guide des dossiers de sécurité des tunnels routiers, Fasc. 4, Les études spécifiques des dangers
- [33]** Miranda, A.I.; Martins, V.; Cascão, P.; Amorim, J.H.; Valente, J.; Tavares, R.; Borrego, C.; Tchepele, O.; Ferreira, A.J.; Cordeiro, C.R.; Viegas, D.X.; Ribeiro, L.M.; Pita, L.P. (2009). Monitoring of firefighters exposure to smoke during fire experiments and wildfires
- [34]** Andrae M. (2019) Emission of trace gases and aerosols from biomass burning – an updated assessment, ACP, 19(13), 8523-8546
- [35]** Butler, BW (2014) Wildland firefighter safety zones: a review of past science and summary of future needs. International Journal of Wildland Fire 23, 295-308
- [36]** Ragbir P., Kaduwela A., Passovoy D., Amin P., Ye S., Wallis C, Alaimo C., Young T., Kong Z. (2023) UAV-Based Wildland Fire Air Toxics Data Collection and Analysis. Sensors (Basel).;23(7):3561. doi: 10.3390/s23073561
- [37]** Sukitpaneevit M. and Oanh N.T. (2013). Satellite monitoring for carbon monoxide and particulate matter during forest fire episodes in Northern Thailand. Environmental monitoring and assessment. 186. Doi: 10.1007/s10661-013-3556-x
- [38]** Surkova G, Blinov D., Kirsanov A., Revokatova A., Rivin G. (2014). Simulation of spread of air pollution plumes from forest fires with the use of COSMO-Ru7-ART chemical-transport model. Atmospheric and Oceanic Optics. 27. 268-274. 10.1134/S1024856014030105
- [39]** Barnard R.J., Weber J.S. (1979) Carbon monoxide: a hazard to fire fighters. Arch Environ Health. 34(4): 255-7. doi: 10.1080/00039896

AUTEURS ET CONTRIBUTEURS

Bruno GUILLAUME

Directeur Projets
R&I Incendies de Forêt

Mohamad EL HOUSSAMI

Chef de Projets
Ingénierie de Sécurité Incendie / Explosion

Maïkel LOPEZ

Responsable Développement
Réfèrent Infrastructures & Risques Majeurs

Jacky FAYAD

Ingénieur d'études R&I et
Ingénierie de Sécurité Incendie / Explosion

Gildas AUGUIN

Directeur Technique - Ingénierie Incendie
Ouvrages Spéciaux - Responsable Activités Essais OutLabs

COORDINATION ÉDITORIALE ET MISE EN FORME

Agence EDEL - Sandra DECELLE-LAMOTHE, expert risques majeurs
et Mirana METZGER, designer graphique

® EFECTIS

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale.



Efectis France

Route de l'Orme des Merisiers
Espace Technologique
Bâtiment Explorer
91190 SAINT-AUBIN
Tél. : 33 (0)1 60 13 83 80

SASU au capital de 1 512 170 €
SIRET 490 550 712 00031
RCS Evry B 490 550 712
TVA FR 61490550712
APE 7120 B
FOR 236- C