

Vulnérabilités des bâtiments face à l'incendie de forêt

Utilisation des retours d'expérience réalisés en France, aux Etats Unis et en Australie

Auteur : Jean-Brice CORDIER, Envirobat BDM

envirobat **b** **d** **m**
L'intelligence collective pour mieux bâtir

« Incendies de forêt et matériaux biosourcés »

Action financée par :

Région



Provence-Alpes-Côte d'Azur



Ce document a été réalisé dans le cadre de l'action « *Incendies de forêt et matériaux biosourcés* », menée par Envirobat BDM en 2015. Cette action a pour objectif de déterminer des modes constructifs et des solutions techniques applicables aux constructions bois et biosourcée pour leur conférer une protection suffisante vis-à-vis de l'aléa feu de forêt. Cette action se base notamment sur les apports d'un atelier technique constitué de professionnels de la construction bois et biosourcée.

En France, les impacts potentiels d'un feu de forêt sur les bâtiments sont peu connus des professionnels de la construction. Il a donc été nécessaire de réaliser, en amont du travail d'élaboration technique, un « **état de l'art** » sur la question.

Le présent document se veut donc être l'état des connaissances à posséder pour comprendre comment le feu de forêt sollicite les bâtiments et quelles sont ses vulnérabilités.

De nombreux travaux, français et étrangers, ont été consultés. La plupart sont cités au fur et à mesure et la liste complète est présente en fin de document. Ce document ne se contente pas de résumer les conclusions de ces travaux mais présente également des extraits, des données brutes et des photos. Ceci est fait dans un souci de pédagogie et de clarté. Pour avoir l'appréciation la plus juste possible des situations citées, nous vous conseillons de vous reporter aux documents originaux.

UN GRAND MERCI à Lilian PUGNET, doctorant IRSTEA, pour nos échanges et pour m'avoir permis d'accéder à une documentation importante, en premier lieu son excellent mémoire de thèse (soutenu en avril 2015) intitulé « Vulnérabilité des interfaces habitat forêt à l'aléa incendie de forêt ».

UN GRAND MERCI également à Justin LEONARD, chercheur au CSIRO (Australie) pour avoir accepté de correspondre avec moi et pour m'avoir fait bénéficier de son immense expertise.

1. Comprendre le feu de forêt
2. Comment utiliser les retours d'expérience
3. Etat de l'art en France
4. Etat de l'art aux Etats Unis
5. Etat de l'art en Australie
6. **Synthèse : vulnérabilités des bâtiments et vecteurs de propagation**

(Pour accéder directement aux résultats, se reporter à cette partie)

Glossaire et vocabulaire

Bibliographie

Vulnérabilités des bâtiments face à l'incendie de forêt :

1. Comprendre le feu de forêt

Les principales sources utilisées dans cette première partie sont :

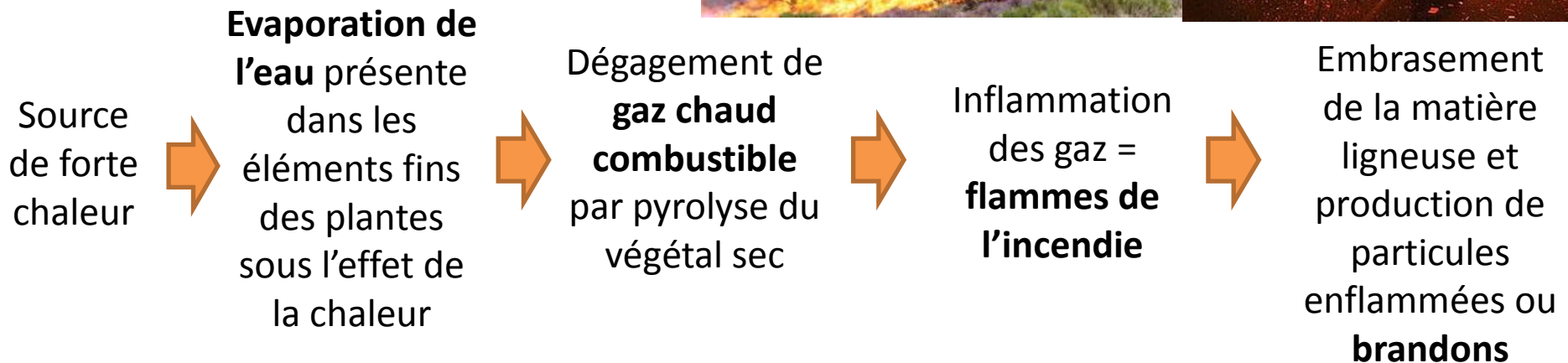
Evaluation de la dangerosité des interfaces habitat/forêt , 3^{ème} partie :préconisations, CEREN, 2005

Vulnérabilité des interfaces habitat-forêt à l'aléa incendie de forêt, mémoire de L. Pugnet, IRSTEA, 2015

Plaquette pédagogique de l'Université de Floride, par Cotton K Randall.

Rapport du CSIRO (Australie) en 2009..

Une fois qu'un feu de forêt a démarré, la propagation du feu par inflammation de la végétation se déroule selon ce schéma :



Le passage de l'incendie est très court (de quelques minutes maximum).

Les causes de départ d'un feu de forêt ne font pas partie de notre sujet.

Les phénomènes de propagation de l'incendie sont les suivants :

- **Rayonnement** de la flamme

Toute source de chaleur transmet de l'énergie calorifique aux objets alentours par rayonnement. Plus on est proche de la flamme plus le rayonnement est fort. Les flammes ayant tendance à s'élever, cela influence le sens de propagation vers le haut de la pente.

- **Convection** des masses d'air chaud

L'air est chauffé par rayonnement, et son déplacement sert de vecteur à la chaleur. L'air chaud ayant tendance à s'élever, cela influence le sens de propagation vers le haut de la pente. Le vent transporte l'air, donc des rafales peuvent coucher les masses d'air chaud et être à l'origine de tourbillons de chaleur influençant localement la direction de propagation de manière imprévisible. Enfin, les mouvements d'air initiés par les phénomènes de convection peuvent servir de vecteur au déplacement de brandons.

- **Conduction** de la chaleur dans un matériau

Les différents matériaux transmettent la chaleur en fonction de leur caractéristiques moléculaires. Un matériau en train de brûler (comme un **brandon** de végétation) accumule de la chaleur et peut la transmettre à un matériau en contact avec lui. C'est ce qui se passe lors d'une saute de feu. Il existe des phénomènes, plus rares et synonymes d'incendies très intenses, où le feu est propagé par conduction dans les souches s'arbres, les racines et l'humus.

1. Comprendre le feu de forêt

Les phénomènes de propagation illustrés par Coton K Randall (University of Florida) :

THREE BASIC MECHANISMS OF HEAT TRANSFER

CONVECTION: The transfer of heat by the movement of rising hot air or gasses



Convection

RADIATION: Heat energy released in all directions from a burning object.



Rayonnement

CONDUCTION: The process by which heat is transferred through direct contact.



Conduction

La **synergie** de ces différents phénomènes procure les conditions les plus favorables à la propagation de l'incendie.

1. Comprendre le feu de forêt

Les sollicitations potentielles du feu de forêt sur les bâtiments :

La propagation d'un feu de forêt à un bâtiment se fait selon les **mêmes mécanismes** que la propagation du feu au sein de la forêt. Par exemple, la chaleur de l'incendie de forêt dessèche les matériaux de construction combustibles situés à l'extérieur et augmente leur inflammabilité.

Les spécialistes des feux de forêt s'accordent à dire que la majorité des bâtiments sinistrés ne l'ont pas été à cause de l'action directe du front de flammes provenant directement de la forêt. Même si celui-ci est de forte puissance, les constructions sont majoritairement menacées par les **projections de brandons** et le rayonnement thermique provenant de **feux disséminés aux abords des constructions**.

Même si le passage de l'incendie de forêt est court, les sollicitations thermiques peuvent être plus longues car les brandons peuvent provoquer des départs de feux sur le bâtiment ou à ses abords avant l'arrivée du front de flammes (sautes de feu) qui se poursuivent après son passage.

L'action étant dédiée aux solutions constructives, notre travail pourra porter sur :

- La réduction des **vulnérabilités propres aux bâtiments**
- Prévenir l'impact des feux disséminés aux abords des constructions par un traitement adéquat des **vecteurs de propagation** potentiels dès lors qu'il s'agit d'éléments appartenant à l'architecture ou à l'aménagement.

Les facteurs liés à la situation topographique, climatique ou écologique (type de peuplement forestier alentour) ne seront pas évoqués dans cette étude. Nous n'établirons non plus d'hypothèses chiffrées sur l'intensité des feux de forêt.

Vulnérabilités des bâtiments face à l'incendie de forêt :

2. Comment utiliser les retours d'expériences

Les retours d'expérience (ou REX) après un feu de forêt consistent à observer et recenser les dommages causés par l'incendie sur les bâtiments lorsqu'il y en a. L'intensité du feu lors du passage est évaluée, tout comme les conditions dans lesquelles le bâtiment se trouvait (débroussaillage effectué, présence de vecteurs de propagation potentiels, etc.). Enfin, les dommages et les sinistres (pouvant aller jusqu'à la destruction totale du bâti) sont relevés et analysés.

Cet exercice permet de **mettre en évidence les vulnérabilités** des bâtiments et les **vecteurs de propagation**. Il est donc indispensable d'en tenir compte pour chercher à améliorer la protection des bâtiments.

Néanmoins, toutes les configurations constructives n'étant pas forcément représentées, les REX ne livrent pas une liste exhaustive des vulnérabilités. On peut néanmoins procéder par analogie.

Enfin, nous n'établirons pas de hiérarchie entre les points de vulnérabilité en se servant de la somme d'informations des REX. Il faut en effet avoir à l'esprit que les destructions totales de bâtiment ne livrent généralement pas la cause de leur inflammation, tout étant détruit.

Vulnérabilités des bâtiments face à l'incendie de forêt :

3. Etat de l'art en FRANCE

3.1. Le contexte / 3.2. Travaux utilisés

3.3. REX de la cellule Pyroscope en Corse

3.4. REX de l'incendie d'Esparron

3.5. REX de l'incendie du Tanneron

3.6. REX de l'incendie de Cavailon

3.7. Conclusion



PHOTO SDIS 06

Zone incendiée à Mandelieu la Napoule après l'incendie de 2007. Feu stoppé par les forces de lutte.

Il y aurait en France aujourd'hui environ 1,5 millions de constructions en situation de débroussaillage obligatoire (dans les régions où le risque incendie de forêt a été identifié) et dont 800 000 sont à moins de 50 m de la forêt.

Le nombre de constructions considérées comme exposées à l'aléa feu de forêt est donc important et est susceptible d'augmenter en raison de la demande en logements et de la disponibilité des terrains à l'interface avec les espaces naturels.

Néanmoins, les différents acteurs de la prévention et de la lutte s'accordent pour dire que les dommages causés par les incendies de forêt sur les bâtiments sont rares et limités et qu'il est extrêmement rare que les habitants soient victimes du feu de forêt (contrairement à d'autres aléas, comme l'inondation). Cela est attribué essentiellement à l'action efficace des forces de lutte qui parviennent presque toujours à se déployer auprès des bâtiments dans le but de les protéger lors de l'arrivée du feu. Les actions de prévention ont pu également faire évoluer favorablement la situation : interdiction de l'habitat mité dans la forêt, postes de vigies, équipements en faveur de la lutte, DFCI, etc. Le débroussaillage autour des bâtiments, à la charge des propriétaires, est quant à lui souvent insuffisant.

