SYNTHÈSE DE L'EXPERTISE SCIENTIFIQUE COLLECTIVE

# Résilience des interfaces urbaines face aux incendies de végétation en contexte de changement climatique

Pour citer ce document :

**CNRS.** *Résilience des interfaces urbaines face aux incendies de végétation en contexte de changement climatique.* Synthèse de l'Expertise Scientifique Collective. 2026.
**https://doi.org/10.83257/zbmr-fb73**

**Photo de couverture :** ©Crédit photo ER_09 / Shutterstock.com
**Illustration :** © Marine Depery - Figures n° 1, 6, 10, 17, 20, 21
**Mise en page :** Morwenna Moal d'après la conception de Sarah Landel

## Directeur de publication

**Thierry Dauxois**, président-directeur général du CNRS.

## Sous la coordination du CNRS
## Les expert.e.s et auteur.ice.s qui ont contribué à ce document

**Pilotes scientifiques**
**Christine Bouisset** est Professeure des Universités à l'Université de Pau et des pays de l'Adour et chercheuse à l'UMR CNRS TREE, spécialiste des questions environnementales, territoriales et de gestion des risques.

**Jean-Baptiste Filippi** est Directeur de recherche à l'UMR CNRS SPE, spécialiste de la modélisation et de la prévision numérique des incendies de végétation, Università di Corsica Pasquale Paoli.

**Expert.e.s principaux**
**Christopher Carcaillet** est Directeur d'études à l'EPHE et Professeur à l'Université PSL, UMR LEHNA spécialiste dans le fonctionnement des socio-écosystèmes, la dynamique de la biodiversité et les interactions climat-perturbations.

**Régis Darques** est Chargé de recherche à l'UMR CNRS ESPACE en géographie environnementale, spécialiste des incendies et des WUI — *wildland-urban interfaces*.

**Sophie Didier** est Professeure des Universités en aménagement-urbanisme à l'Université Gustave Eiffel, actuellement en délégation CNRS en tant que Directrice adjointe à l'IRL Iglobes, Tucson, Arizona, États-Unis.

**Laurent Li** est Directeur de recherche à l'UMR CNRS LMD-IPSL en géoscience, climat, et changement climatique.

**Éric Maillé** est Ingénieur de recherche à l'INRAE, dans l'Unité Mixte de Recherche INRAE-Aix Marseille Université RECOVER, spécialisé dans l'analyse du risque incendie de forêt aux interfaces et de la vulnérabilité des enjeux à ce risque.

**Béatrice Parguel** est Directrice de recherche à l'UMR CNRS DRM (Université Paris Dauphine - PSL), en marketing social et psychologie environnementale, spécialiste de la communication et des comportements responsables.

**Mélanie Rochoux** est Directrice de recherche à l'UMR CECI (Cerfacs, CNRS et IRD) en modélisation du comportement des incendies de forêts et de végétation, sciences de l'atmosphère et micrométéorologie.

**Sandrine Spaeter-Loehrer** est Professeure à l'Université de Strasbourg à la Faculté des sciences économiques et de gestion, et chercheuse au BETA, UMR mixte UNISTRA-CNRS, spécialiste de l'économie du risque et de l'assurance, et plus spécifiquement de la couverture risques majeurs.

**Virginie Tihay-Felicelli** est Maître de Conférences à l'Università di Corsica Pasquale Paoli, UMR SPE, spécialiste de la combustion et de l'étude de la vulnérabilité des constructions face aux incendies de végétation.

**Céline Vacchiani-Marcuzzo** est Professeure des Universités à l'Université Paris Cité, UMR Géographie-cités, spécialiste des villes, mobilités et inégalités socio-spatiales.

**Karine Weiss** est Professeure des Universités à Nîmes Université, UPR Apsy-v, spécialiste de la perception et représentations des risques et des comportements de prévention.

**Expert.e.s contributeur.ice.s**[1]
**Solène Croci** est Chargée de recherche à l'UMR CNRS LETG, Université de Rennes 2 en écologie urbaine.

**Guillaume Dezecache** est Directeur de recherche à l'IRD en science de la durabilité.

**Anne Rozan** est Professeure à l'Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg et chercheuse à l'UMR SAGE.

**Albert Simeoni** est Professeur et Directeur du Department of Fire Protection Engineering au Worcester Polytechnic Institute, Massachusetts, États-Unis.