La vulnérabilité des constructions au feu de forêt reste néanmoins une problématique majeure. La propagation du feu aux bâtiments génère – en plus des conséquences de la destructions de biens et la mise en danger potentielle des occupants – des conditions défavorables à la lutte et un danger accru pour les pompiers déjà occupés à combattre le feu de végétation.

En France, les principaux organismes techniques et scientifiques référents sur la question de l'incendie de forêt dans les interfaces forêt-habitat sont l'ONF, le CEREN, l'IRSTEA d'Aix en Provence, l'INRA d'Avignon et l'OFME. Des administrations publiques (Directions départementales de l'agriculture et de la forêt, Directions départementales des territoires et de la mer) se sont également montrées actives dans le recueil d'informations et la diffusion des connaissances.

Les RETOURS d'EXPERIENCE (ou REX) utilisés :

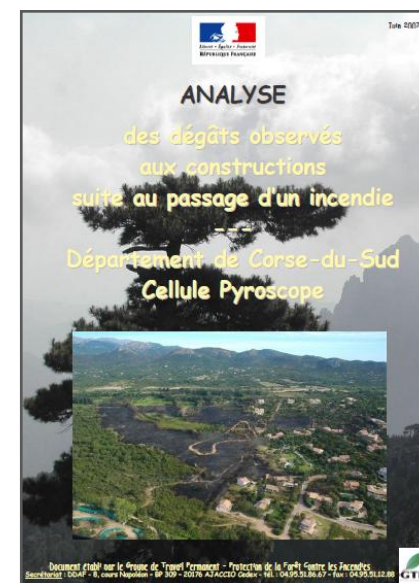
- Rapport de la Cellule Pyroscope en Corse en 2007 (Auteurs : DDAF de Corse du Sud)
- Retour d'expérience de l'incendie d'Esparron en 2005 (Auteurs : Benoît Reymond et Yvon Duché, ONF)
- Retour d'expérience de l'incendie du Tanneron (ONF 2007) et Guide des haies réalisé dans le cadre du projet PyroSudoe (Auteur : Yvon Duché, Rémi Savazzi, Bruno Teissier du Crois, ONF)
- Analyse des sinistres lors de l'incendie de forêt de Cavaillon, extraite de la thèse de doctorat de Lilian Pugnet (2015) avec IRSTEA d'Aix en Provence : *Vulnérabilité des interfaces habitat-forêt à l'aléa incendie de forêt*

Ces REX évoquent principalement des dommages à des maisons individuelles. Il s'agit en effet de la majorité des constructions en zone soumise à l'aléa feu de forêt. Le mode constructif le plus représenté est celui de la maison dite « en dur ».

Enfin, La DDTM des Bouches du Rhône a élaboré un document d'information des propriétaires afin de les guider dans leurs choix constructifs pour une meilleure protection du bâtiment vis-à-vis de l'aléa feu de forêt : il sera évoqué dans la conclusion de ce chapitre.

La cellule Pyroscope est une cellule spécialisée dans l'observation et la collecte de renseignements susceptibles de permettre les retours d'expériences suite aux feux de forêt, dans le département de la Corse du Sud.

La cellule Pyroscope a notamment analysé et fourni un rapport en 2007 sur les maisons sinistrées lors des incendies de Coti Chiavari (2003) Santa Maria di Lotta (Haute Corse, 2003) et Sainte Lucie de Porto Vecchio (2006).



L'étude porte sur 47 constructions touchées, dont 28 cas de destruction totale et 19 cas d'endommagement partiel. Il a été estimé que 965 maisons étaient concernées.

Aucune de ces maisons ne respectait l'obligation légale de débroussaillage et toutes celles où l'action des forces de lutte est avérée n'ont pas subi de dégâts majeurs (sauf une).

Une typologie des facteurs pouvant expliquer la propagation du feu aux bâtiments a été réalisée. La synthèse de chaque type de facteurs est dans la diapositive suivante.

Résumé par facteur expliquant la propagation aux bâtiments :

Maison bois

8 maisons en bois ont été détruites. Aucune description précise du mode constructif utilisé. L'une d'elle, détruite malgré l'intervention des forces de lutte, est dite « de type cabanon ». Les points d'entrée du feu ne sont pas connus, mais il est systématiquement fait état d'une proximité avec des arbres ou des éléments inflammables en extérieur.

Entrée du feu par une ouverture

4 constructions ont été détruites à cause d'une propagation par des fenêtres restées ouvertes lors du passage du feu. 4 autres ont été endommagée ou détruite du fait d'une entrée par les ouvertures fermées et occultées (sans doute insuffisamment, les volets étant à claire voie). La présence de vecteurs de propagation à proximité des ouvertures est évoquée (bouteille de gaz ayant explosé, végétation proche des ouvertures).

Entrée du feu par la toiture

Les personnes ayant réalisé l'étude semble pointer la toiture comme un élément particulièrement vulnérable. 16 cas de destruction ou d'endommagement ont été relevés. Les deux scénarios de propagation identifiés sont :

- La propagation via une **jonction toit / mur combustible**
- Le passage de brandons** (particules incandescentes) **entre les lauzes**

Parmi les quelques photos disponibles, voici le cas d'une pergola recouverte de canisse à laquelle le feu s'est propagé. Le feu de canisse a visiblement enflammé les chevrons. La baie vitrée à proximité, non occultée, a éclaté. Les pompiers ont éteint l'incendie et empêché la propagation à l'intérieur.



L'incendie d'Esparron en 2006 a concerné 179 constructions, principalement des maisons ainsi que quelques locaux agricoles et commerciaux. Parmi celles-ci, 6 ont été touchées intérieurement et 23 ont été touchées extérieurement.

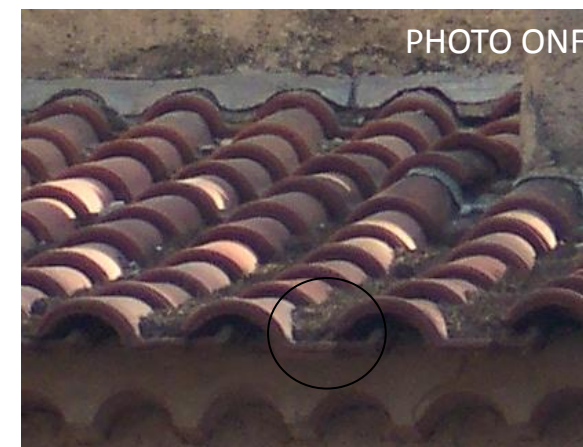
Que retient-on principalement de ce REX ?

- De très nombreux abris proches des maisons ou d'habitations légères (une soixantaine) ont été détruits pendant l'incendie. Ils alimentent en outre la propagation du feu aux autres constructions.
- Une mauvaise étanchéité de la construction aux brandons est apparue comme un facteur de risque : plusieurs toitures ont été enflammées à cause d'une mauvaise qualité constructive. Ce problème concerne également l'habitat ancien, dont les annexes (granges, remises, greniers) sont particulièrement inflammables.
- Des déformations importantes ont été constatées sur des matériaux tels que le PVC et le métal des constructions. Une maison en bois (madriers empilés) exposée à un feu d'intensité faible n'a par contre subi aucun dégât.
- Haies de cyprès, tas de bois à proximité ou encore aiguilles de pin sur la toiture ont été identifiés comme des facteurs aggravants.

Suivent deux cas assez instructifs (pages suivantes).



➤ Cas d'un **feu couvant de l'isolant en toiture** provoquant la destruction totale d'une pièce de la maison



Ci-dessus : tas d'aiguilles de pin sur les tuiles



Le feu a couvé dans l'isolation sous la toiture pendant plusieurs heures (début d'incendie à minuit avec intervention des pompiers puis feu déclaré à 6h00). L'origine probable est la combustion des aiguilles de pin accumulées au dessus des tuiles.

- Cas d'une propagation par un feu de végétation touchant la toiture, ayant provoqué **l'inflammation d'une avancée par sa charpente bois apparente.**



Le feu a été éteint par les forces de lutte.

L'incendie de forêt du Tanneron en 2007 a fait subir des dommages à des constructions à proximité. Ce retour d'expérience a notamment permis d'étudier la propagation liée aux végétaux dans les zones à débroussailler et par les haies.



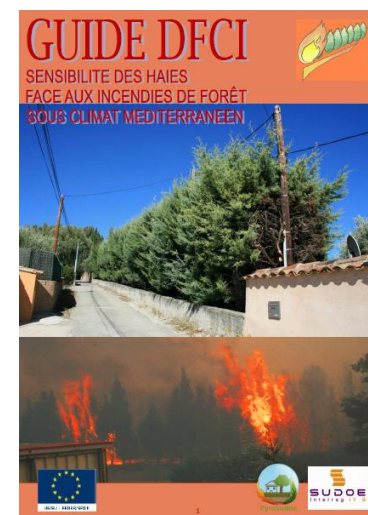
Ci-contre : l'incendie de la haie de cyprès (très inflammable) à droite de la maison a provoqué l'inflammation du volet.

PHOTO SDIS 06



Le retour d'expérience du Tanneron a servi à l'élaboration d'un guide par l'ONF en 2012 dans le cadre du projet européen PyroSudoe : **Guide DFCI : Sensibilité des haies face aux incendies de forêt sous climat méditerranéen**

Les essences sensibles y sont répertoriées.



Extrait du *Guide des haies* : démonstration d'un scénario de propagation passant par les haies.



Commentaire :

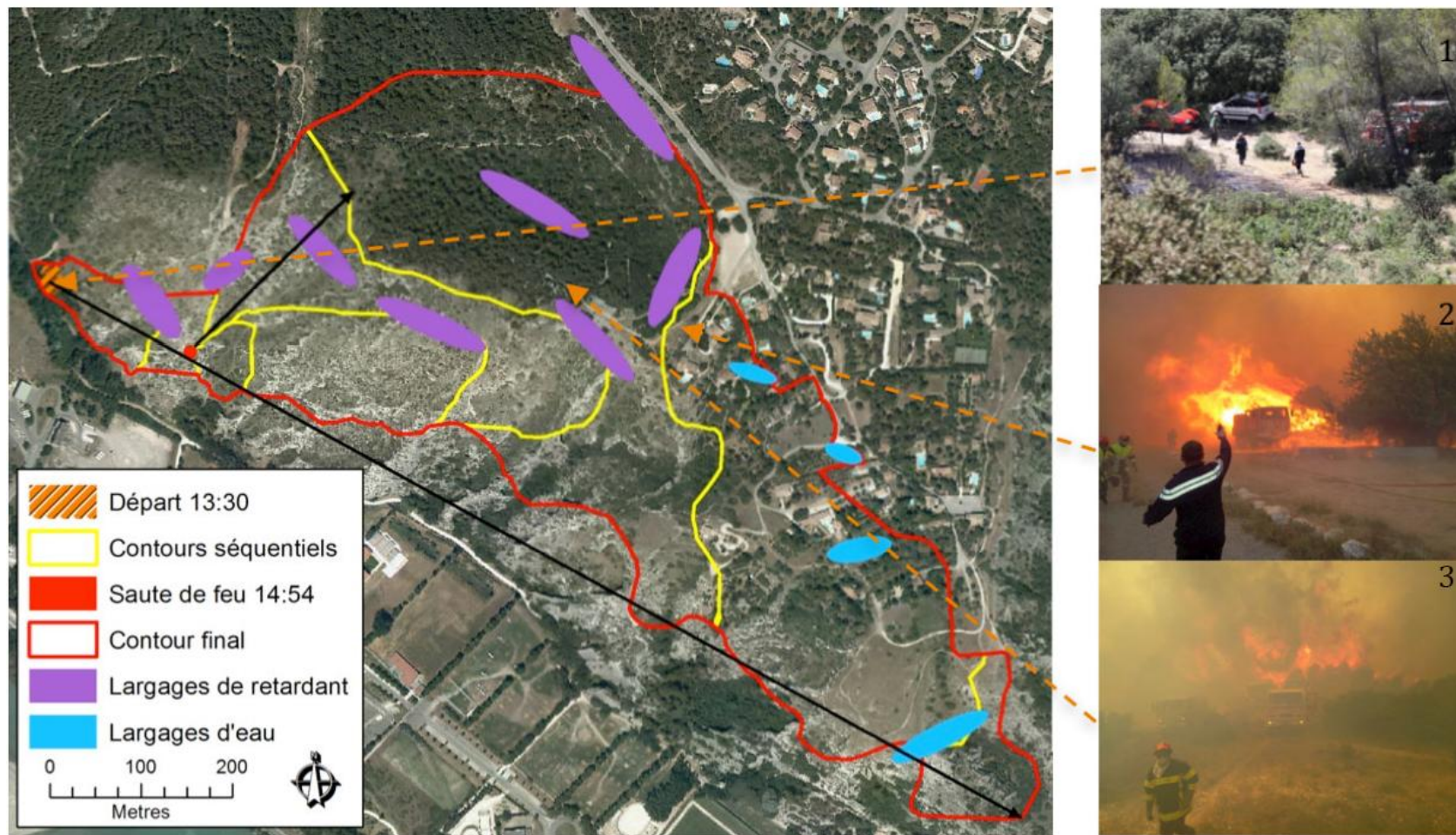
L'aléa feu de forêt peu exister même en dehors de l'interface directe avec la forêt.

On peut avoir un scénario de propagation jusqu'au bâti via un ou des vecteurs (comme les haies) eux-mêmes soumis à l'agression directe du feu de forêt (brandons, flammes, flux thermique).

***Maison de lotissement détruite par un feu de forêt.
La haie du voisin a joué le rôle de vecteur.***

France / 3.6 REX de l'incendie de Cavaillon en 2012 (extrait Thèse L. Pugnet 2015)

Un incendie survenu à Cavaillon en 2012 a fait l'objet d'un retour d'expérience, exposé dans le mémoire thèse de Lilian Pugnet (IRSTEA). L'analyse réalisée identifie des **scénarios de propagation**. La partie suivante présente des extraits du texte original (en noir sur fond gris) décrivant ces scénarios et les photos associées. Mes commentaires sont en [bleu](#).



Ci-dessus : vue aérienne de la propagation du feu de forêt.

Vecteur de propagation

Habitation 6 (CAV_6) : le jardin de cette habitation n'a subi que des impacts localisés sur deux annexes en bois et un banc en bois, atteints par des projections de brandons. La banc situé sous une fenêtre exposée sud-est a provoqué l'endommagement du volet en bois et le noircissement de la façade (Fig. 65), malgré la participation du propriétaire à la lutte, préalablement à l'arrivée des services de secours.



Commentaire :

*Ce scénario met en évidence le fait que le banc en bois a été un **vecteur de propagation** vers un point vulnérable à savoir une fenêtre. **Le volet en bois semble avoir joué son rôle protecteur du vitrage**. Il faut tenir du compte du fait que le propriétaire et les secours sont intervenus.*

Eclatement
d'un vitrage

Habitation 13 (CAV_13) : la façade orientée sud-ouest de cette habitation a été légèrement détériorée, une vitre non occultée a été brisée suite à l'action du rayonnement thermique provenant de l'incendie d'un camion, lui même déclenché par celui d'un stock de bois de chauffe (Fig. 67).

Fig. 67 : Dommages observés sur l'habitation CAV_13 : (a) un stock de bois entre en contact avec le feu, sa combustion entraine celle du camion ; (b) l'incendie du camion impacte par rayonnement le matériel stocké au pieds de la maison et brise la vitre (c)



Commentaire :

Ce scénario met en évidence deux vecteurs de propagation du feu jusqu'au bâtiment : un stock de bois de chauffe et un véhicule.

*Il met en évidence **qu'une vitre non occultée peut être un point d'entrée du feu dans le bâtiment, celle-ci ayant éclaté au contact des flammes du camion.***

Toiture en tuile endommagée à cause d'un dépôt de brandons

Habitation 16 (CAV_16) : cette maison possède également une végétation de pin d'Alep en surplomb de sa toiture. C'est une résidence secondaire, essentiellement entourée d'une végétation haute, bien élaguée. La haie de cyprès, servant de séparation avec la parcelle voisine, par ailleurs non entretenue, a projeté des particules incandescentes, lors de sa combustion, et occasionné de sérieux dommages à la toiture de la maison 16 (Fig. 69a). Séparée d'une distance de 4 m, elle n'a pour autant que très légèrement noirci le volet en bois de la façade en exposition directe (Fig. 69b).



Fig. 69 : Dommages observés sur l'habitation CAV_16 : (a) toiture endommagée par les particules incandescentes de la haie de cyprès en combustion (b) volet en bois (façade nord-ouest) légèrement noirci

Commentaire :

*La haie de cyprès est un vecteur de propagation. Une toiture en tuile semble donc pouvoir être endommagée par le dépôt de **brandons** au dessus de celle-ci (peut être à cause d'aiguilles de pin, comme dans le REX d'Esparron ?) Le volet en bois, pourtant plus proche de la haie enflammée, semble avoir mieux résisté (seulement noirci).*

Auto-inflammation de volets en bois à cause du rayonnement thermique

Habitation 15 (CAV_15) : c'est l'habitation la plus lourdement touchée. Située en haut de vallon, sous la crête, elle possède une forte couverture arborée en surplomb de sa toiture. Durant l'incendie, la végétation morte accumulée sur la toiture a subi les assauts de brandons et enflammé cette dernière . Le feu a encerclé la maison. Au niveau de la façade sud-est, c'est l'effet du rayonnement thermique qui est responsable des dommages sur les volets (Fig. 68b), et des projections de brandons qui ont enflammé un banc en bois au pieds du volet de la terrasse (Fig. 68a). Enfin, une portion de la façade nord-ouest a été fortement endommagée par la combustion d'un établi en bois qui lui était accolé .

Commentaire :

*Des volets en bois plein (a et b) exposés à un rayonnement thermique proche (feu encerclant la maison) peuvent être détruits par **auto inflammation**. Dans ce cas cela n'a visiblement pas suffi à faire exploser le vitrage, le phénomène ayant sans doute engendré un flux thermique insuffisant. Malgré leur destruction, ceux-ci ont peut être joué leur rôle protecteur.*



Fig. 68 : Dommages observés sur l'habitation CAV_8 : (a) volet en bois(façade sud-est) dégradé par la combustion d'un banc en bois accolé atteint par des brandons ; (b) volets façade sud-est partiellement détruit par l'exposition au rayonnement thermique (auto-inflammation) ;

Les retours d'expérience français nous permettent de connaître certains des principaux **points de vulnérabilité** des bâtiments :

→ **toitures** (notamment les débords et la jonction avec la façade si elle est combustible mais aussi par le dessus si la toiture est encombrée de feuilles ou d'aiguilles)

→ **parties vitrées** non - ou mal - occultées ;

et les principaux **vecteurs de propagation** au bâtiment : arbres ou arbustes proches (notamment les haies de cyprès), tas d'aiguilles de pin sur les toitures, abris ou autres constructions combustibles, tas de bois, réserves de gaz, etc.

Le nombre de sinistres analysés étant relativement faible, il est probable que d'autres points de vulnérabilités existent, notamment dans le cas des maisons bois et biosourcées. Celles-ci étant pour le moment peu représentées en région méditerranéenne, il n'existe pas de véritable retour d'expérience sur ces types de construction. Il est donc nécessaire de procéder par hypothèse et par analogie et d'étudier la situation dans des pays où ces types de constructions sont plus représentés (notamment Etats Unis et Australie).

Par ailleurs, la DDTM (Direction Départementale des Territoires et de la Mer) des Bouches du Rhône a élaboré un guide de conseils constructifs destinés aux propriétaires de bâtiments dans les zones soumises à l'aléa feu de forêt. S'il reprend essentiellement les données des retours d'expérience français, ce guide émet aussi l'hypothèse d'autres points de vulnérabilité potentiels :

- Les menuiseries en PVC ou en aluminium, susceptibles de se déformer et de ruiner l'étanchéité pendant le passage du feu
- Des revêtements inflammables : bardage bois, toiture végétalisées
- Les aérations comme point d'entrée potentiel des brandons



Vulnérabilités des bâtiments face à l'incendie de forêt :

4. Etat de l'art aux **Etats Unis**

4.1. Le contexte

4.2. Travaux utilisés

4.3. REX de l'incendie de Los Alamos

4.4. REX de l'incendie de Grass Valley Fire

4.5. Expériences d'attaque de brandons

(USA et Japon)

4.6. Conclusion



Villageois sur le point d'évacuer avant l'arrivée du feu, Californie 2015 (presse américaine)

Etats Unis / 4.1 Le contexte

Les Etats Unis sont connus pour de très grands feux de forêts difficiles à contrôler. Ces incendies nécessitent parfois l'évacuation de milliers de personnes, et la lutte est parfois inutile ou impossible. Sur la période 1990 à 2007, plus de 12 000 maisons ont été détruites par le feu.

De tels scénarios de grands feux ne sont probablement pas possibles en France, notamment grâce à notre système de lutte. Néanmoins, dans certains cas il arrive que les pompiers français ne peuvent pas défendre partout à la fois en raison d'un grand nombre de départs de feux et de vitesses de propagation élevées, comme ce fut le cas lors de l'été 2003 dans le Var. Il est donc intéressant de se pencher sur des retours d'expériences américains. De plus, la majorité des constructions américaines sont en bois – bien que beaucoup plus légères que les constructions en bois européennes.

Etats Unis / 4.2 Travaux utilisés

La partie suivante utilise deux retours d'expérience effectués par le chercheur Jack Cohen (chercheur en physique du feu au USDA Forest Service Missoula Fire Sciences Laboratory et reconnu comme le spécialiste de l'aléa feu de forêt sur les zones urbaines aux Etats Unis).

Les deux retours d'expérience sont celui de l'incendie de Los Alamos en 2000 et celui de l'incendie de Grass Valley en 2007. (Photographies utilisées : USDA)

Nous présenterons également des résultats d'expérimentations américano-japonaises récentes sur l'impact des brandons (utilisations des publications de Manzello *et al*, 2010 2011 2012). Leurs protocoles expérimentaux apportent une vraie nouveauté par rapport à des essais au feu classiques.

Bilan : 235 habitations détruites ou irrémédiablement endommagées

Conditions de l'incendie :

Dans la forêt : feu très intense, se propageant en cimes.