## Remerciements

**Nathalie Antonot** et **Jean Mourot** du service « Appui au pilotage scientifique » de l'Institut de l'information scientifique et technique (INIST), service dirigé par Patricia Mahafaka Ranoarisoa, CNRS, pour leur appui dans la constitution du corpus bibliographique.

**Les membres du Comité de suivi de l'expertise scientifique.**

**Les membres du Comité d'Orientation de l'Expertise du CNRS.**

L'**Institut national de l'information géographique et forestière** pour la mise à disposition des données (nous précisons que l'IGN n'est pas responsable des interprétations données par cette expertise).

## Mission Pour l'Expertise Scientifique du CNRS

**Directrice :** Valérie Lallemand-Breitenbach

**Responsable de la conduite des expertises :** Aude Védrines

**Responsable de projet de l'expertise « Incendies » :** Suzanne Peyrard puis Emma Maines

*Version du 18 septembre 2026*
Droits et utilisation du contenu : Ce document est mis à disposition selon les termes de la licence *Creative Commons Attribution* Utilisation non commerciale - Pas d'oeuvre dérivée 4.0 *International* (CC BY-NC-ND 4.0).
https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode.fr

[1] Ces expert.e.s ont apporté leur contribution par leur lecture des publications et/ou la rédaction de notes intégrées au rapport et à la synthèse et/ou par leur relecture du rapport et de la synthèse.

# Résilience des interfaces urbaines face aux incendies de végétation en contexte de changement climatique

## Une lecture pluridisciplinaire de la littérature scientifique pour accompagner l'action publique face au risque incendie des interfaces ville - espace naturel dans une France à + 4°C

SYNTHÈSE DE L'EXPERTISE SCIENTIFIQUE COLLECTIVE

# Sommaire


**INTRODUCTION** **5**

**I ÉTAT DES LIEUX DU RISQUE INCENDIE DANS LES INTERFACES VILLE - ESPACE NATUREL** **8**

**I.1 Définition et caractérisation des interfaces ville - espace naturel (Wildland - Urban Interface)** **9**
- Définitions 9
- Typologies et concepts associés 10
- Les dynamiques territoriales à l'origine de ce type de zones 12
- Interfaces et analyse du risque incendie 12
- Caractérisation et cartographie des interfaces 15
- Limites des connaissances 16
- Conclusion 17

**I.2 L'Aléa incendie de végétation** **18**
- Composition de l'aléa incendie de végétation 19
- Mesurer et caractériser l'aléa incendie 22
- Lacunes de connaissance et controverses 25
- Conclusion 25

**I.3 Vulnérabilité aux incendies dans les interfaces ville - espace naturel** **26**
- Vulnérabilité et zonages 26
- Vulnérabilité sociale et inégalités face aux incendies 27
- Perception du risque et vulnérabilité humaine 28
- Vulnérabilité du bâti et des constructions 29
- Lacunes de connaissance 31
- Conclusion 31

**I.4 Les conséquences environnementales, sociales et économiques des incendies dans les interfaces** **32**
- Conséquences des feux de végétation : une lecture socio-écosystémique 32
- Conséquences environnementales et biodiversité 33
- Les impacts humains : des évènements extrêmes rares mais meurtriers 35
- Impacts économiques : valeurs immobilières et dynamiques ante/post-incendie 38
- Lacunes de connaissance et controverses 39
- Conclusion 39

**I.5 Changements globaux** **40**
- Changements globaux et évolution du risque incendie 40
- Facteurs et moteurs de l'évolution des incendies 40
- Attribution des incendies extrêmes au changement climatique 41
- Nouvelle géographie du feu 42
- Projections futures 43
- La transformation des territoires : l'autre facteur d'évolution du risque d'incendie aux interfaces 45
- Lacunes de connaissance et controverses 46
- Conclusion 46

## II ÉTAT DES LIEUX DES STRATÉGIES D'ADAPTATION POUR LA RÉSILIENCE DES INTERFACES VILLE - ESPACE NATUREL 48

**II.1 Gestion et prévention du risque incendie dans les interfaces ville et espace naturel 49**
- Mesures techniques de prévention 49
- Les plans de prévention 55
- Freins et leviers pour l'adoption des mesures de prévention 57
- Sensibilisation et éducation au risque 58
- Assurance du risque incendie 60
- Lacunes de connaissance et controverses 61
- Conclusion 62