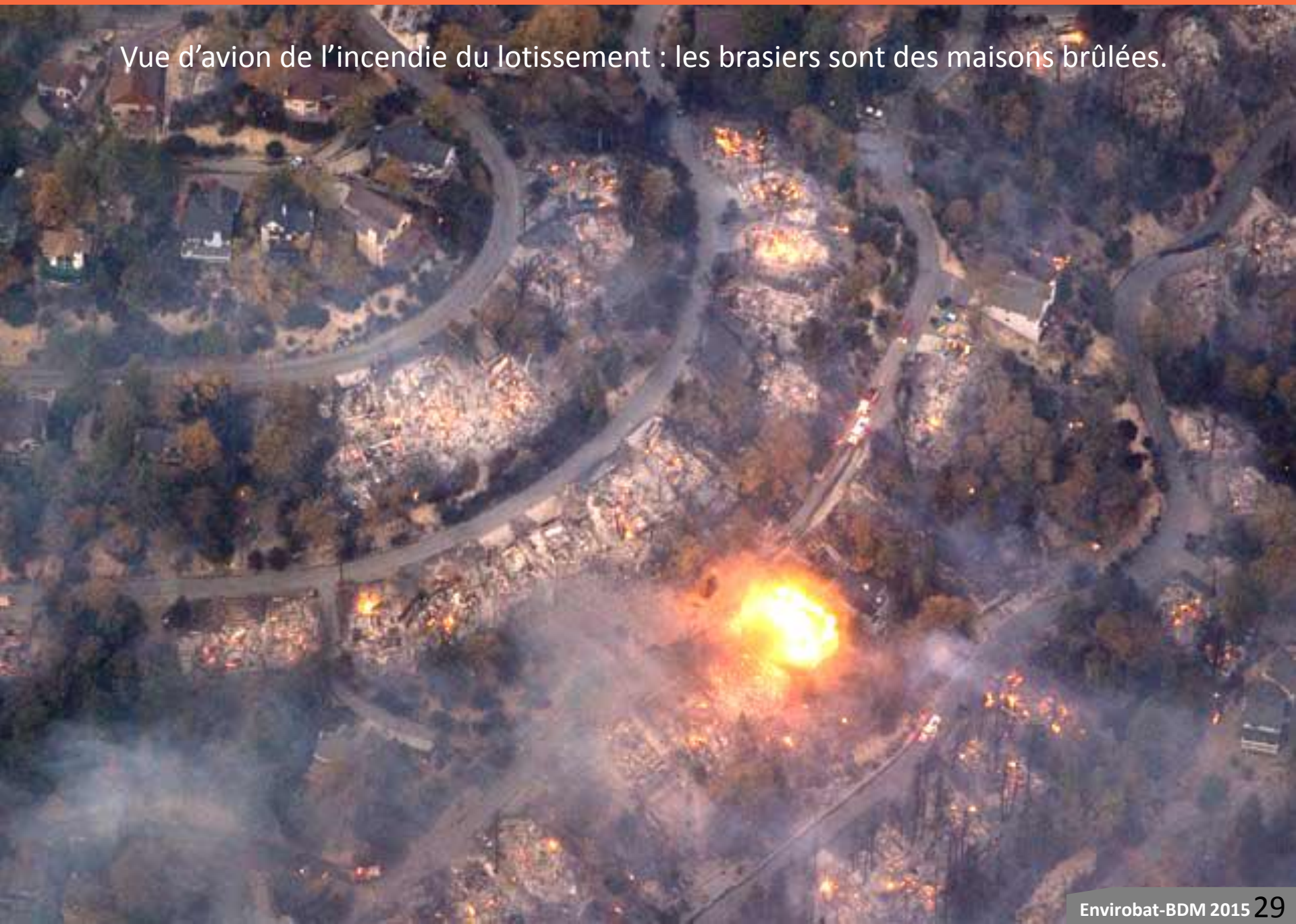
Dans la zone résidentielle : feu de faible intensité se propageant en surface.

Les incendies simultanés de maisons ont entraîné la désorganisation des forces de lutte.

L'inflammabilité des maisons (bardage bois) et la présence **d'amas combustibles** sur ou proches des constructions (aiguilles de pin) ont été identifiés par Jack Cohen comme les principaux facteurs de propagation aux constructions



Vue d'avion de l'incendie du lotissement : les brasiers sont des maisons brûlées.



Les maisons sont presque toutes complètement détruites alors que la végétation n'est que partiellement touchée. **L'incendie de forêt n'était donc que de faible intensité.** La combustion des maisons a augmenté l'intensité de **l'incendie qui s'est propagé de maisons en maisons** et parfois aux arbres environnants.



Vues aériennes après l'incendie, avec les cendres des maisons

Mon commentaire :

Un tel scénario de destruction de masse n'est pas acceptable dans le contexte français. Il semble que l'inflammabilité et la combustibilité des maisons constituent une cause majeure d'un tel scénario, le feu de forêt n'ayant pas été très intense. Il est alors tentant de faire un raccourci « maisons bois = danger »

Cet exemple de maison partiellement touchée est le seul dont je dispose dans la bibliographie américaine.



Figure 32. Home at 26150 Walnut Hills Dr. Thermal exposure from the destroyed home at 26142 contributed to the vinyl sloughing off. Surface fire burned the vinyl siding and under-layment on the northwest side (left) and worked its way up the wall burning the wood siding. Blackened asphalt shingles in the roof valley (center top) are from accumulated needles that burned.

Traduction du texte ci-contre :
La maison 26150 a été exposée au flux thermique de l'incendie de la maison 26142, ce qui a contribué à la perte du revêtement vinyle (*lambeaux blancs*). Le feu en surface a brûlé le revêtement en vinyle et le panneau (*brun clair cartonné*) côté nord est (à gauche) et a réussi son passage jusqu'au mur en brûlant la couche de bois (*planches brun rouge*). Les bardeaux en asphaltés noircis dans la noue sont dus à l'accumulation d'aiguilles qui ont brûlé.

Mon commentaire :

Ce retour d'expérience nous révèle que le mode constructif « bois » de cette maison (et possiblement de bons nombres des maisons détruites) semble très vulnérable du fait de sa légèreté. Ce mode constructif ne ressemble pas à la construction bois européenne et française réalisée dans les règles de l'art, mais plus à de la construction de type « habitation légère de loisir ».

Etats Unis & Japon / 4.5 Expériences d'attaque de brandons sur des bâtiments (années 2010)

Sources et photos utilisées dans cette partie : publications de Manzello et al, 2010, 2011 et 2012.

Le BRI, centre de recherche japonais et le NIST, centre de recherche américain, ont élaboré un générateur de brandons afin d'étudier l'impact de leur projection sur les bâtiments.

Au Japon, le transport de particules enflammées est considérée comme un facteur de propagation dans les feux urbains.

Aux Etats Unis et en Australie, les brandons ont été identifiés comme une cause majeure d'inflammation des bâtiments lors des feux de forêt.



Ici, une expérience de projection de brandons vers un mur contenant une aérations, afin de tester l'étanchéité aux brandons de différentes grilles métalliques placée sur l'aération.



Le générateur de brandons avec sa matière première (bois déchiqueté).

L'attaque des brandons est évaluée à partir des impacts sur un matériau inflammable, généralement un panneau OSB. Les phénomènes observés peuvent être l'ignition (qui fait se consumer le matériau) ou l'inflammation (propage une flamme)



Vulnérabilité des angles



Toutes les expériences ont montré que **l'angle entre le mur et le sol** constituait une zone de dépôt privilégié des brandons (voir photo ci contre, prise avec une exposition longue). Leur accumulation peut provoquer l'inflammation du bas du mur.
(Ci-dessous : inflammation de bardage en vinyle et de bardeaux de red cedar).

Ci-dessous : attaque de brandons sur des noues avec différents angles. Plus l'angle est aigu plus on observe une accumulation, suivie de l'ignition du panneau OSB.



Vulnérabilité des chevrons d'un débord de toiture



L'expérience menée sur une configuration avec un débord de toiture dont les chevrons sont apparents n'a pas permis de confirmer la vulnérabilité de ce point aux brandons. Ceux-ci n'ont pas tendance à s'y loger (contrairement au bas du mur) et aucune ignition n'y a été observée.

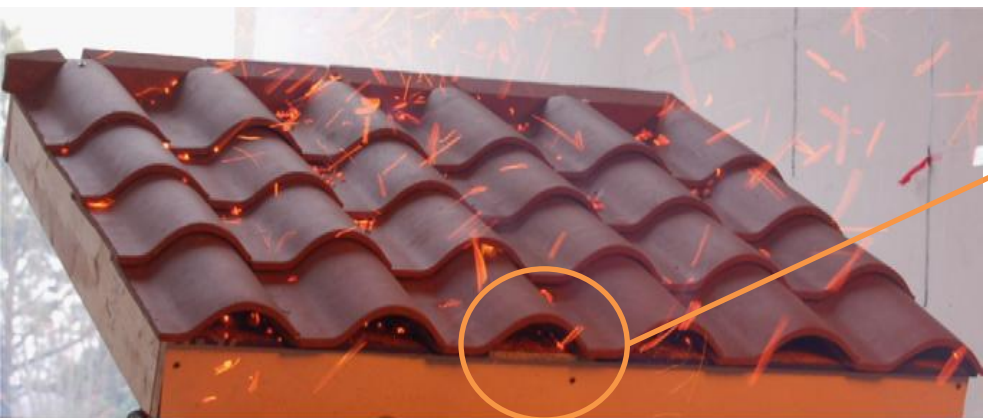


Vulnérabilité des éléments vitrés

Deux types de fenêtres ont été testés : l'une avec coulissant vertical (photo ci contre) et l'autre avec coulissant horizontal. Comme prévu, les brandons s'accumulent dans les cadres de menuiserie. Ce phénomène est logiquement plus marqué avec le coulissant vertical. En revanche, aucune menuiserie n'a subi de dommages suffisant pour provoquer la chute ou l'éclatement du vitrage.



Vulnérabilité de la toiture



Une toiture en tuile soumise à l'attaque de brandons possède un point de vulnérabilité dans l'espace entre la tuile et le bandeau.

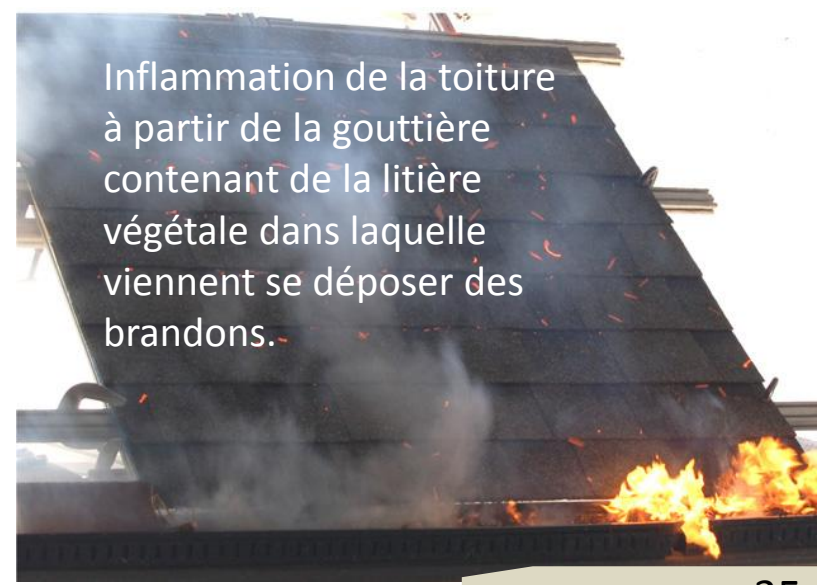
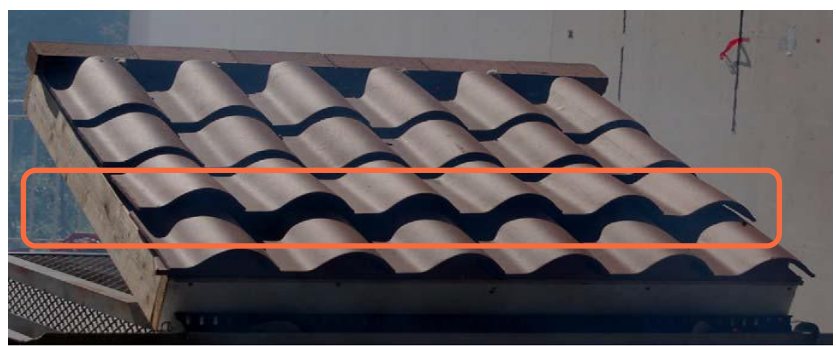


← Par contre, dans le cas où de la litière végétale s'est accumulée sous les tuiles, l'ignition du panneau OSB sous toiture est systématique, même avec le bird stop.

D'après l'expérience suivante, un « stoppe-oiseau » (bird stop) permet de corriger cette vulnérabilité →



Ci-dessous : avec un espace entre deux rangées de tuile, l'entrée des brandons provoque l'ignition du panneau OSB.



Les retours d'expérience ne nous révèlent pas de nouveaux points précis de vulnérabilité, mais ils confirment **la possibilité de scénarios de destruction de masse des constructions** même en cas de feux peu intenses. Il est difficile de conclure sur la résistance des modes constructifs utilisés en l'absence de données précises. Il est généralement admis que les constructions en bois américaines sont beaucoup plus légères qu'en Europe.

Pour le chercheur Jack Cohen, **la réduction de l'inflammabilité des bâtiments est une priorité**, même au sein d'une zone débroussaillée, où ils restent soumis aux impacts du feu de forêt (notamment les brandons).

La recherche américaine et japonaise permet actuellement d'étudier finement l'impact des brandons sur les constructions grâce à un générateur de brandons. Les résultats pourraient conduire à un traitement ciblé et efficace des principaux points de vulnérabilités aux brandons.

Nous ne savons pas s'il existe une approche réglementaire de la question des mesures constructives aux Etats Unis dans les zones soumises à l'aléa feu de forêt. Il est néanmoins possible de trouver des guides et des outils techniques. Certains organismes publics locaux ainsi que les compagnies d'assurance prodiguent des conseils aux propriétaires visant à augmenter la résistance des bâtiments. Ceux-ci ne remettent pas en cause le choix du bois en structure mais se concentrent sur l'aménagement des alentours et sur quelques points de vulnérabilité.

Vulnérabilités des bâtiments face à l'incendie de forêt :

5. Etat de l'art en **Australie**

5.1. Le contexte

5.2. Travaux utilisés

5.3. REX de l'incendie d'Otway

5.4. REX de l'incendie de Duffy

5.5. Apports supplémentaires
d'une synthèse du CSIRO de 2009

5.6. Conclusion



Incendie de forêt à Sydney, en 1994

Australie / 5.1 Le contexte

En Australie, l'incendie de forêt est souvent un phénomène violent et destructeur. La végétation présente a en outre la particularité de produire beaucoup de brandons (sans doute beaucoup plus que la végétation en France). Leur légèreté leur permet parfois de parcourir plusieurs kilomètres et d'être à l'origine de longues sautes de feu.

Au cours des 70 dernières années, plus de 7400 maisons ont été détruites et 290 personnes ont péri dans des incendies de forêt. Des retours d'expérience sur des maisons ayant subi l'impact d'un feu de forêt ont été menés dès 1939.

Les constructions en bois sont majoritaires en Australie. Certains retours d'expérience après incendie, où les modes constructifs ont été relevés, l'illustrent bien.

Australie / 5.2 Travaux utilisés

Les travaux utilisés sont ceux des chercheurs du CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) l'organisme de recherche gouvernemental australien.

Les travaux par le chercheur Caird Ramsay ont permis d'étudier la survie des constructions suite à des grands incendies des années 80 et 90. Il a émis des hypothèses et des préconisations sur les modes constructifs dans les zones soumises à l'aléa feu de forêt. Nous utiliserons les retours d'expérience des incendies de forêt d'Otway en 1983 et de Sydney en 1994.

Ces travaux ont été poursuivis, notamment par les chercheurs Justin Leonard, Raphaele Blanchi et Robert H Leicester à l'origine de plusieurs publications dans les années 2000. L'incendie de Duffy, en 2003, a permis d'effectuer un retour d'expérience détaillé, permettant d'identifier des vulnérabilités ainsi que des scénarios de propagation.

Toutes les photos et illustrations de cette partie sont des documents du CSIRO.

Australie / 5.3 REX de l'incendie d'Otway en 1983

Lors du retour d'expérience d'Otway, 1153 maisons ont été analysées : parmi elles, 720 ont été détruites ou gravement endommagées et 433 non significativement affectées. Nous n'avons malheureusement pas de photos disponibles.

Ce retour d'expérience a permis de tirer des conclusions importantes :

→ **Il réfute l'idée reçue selon laquelle les maisons pouvaient exploser ou s'embraser brutalement sous l'effet du front de flamme.** La plupart des maisons détruites l'ont en fait été une à plusieurs heures après le passage du front de flammes. En revanche, on a pu expliquer d'où venait cette croyance : une fois l'incendie propagé dans la maison il arrive un moment où l'embrasement devient généralisé : cela fait exploser l'ensemble des vitrages et propage brutalement l'incendie à toute la construction. Ce phénomène peut intervenir à cause d'une inflammation par des brandons qui précèdent l'arrivée du front de flammes puis coïncider avec l'arrivée de celui-ci.

→ Les maisons peuvent offrir **un refuge** aux occupants, plus sécurisé qu'une évacuation au dernier moment.

→ **L'action des occupants** est déterminante **avant et après l'arrivée du front de feu** pour couper les mécanismes de propagation aux abords des maisons (initiés notamment par les brandons).

L'étude a également tenté de tirer des conclusions générales sur des types constructifs susceptibles d'expliquer les destructions de maisons. Mais les résultats ne nous semblent pas suffisamment significatifs et l'analyse peut être biaisée par le fait que les causes réelles de destruction de la maison ne sont pas connues (les indices ayant disparu avec la destruction de la maison). En outre certains résultats entrent en contradiction avec les résultats d'analyse du même type sur des REX de 1944 et 1968.

Le retour d'expérience d'Otway a aussi permis d'observer des impacts de l'incendie sur les maisons et donc d'identifier des mécanismes de propagation :

Effets du flux thermique :

Le flux thermique du front de flamme est mortel pour les personnes directement exposées, pendant son pic qui dure de 60 à 90 secondes, mais ne semble pas avoir eu beaucoup d'impacts sur les constructions (peu d'entre elles présentent des signes comme une peinture boursouflée ou du bois roussi).

Les parties vitrées y sont les plus sensibles. Des grilles métalliques parfois placées devant les vitrages ont eu un effet protecteur mais celui-ci n'a pas toujours été suffisant.

Les éléments extérieurs en PVC ne se sont pas enflammés mais ont été déformés.

Effets du contact direct avec les flammes :

Le contact direct avec les flammes n'a pas non plus été considéré comme une cause majeure d'inflammation.

En effet, un nombre important de débords de charpente en bois se sont retrouvés au contact direct des flammes mais sans que cela suffise à les enflammer. Les débords de toiture ayant pris feu l'ont visiblement été davantage sous l'action des brandons.

Effets des brandons :

Les brandons ont été considérés comme le principal facteur d'inflammation des bâtiments. L'auteur évoque une « **pluie de brandons** » durant l'incendie, celle-ci pouvant commencer à tomber sur les maisons plus d'une demi heure avant l'arrivée du front de flammes et se poursuivre des heures durant.

Les brandons ont été retrouvés **logés dans les interstices et les recoins** : seuils de porte et de fenêtre, espaces dans les toitures (sous le faîtage notamment, ou au niveau de la corniche).

Les espaces extérieurs ouverts sous plancher offrent également un point d'attaque privilégié pour les brandons. Il a été constaté que qu'avoir des matériaux non inflammables au niveau du sol est une protection efficace contre les brandons déposés contre la construction.

Le tableau page suivante liste un certain nombre de points d'ignition du bâtiment sous l'action des brandons.

Effets des débris :

Les dégâts causés aux constructions par le feu ainsi que le vent fort (des vitesses de vent de 120 km/h ont été mesurées pendant cet incendie) provoquent l'envol de débris. Il peut s'agir de débris inflammables venant se loger contre les maisons. Ceux-ci peuvent aussi venir briser des vitrages et permettre l'entrée des brandons à l'intérieur. Les volets se sont montrés être une protection efficace des fenêtres contre les débris.

Le retour d'expérience de l'incendie de forêt à Sydney en 1994, qui a détruit plus de 200 maisons, a permis de tirer des conclusions similaires à celui d'Otway.

Résumé des points d'ignition à cause du dépôt de brandons (observés sur des maisons rescapées du feu)

Evidence of ignition	Number
Timber decks	19
Eave fascia boards and or gutters	17
Timber window frames	10
Timber stairs	9
Timber door frames	7
Rough saws western red cedar cladding	5
Gapped board around stumps	5
Exposed timber beams (eave structure)	4
Verandah, supporting beam	4
door mat	3
Fabric verandah roofs	3
Timber shingle roofs	2
Plastic roof panel	2
Internal house	2
Verandah/Pergola	2
Timber frame behind A/C	2
Bitumen roof membrane	1
Canvas awning	1
Timber wall, supporting beam	1
Plastic verandah roof	1
Weather boards	1

TRADUCTIONS

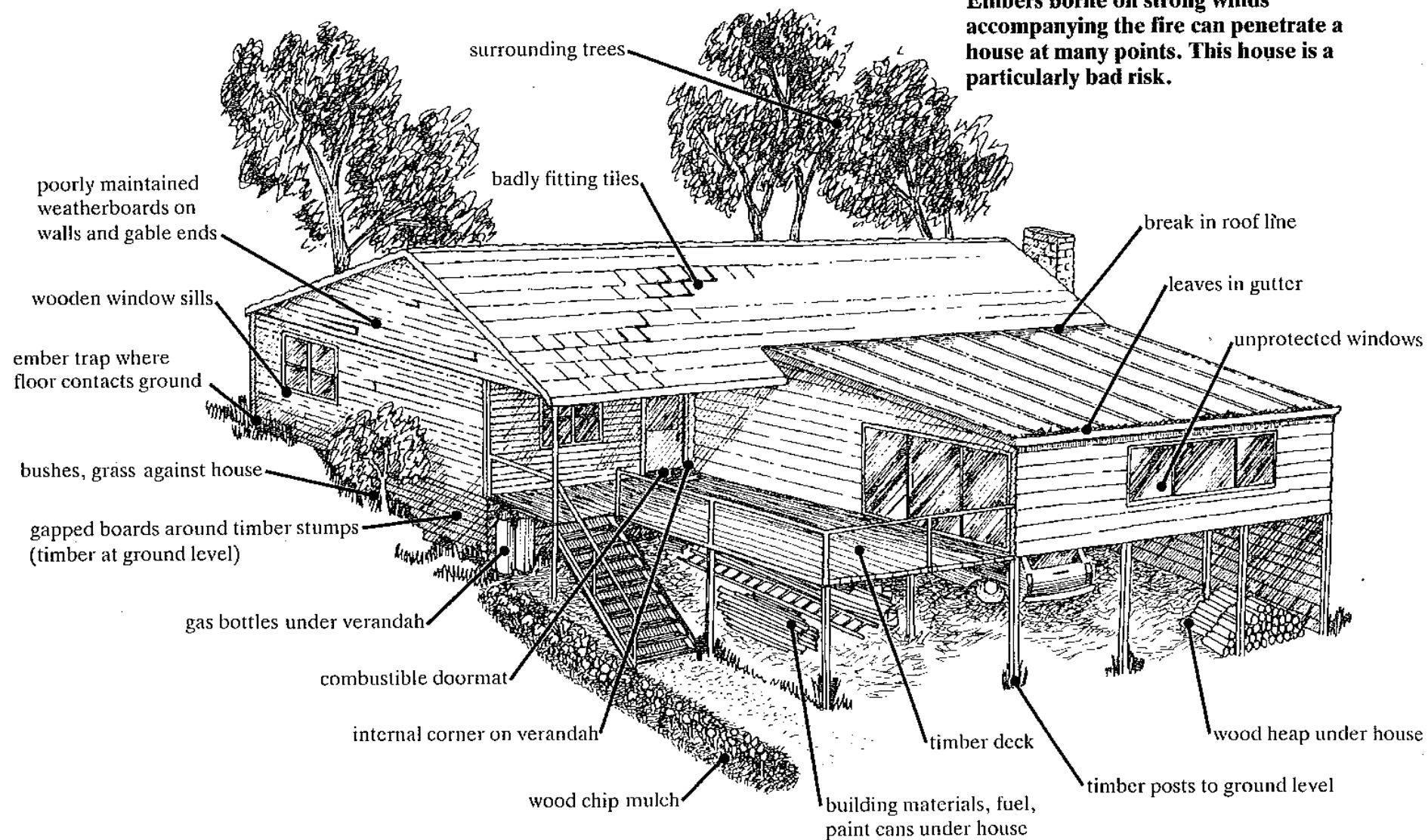
Platelage en bois
Bandeau rive ou gouttière
Cadre de fenêtre en bois
Escalier en bois
Cadre de porte en bois
Bardage en red cedar brut de sciage
Planches ajourées autour des ????
Débord de charpente apparent
Structure portante de veranda
Paillason
Toit de veranda en tissu
Bardeau en bois en toiture
Panneau de toit en plastique
Intérieur de la maison
Veranda ou pergola
Cadre en bois derrière ?????
Membrane de toit en bitume
Store en tissu
Structure portante d'un mur en bois
Toit de véranda en plastique
Planches « intempéries »(bardage ??)