**II.2 Gestion de la crise incendie : comportements individuels et outils 63**
- Doctrines en usage face à la crise incendie 63
- Comportements des individus face à l'alerte 65
- Outils et cadres d'aide à la décision pour la gestion de crise 66
- Ruptures de modèles et limites opérationnelles face aux feux extrêmes 69
- Lacunes de connaissance et controverses 70
- Conclusion 70

**II.3 Urbanisme et gouvernance du risque incendie dans les interfaces urbaines 71**
- Le risque incendie dans la planification urbaine 72
- Les pistes d'amélioration des outils de planification et de leur mobilisation 73
- Gestion post-crise : reconstruire, adapter ou transformer ? 74
- Trajectoires territoriales et aménagement 75
- Gouvernance du risque incendie dans les interfaces : donner davantage de place aux citoyens 77
- Les modes de gouvernance alternatifs 78
- La mise en cohérence des instruments et la mobilisation des acteurs 78
- Lacunes de connaissance et controverses 79
- Conclusion 80

---

## CONCLUSION : APPRENDRE À COEXISTER AVEC LE FEU DANS LES TERRITOIRES DE DEMAIN 81

- Les principaux constats de l'expertise 81
- Des connaissances incomplètes 82
- Perspectives : apprendre à s'adapter ? 82

---

## GLOSSAIRE (Les termes décrits dans le glossaire sont annotés d'un astérisque* à leur première occurrence) 85

## RÉFÉRENCES 87

## ANNEXE 1 — RAPPORTS ET TEXTES LÉGISLATIFS RÉCENTS SUR LES INCENDIES EN FRANCE 109

## ANNEXE 2 — JEUX DE DONNÉES MOBILISÉES ICI ET UTILES SUR LA PROBLÉMATIQUE DES INCENDIES À L'INTERFACE VILLE - ESPACE NATUREL 110

## ANNEXE MÉTHODOLOGIQUE 111

# Introduction

L'expertise scientifique collective (ESCo) « Ville et incendies de végétation » vise à répondre à la question suivante : **comment la littérature scientifique peut-elle apporter un éclairage à l'action publique dans ses décisions face à l'augmentation du risque incendie* dans les territoires urbanisés, et en particulier dans les interfaces ville - espace naturel, dans un contexte de changement climatique marqué par une trajectoire de réchauffement à +4 °C en France ? (TRACC[2])**. Dans ce cadre, cette expertise vise à rendre lisible l'état des connaissances scientifiques disponibles, leurs points d'appui, leurs limites et les incertitudes, afin d'éclairer l'action publique. Son périmètre reste toutefois circonscrit : certains champs connexes, comme l'impact sur la santé publique, étant déjà abordés dans des expertises spécifiques[3].

Les expertises scientifiques collectives du CNRS s'appuient sur une méthode rigoureuse, ancrée dans l'analyse critique des publications scientifiques issues de différents champs disciplinaires. Le travail de synthèse présenté ici s'appuie sur l'état des connaissances scientifiques relatives aux risques d'incendie de végétation dans les interfaces urbaines et aux solutions associées. Lorsque, pour le territoire métropolitain français, les publications font défaut, l'expertise a recours à des travaux scientifiques mobilisés dans des contextes comparables (notamment en Grèce, en Espagne ou aux États-Unis), dans une perspective d'anticipation des évolutions du risque d'incendie de végétation, en prenant soin de sélectionner, parmi les résultats de ces travaux, ceux utiles à la réflexion sur le contexte français.

Au niveau mondial, les incendies de végétation touchent chaque année des centaines de millions d'ha, avec des saisons de feu de plus en plus longues et destructrices sous l'effet du changement climatique. Ainsi, les données satellites montrent que les incendies ont brûlé en 2024, en moyenne deux fois plus de couvert forestier qu'il y a 20 ans (Potapov et al. 2025). Les projections scientifiques anticipent une augmentation continue du nombre d'incendies extrêmes d'ici la fin du siècle sous l'effet des modifications climatiques et de l'occupation du sol. En 2025 en Europe, les statistiques annuelles ont atteint des niveaux historiques, avec plus d'un million d'ha brûlés et des épisodes de canicule exacerbant les risques sur le pourtour méditerranéen[4, 5].
La France est également concernée par cette aggravation. L'évolution est devenue particulièrement visible en 2022 et touche également des régions tempérées jusqu'alors rarement concernées comme la Bretagne. Les projections de Météo-France indiquent que cette trajectoire devrait se renforcer, avec le risque de feu étendu à l'ensemble du pays, y compris les régions peu touchées jusqu'à présent[6].