Commentaire : Ce tableau a le mérite de lister un certains nombre de points plus qu'il ne renseigne sur une hiérarchie des points faibles. En l'état il est difficile de savoir si parmi ces vulnérabilités, certaines ont plus d'impacts que d'autres sur une destruction significative ou totale. En effet, il ne s'agit que de maisons qui ont survécu. Or beaucoup ont été totalement détruites.

Suite au REX d'Otway, le CSIRO a publié en 1985 un article contenant le dessin suivant intitulé : *une mauvaise candidate à la survie.*

A bad candidate for survival

Embers borne on strong winds accompanying the fire can penetrate a house at many points. This house is a particularly bad risk.



Partant du constat que le facteur principal d'inflammation des constructions lors d'un incendie de forêt sont **les brandons**, le CSIRO a établi en 1985 quelques recommandations.

Principales recommandations du CSIRO en 1985 :

- Adopter un design simple avec peu de recoins pour éviter les accumulations de brandons dans les recoins.
- Fermer chaque interstice afin d'éviter l'entrée de brandons.
- Protéger les fenêtres, les portes et les aérations avec des grilles métalliques (ou des volets métalliques)
- Bien fixer les tuiles et les lames de bardage. Les bardages bois doivent être rabotés.
- Limiter les aménagements extérieurs en bois (escaliers, terrasses, pergolas).
- Utiliser des revêtements de murs en brique, spécialement au niveau du sol.
- Construire sur dalle au sol lorsque c'est possible. Si un plancher surélevé est nécessaire, clore la zone sous plancher avec un matériau non combustible au niveau du sol.
- Garder la végétation et tout combustible potentiel à distance de la maison.

Australie / 5.4 REX de l'incendie de Duffy (2003)

Le retour d'expérience du quartier de Duffy a permis de recenser des causes potentielles d'inflammation des bâtiments en observant ceux n'ayant été que légèrement endommagés et pour lesquelles les traces sont visibles. Des photos sont disponibles.

Des scénarios de propagation ont également été établis (un exemple en dernière diapositive sur Duffy).



Figure 6. Example of aerial photography of Duffy

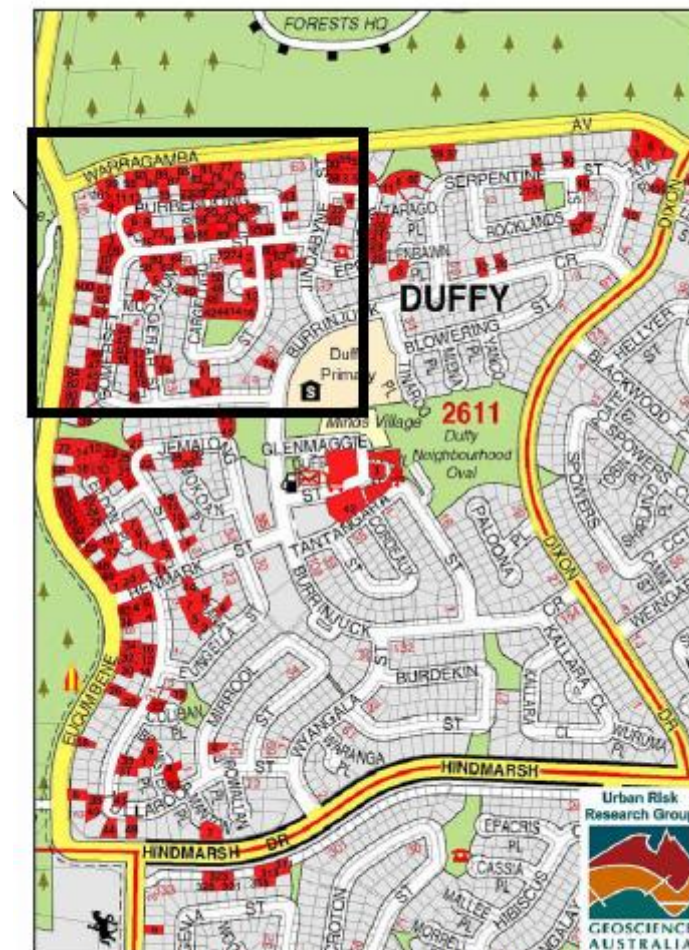


Figure 1. Houses destroyed (in red) in Duffy

La présence d'arbres intacts montre que l'intensité du feu de végétation était peu importante dans le lotissement. Malgré cela, beaucoup de maisons ont été détruites (en rouge sur le plan).

Photos d'éléments du bâti partiellement enflammés, qui constituent une **vulnérabilité** potentielle

Les menuiseries

Les brandons s'accumulent dans les recoins et enflamment la menuiserie.

Le verre explose sous l'effet du feu du cadre de la menuiserie



Les bords de toiture Sous l'attaque des brandons :

Effet du flux thermique seul :



Départ de feu dans un interstice entre le bandeau et une bavette métallique

Inflammation du bardage fin d'un pignon

Corniche abîmée, mais pas de départ de feu ?

Photos d'éléments extérieurs pouvant constituer des **vecteurs de propagation**

Les platelages bois



Probablement initié par un brandon logé dans la rainure entre les lames

Feux éteints par l'occupant
← →



Les éléments combustibles alentours : barrières bois, végétation



Les barrières bois (ci-dessous) ont été identifiées comme vecteur de propagation au contraire des barrières non combustibles qui freinent la propagation du feu au sol.



Glasses broken by the radiant heat and flame impact coming from the vegetation burning close to the window

Le feu de la haie a fait éclater le verre de la baie vitrée proche

Exemple de scénario de propagation dans une zone habitée

Il s'agit d'un scénario de propagation à partir d'un feu de végétation. Dans d'autres cas le feu s'est aussi propagé de maison en maison.

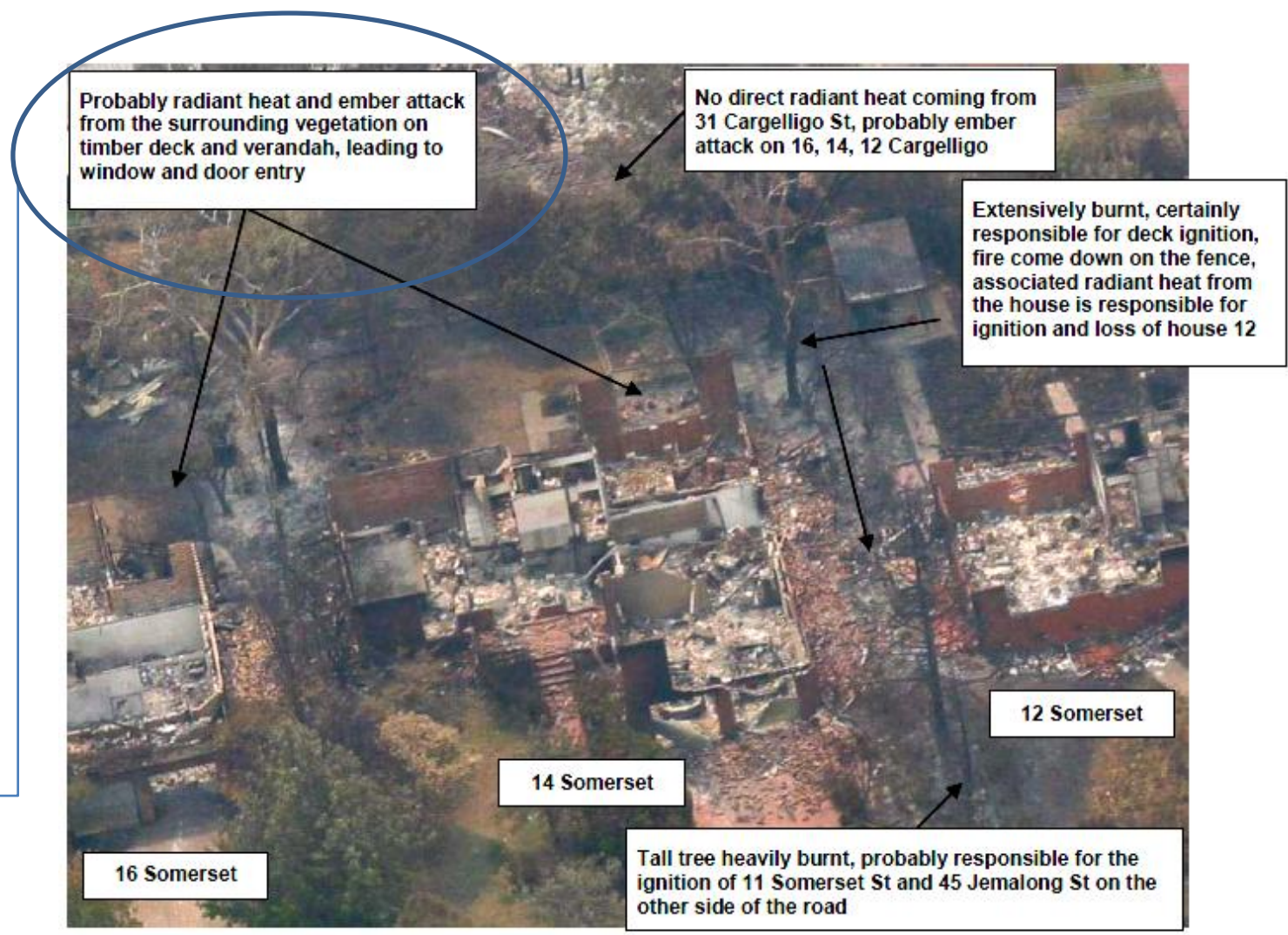


Figure 19. Detail of 14 Somerset St

Scénario probable :

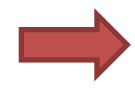
Feu de la végétation environnante (jardins)



Flux thermique et brandons



Inflammation du platelage en bois et de la véranda



Entrée du feu par la porte et la fenêtre

Nous avons pu consulter un rapport commandé par un gouvernement d'un état australien et rédigé par Justin Leonard du CSIRO en 2009. Il s'agissait de formuler des réponses claires et synthétiques à des questions sur les vulnérabilités des bâtiments aux feux de forêt dans le contexte Australien. Ce rapport, réalisé à partir d'une bibliographie abondante, nous permet d'établir ou de confirmer les points suivants (entre autres) :

→ L'attaque de brandons y a été identifiée comme la principale cause de propagation du feu aux bâtiments, notamment car ce phénomène **précède le front de flammes et perdure longtemps après celui-ci**.

→ Les endroits considérés comme points d'ignition privilégiés sous l'action des **brandons** sont les **replats, recoins et interstices**. En outre, tout au long de la vie du bâtiment, **de fins débris de végétation très inflammables peuvent s'y accumuler**. L'inflammabilité des matériaux à ces endroits est déterminante.

→ Le rayonnement et les flux convectifs du feu de forêt peuvent être à l'origine d'une **évaporation de l'eau des revêtements bois**, ce qui **augmente leur inflammabilité**, voire être à l'origine de phénomènes de pyrolyse et donc de production de gaz inflammables. Les murs et les bords de toiture sont les parties les plus exposées au flux thermique. Un **retrait du bois** et une **dilatation du métal** sont possibles, et peuvent générer de nouveaux interstices.

→ L'exposition aux flammes de certains revêtements incombustibles peut **dévier et concentrer les flux thermiques et le passage des flammes dans les petites ouvertures** ou des cavités ce qui rend celles-ci plus exposées.

→ L'exposition aux flammes est notamment à craindre lorsque des constructions proches de la maison s'enflamment : leur **combustion est en effet beaucoup plus longue** que le passage du feu de forêt et peut être très intense.

→ **L'effet collatéral du vent** sur la survie des constructions doit être considéré : il peut être à l'origine d'envols d'éléments impliqués dans la protection de l'enveloppe des bâtiments.

L'Australie est un pays qui a su développer un savoir faire au sujet de la construction en zone d'aléa feu de forêt. Le CSIRO, organisme gouvernemental de recherche australien étudie activement la question de la vulnérabilité des bâtiments à l'aléa feu de forêt.

Leurs retours d'expérience des années 80 ont notamment permis d'identifier les **brandons** comme le facteur majeur d'attaque de l'incendie de forêt. Les chercheurs australiens ont établi des recommandations constructives dès les années 80.

A partir des années 90, une réglementation a émergée. Une norme de construction, le standard AS 3959, dont l'objet est « **Construction de bâtiments dans les zones sensibles aux feux de forêt** » a été publié en 1991 (puis révisé ensuite). Nous rédigeons actuellement une synthèse et une discussion autour de ce document.

Des standards définissant des essais au feu spécifiques au feu de forêt ont également été publiés, afin de pouvoir qualifier les performances de matériaux et de systèmes constructifs.

Les professionnels de la filière bois australienne ont conçu, testé et publié des solutions techniques permettant aux constructions bois d'être conforme avec la réglementation.



En Australie, photo de pompiers luttant contre un feu de forêt au milieu des brandons

6. Synthèse : Vulnérabilités des bâtiments et vecteurs de propagation

Cette synthèse utilise les différentes données des états de l'art réalisés pour les 3 pays étudiés (France, Etats Unis et Australie) principalement à partir de leurs retours d'expérience. Notons qu'il est parfois difficile de faire concorder certains résultats ou observations, sachant que beaucoup d'éléments de contexte diffèrent selon les pays ou les incendies étudiés : caractéristiques du climat et de la végétation, rôle des opérations de lutte, modes constructifs, etc.

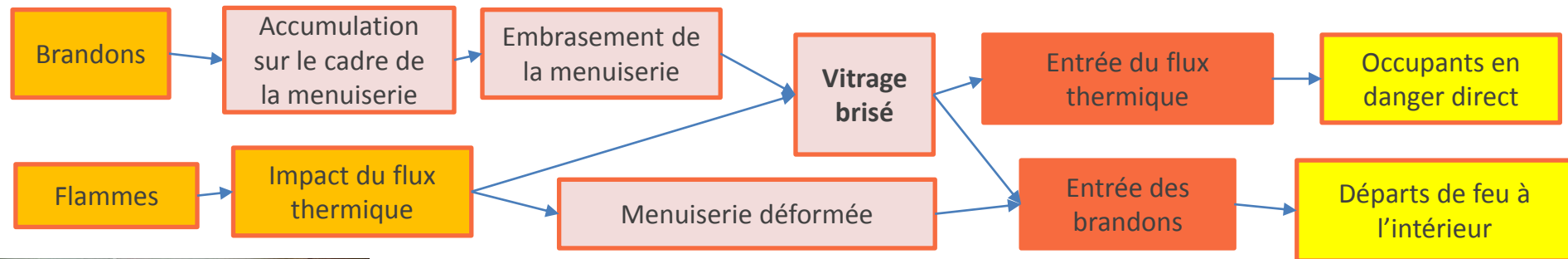
Cela dit toutes ces connaissances nous permettent de définir les principaux **scénarios type** conduisant à la propagation du feu aux bâtiments. Ceux-ci sont décrits dans les diapositives suivantes sur les **vulnérabilités du bâtiment** :

- 6.1. Menuiseries et vitrages
- 6.2. Toitures
- 6.3. Murs
- 6.4. Autres

Les **vecteurs de propagation** sont des éléments extérieurs pouvant amener les sollicitations du feu au plus près du bâtiment en menaçant celui-ci. Ils sont classés et listés dans les diapositives suivantes :

- 6.5. Aménagements extérieurs
- 6.6. Haies
- 6.7. Vecteurs liés à la vie du bâtiment

SCENARIO TYPE :



Dégâts sur des vitrages non occultés

Verre feuilleté ayant éclaté sous l'effet du flux thermique



Simple vitrage ayant éclaté du fait de l'embrasement de la menuiserie bois sous l'accumulation de brandons



Grande baie vitrée ayant éclaté sous l'effet du feu des canisses recouvrant la pergola juste au dessus.

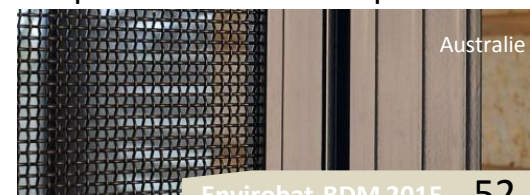


Retours sur les protections des vitrages :

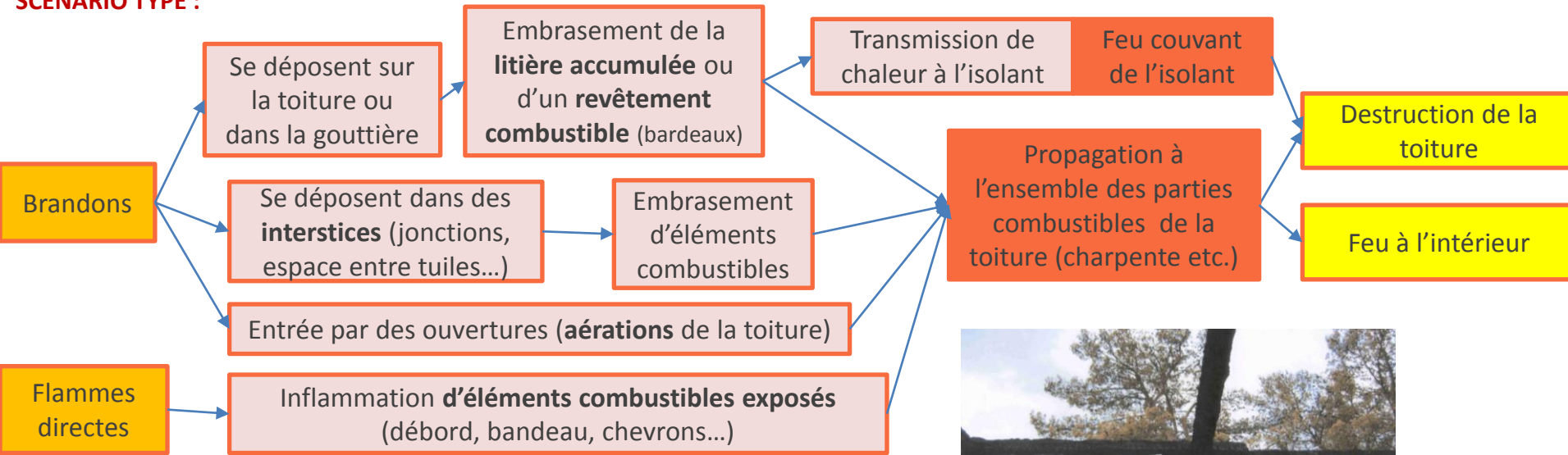
Les volets bois en bois plein semblent fournir une protection efficace du vitrage contre le flux thermique, mais ils sont susceptibles de s'enflammer ou de se consumer après une forte exposition.



Les australiens utilisent aussi des grilles de protection devant les vitrages (ci-dessous). Celles-ci sont efficaces mais peuvent être insuffisantes face à un important flux thermique.



SCENARIO TYPE :



Japon / Etats Unis - BRI / NIST

Feu de la litière végétale contenue dans un gouttière à cause du dépôt de **brandons**.



Etats Unis USDA

Une noue est un endroit où ont tendance à s'accumuler à la fois la litière et les brandons et où existent des interstices.



Australie - CSIRO

Logés dans un interstice, les **brandons** peuvent par simple contact enflammer un élément combustible (ici un bandeau de toiture)



France - ONF

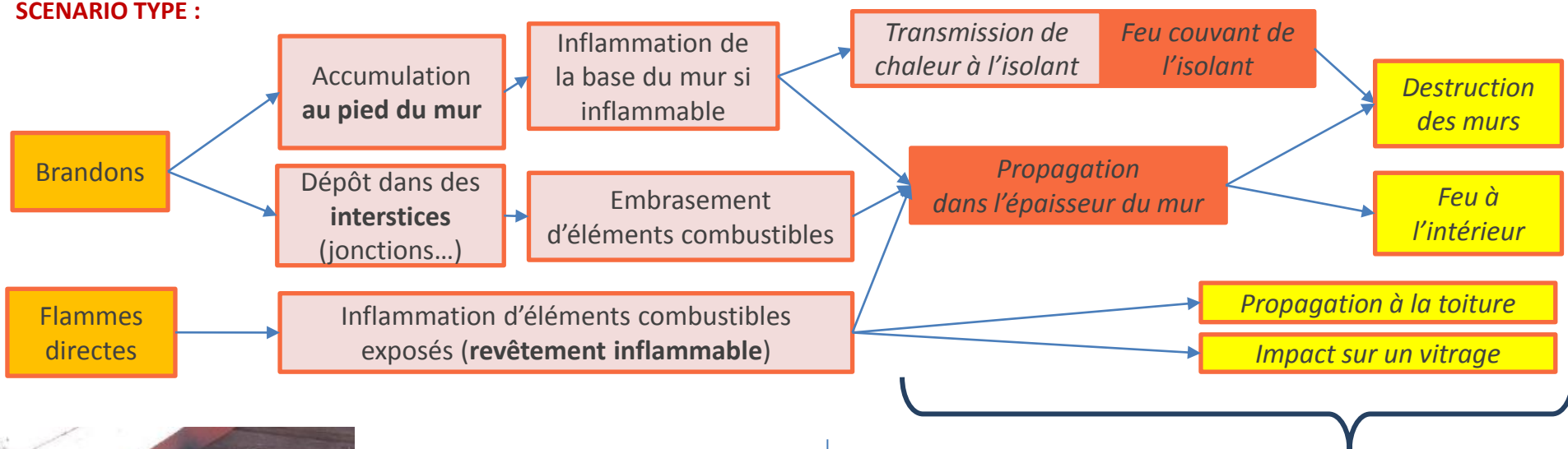
Toiture détruite à cause d'un **feu couvant de l'isolant** suite à l'inflammation par des brandons d'aiguilles de pin accumulées sur les tuiles.



France - ONF

Le feu de végétation s'est propagé à la charpente de **l'appentis exposé aux flammes**.

SCENARIO TYPE :



Australie - CSIRO

Effets de l'attaque de feux de forêt sur des éléments de mur de constructions bois. Il ne s'agit que de murs relativement fins.



Etats Unis USDA

Cette partie des scénarios n'a pas été strictement identifiée dans les REX disponibles, sauf partiellement sur un cas de construction légère en bois aux Etats Unis (photo en bas à gauche).

Il est cependant probable que ces scénarios aient été à l'origine de destructions totales de maisons bois aux Etats Unis et en Australie, dont les causes exactes n'ont logiquement pas pu être déterminées.

L'accumulation de brandons au pied des murs et leur impact a été mis en évidence par les REX ainsi que par des essais avec un générateur de brandons (photo ci contre)



Japon / Etats Unis - BRI / NIST

Ce phénomène est aussi constaté aux pieds des portes



Australie - CSIRO

Les espaces sous planchers

Dans le cas de construction sur plots ou pilotis, il subsiste un espace sous le plancher. Si celui-ci n'est pas clôt, le plancher est potentiellement soumis aux mêmes sollicitations que les murs : accumulation de brandons en dessous, flammes à son contact ; et peut connaître les mêmes types de sinistres.

Les aérations et ouvertures



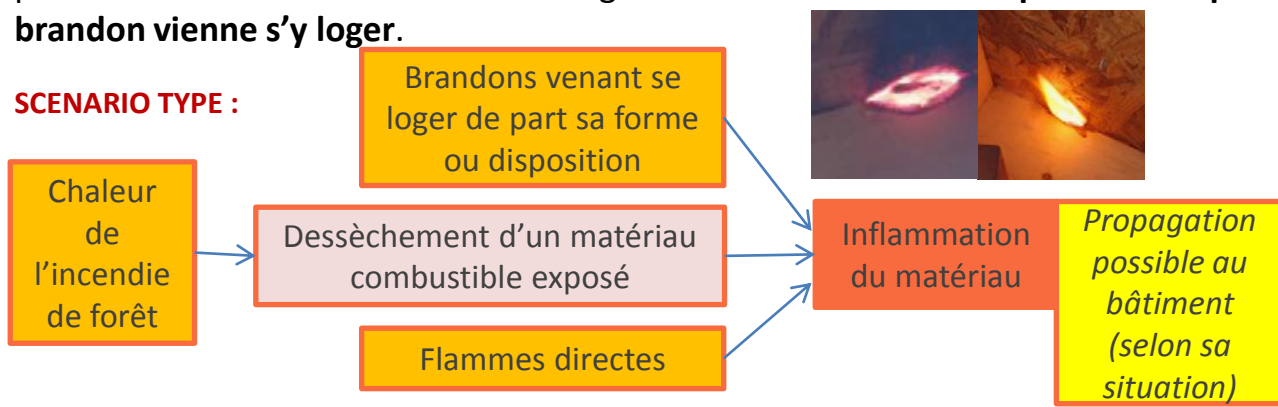
Les aérations et les ouvertures (cheminées, VMC, etc.) sont des points d'entrée potentielle des brandons, qui peut ensuite provoquer un départ de feu à l'intérieur du bâtiment.

Généralités sur les éléments combustibles exposés

Quel que soit son emplacement sur l'enveloppe du bâtiment, tout élément combustible directement exposé aux sollicitations d'un feu extérieur (flammes, rayonnement, flux convectif, brandons) est une cible potentielle pour la propagation du feu : cela inclut un matériau de construction tout comme des débris végétaux susceptibles de s'accumuler durant la vie du bâtiment.

Les conditions météorologiques et la chaleur du feu provoquent un **dessèchement** du matériau augmentant ainsi son inflammabilité. Cela peut théoriquement aller jusqu'à une pyrolyse de ce matériau et un dégagement de gaz inflammable. Lorsque ce matériau est **en contact avec un replat, un recoin ou un interstice**, la probabilité de son inflammation augmente en raison de la **possibilité qu'un brandon vienne s'y loger**.

SCENARIO TYPE :



Les éléments mal fixés

Des vents forts accompagnent souvent les incendies de forêts. Ils peuvent entraîner l'envol ou le déplacement d'éléments mal fixés de l'enveloppe et **générer une ouverture** ou un **interstice sensible à l'attaque des brandons** voire transporter des éléments pouvant **briser un vitrage**.



Deux exemples de platelages bois enflammés par des brandons et éteints par l'occupant.



Australie - CSIRO



Australie - CSIRO

Les aménagements extérieurs peuvent constituer des vecteurs de propagation très proches du bâtiment et **parfois très proches de certains points de vulnérabilité** (éléments vitrés, débords de toiture, etc.)

Ils ont généralement comme caractéristique d'être **plus sensibles aux impacts du feu de forêt** : souvent directement exposés, ouverts, constitués de matériaux inflammables ou de fabrication peu soignée. Leur probabilité de s'enflammer est donc importante. En outre, ils sont **parfois connectés à la structure du bâtiment**.

La sollicitation du bâtiment par l'incendie d'un aménagement extérieur est **plus longue** que le passage du front de flammes de l'incendie de forêt. En outre, ce scénario peut débuter **AVANT** l'arrivée du front de feu (sous l'action des brandons), fragilisant ainsi la construction par avance.

Parmi les aménagements extérieurs susceptibles de propager le feu de forêt aux constructions nous pouvons citer :

- Les abris de jardin →
- Les abris à voiture ou garages
- Les auvents et appentis
- Les terrasses bois
- Les balcons bois
- Les pergolas recouvertes de bâches ou de canisses
- Les brises soleils
- Les palissades ←
- Les citernes de gaz

Etc.



France - DDTM 13 / ONF



Les haies constituent des vecteurs de propagation efficaces du feu de forêt vers le bâtiment. En outre, l'incendie des haies est susceptible de produire des brandons au plus près de la construction.

L'ONF a élaboré un guide concernant la sensibilité des haies et recommande l'usage de certaines essences végétales.



L'incendie de la haie de cyprès a provoqué la projection de brandons de cyprès qui ont enflammé la toiture.

6.7. Vecteurs liés à la vie du bâtiment

Aux abords du bâtiment, **l'organisation du stockage** de matériel, de véhicules (voitures, caravanes) de bois de chauffage, de foin, d'engrais et de tout élément combustible est déterminant pour prévenir les scénarios de propagation.

De même, **l'entretien des abords du bâtiment** (litière végétale accumulée à nettoyer, entretien de la zone débroussaillée) est d'une importance capitale.



L'incendie de la haie de cyprès a été propagé à un garage (derrière la haie et complètement détruit) lui-même attendant à la maison.



GLOSSAIRE DES SIGLES

BRI : Building Research Institute (Japon)

CEREN : Centre d'Etudes et de Recherche de l'Entente interdépartementale de la forêt méditerranéenne

CSIRO : Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (Australie : centre de recherche gouvernemental)

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

IRSTEA : Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture

NIST : National Institute of Standards and Technology (Etats-Unis)

ONF : Office National des Forêts

OFME : Observatoire de la forêt Méditerranéenne

REX : Retour d'expérience : observations des dommages après un incendie de forêt

USDA : United States Department of Agriculture

VOCABULAIRE

Brandon : braise ou particule enflammée transportée par le vent.

Ignition : lorsqu'un matériau entre en combustion.

BIBLIOGRAPHIE Vulnérabilités des bâtiments face à l'incendie de forêt

Australie :

Blanchi R. M., Leonard J.E. (2005), *INVESTIGATION OF BUSHFIRE ATTACK MECHANISMS RESULTING IN HOUSE LOSS IN THE ACT BUSHFIRE 2003*, CSIRO, 61 pages

Blanchi R.M., Leonard J.E., Leicester R.H. (2006), *Bushfire risk at the urban forest interface*, CSIRO, 6 pages

Blanchi R.M., Leonard J.E., Leicester R.H. (2006), *Lessons learnt from post bushfire surveys at the urban interface in Australia*, CSIRO, 13 pages

Leonard J.E. , Bowditch P.A. (2003) *Findings of Studies of Houses Damaged by Bushfire in Australia*, CSIRO, 10 pages

Leonard J. E. (2009) *Report to the 2009 Victoria Bushfires Royal Commission, Building performance in Bushfires*, CSIRO, 80 pages

Ramsay C. (1985) *How bushfire set houses alight – lessons from Ash Wednesday*; CSIRO : Ecos N°43, 6 pages

Ramsay C. Mac Arthur N. A. Dowling V. P.(1986) *Building survival in bushfire*, Fire Science 1986, 18 pages

Ramsay C. Mac Arthur N. A. Dowling V. P. (1987) *Preliminary results from an examination of house survival en the 1983 fire*, CSIRO, 3 pages

Ramsay C. Mac Arthur N. A. (1994) *Lessons from Sydney fire*, CSIRO, 13 pages

Etats Unis :

Cohen J. D. (2000) *Examination of the Home Destruction in Los Alamos Associated with the Cerro Grande Fire*, USDA, 6 pages

Cohen J. D. (2000) *What is the Wildland Fire Threat to Homes?*, USDA, 13 pages

Cohen J. D., Stratton R. D. (2008) *Home destruction examination of Grass Valley Fire*, USDA, 30 pages

Randall C. K. *Fire in the Wildland-Urban Interface: Understanding Fire Behavior*, University of Florida, 8 pages

BIBLIOGRAPHIE Vulnérabilités des bâtiments face à l'incendie de forêt

Etats Unis et Japon :

Manzello S. L., Hayashi Y., Yoneki T., Yamamoto Y. (2010) *Quantifying the vulnerabilities of ceramic tile roofing assemblies to ignition during a firebrand attack*, NIST & BRI, 9 pages

Manzello S. L., Park S-H., Suzuki S., Shields J.R., Hayashi Y. (2011) *Experimental investigation of structure vulnerabilities to firebrand showers*, NIST & BRI, 11 pages

Manzello S. L., Suzuki S., Hayashi Y. (2012) *Enabling the study of structure vulnerabilities to ignition from wind driven firebrand shower*, NIST & BRI, 16 pages

France :

Cellule Pyroscope (2006) *Feu de Ste Lucie de Porto Vecchio*, 11 pages

Cellule Pyroscope (2007) *Analyse des dégâts observés aux constructions suite au passage d'un incendie*, 17 pages

CEREN (2005) *Evaluation de la dangerosité des interfaces habitat/forêt , 3ème partie :préconisations*, 48 pages

DDTM des Bouches du Rhône, *Ma maison est proche d'un (ou dans un) massif forestier. Est-elle vulnérable en cas de feu de forêt ? Je le vérifie*, 12 pages

Duché Y. Savazzi R. Tardivo D. (2008) *Les PPRIF de l'Esterel - Tanneron à l'épreuve du feu*, ONF, 133 diapositives

IRSTEA (2011) *Info DFCI n°67*, 8pages

Joliclerc F. *Débroussaillage obligatoire et autoprotection des habitants, retour d'expérience après incendie*, OFME, 56 diapositives

Pugnet L., (2015) *Vulnérabilité des interfaces habitat forêt à l'aléa incendie de forêt, thèse de doctorat*, IRSTEA, 374 pages

Reymond B. , Duché Y., (2006) *Incendie du 5 août 2005 de St Martin de Brômes, Esparron de Verdon et Quinson*, ONF, 458 diapositives

Teissier du Cros B., Duché Y., Savazzi R. (2012) *Guide DFCI Sensibilité des haies face aux incendies de forêt sous climat méditerranéen*, ONF, Projet Sudoe, 40 pages