Dans un contexte où la plupart des incendies sont d'origine anthropique et où beaucoup surviennent à proximité immédiate d'habitations, les interfaces ville - espace naturel, c'est-à-dire la zone de rencontre entre ces deux formes d'occupation du sol, jouent un rôle central dans l'analyse et la gestion du risque incendie. À l'échelle mondiale, les interfaces représentaient en 2010 environ 5 % de la surface terrestre et concernaient 3,5 milliards de personnes (Schug et al. 2023), un chiffre en croissance continue. Or ces zones ont connu ces dernières années des catastrophes aux conséquences importantes, comme les incendies de Los Angeles en janvier 2025. Ces incendies sont classés parmi les catastrophes naturelles[7] les plus coûteuses de l'histoire. Ils interrogent les modes de gestion du risque en vigueur et leur soutenabilité, le retrait progressif des assureurs observé dans certains pays en est une illustration (Baylis et Boomhower 2019 ; Hino et Field 2023).

À la différence de nombreux autres risques naturels, l'incendie de végétation peut, dans ses premiers instants d'éclosion, être parfois arrêté

[2] Trajectoire de Réchauffement de Référence pour l'Adaptation au Changement Climatique. Définie à partir du scénario tendanciel selon les scientifiques du GIEC, elle doit servir de référence à toutes les actions d'adaptation menées en France (décret n° 2026-23 du 23 janvier 2026 et arrêté du 23 janvier 2026 fixant la TRACC).

[3] Pollution liée aux incendies de végétation et effets sur la santé humaine et sur l'environnement, Avis de l'Anses, Rapport d'expertise collective, Juin 2026, https://www.anses.fr/system/files/AIR-2023-SA-0154-RA.pdf.

[4] EFFIS Estimates for European Union : https://forest-fire.emergency.copernicus.eu/apps/effis.statistics/estimates

[5] Un tableau récapitulant les principales bases de données disponibles sur les incendies est fourni en annexe.

[6] Dans une France à +4 °C, certaines régions dans la moitié nord du pays (régions de la Loire au Bassin parisien) pourraient connaitre un risque de feu aussi élevé que l'arrière-pays méditerranéen le connait à nos jours.

[7] Bien que souvent d'origine anthropique, les incendies sont usuellement classés parmi les catastrophes naturelles. C'est le cas en France même si, comme d'autres aléas tels que les tempêtes, ils ne sont pas inclus dans le dispositif juridique d'indemnisation des catastrophes naturelles dit régime « Cat-Nat » (voir infra).

par l'action humaine, ce qui fait de la maîtrise des départs de feu un levier d'action essentiel et efficace. Eu égard à ces enjeux, la politique proactive française d'extinction systématique de tous les départs de feu, dite doctrine « Vulcain » (Battesti 1997) a permis de réduire significativement les surfaces brûlées. Cette efficacité peut toutefois aussi laisser penser, par simplification, que l'intégralité du risque pourrait être contenue par ce seul moyen. Or cette extinction systématique a également contribué à l'accroissement de la biomasse combustible, transformant en profondeur les espaces de proximité entre ville et milieux naturels. Elle entretient en outre une attente très forte à l'égard des capacités d'extinction et un sentiment de sécurité fondé avant tout sur l'efficacité des moyens de lutte, pouvant contribuer à un moindre engagement de la société en faveur de la prévention et d'actions sur les causes des incendies.

Comme les grands feux des années 1970 et 1980 qui avaient suscité la mise en place de la doctrine actuelle, les incendies récents entraînent un regain d'intérêt pour la question dans le débat public en France. Cela se traduit par des rapports, des missions d'inspection[8] et des évolutions réglementaires. Cependant, ces travaux sont souvent très centrés sur des questions techniques et forestières et l'état des réflexions sur les enjeux des incendies de végétation pour les zones urbaines semble moins consolidé à ce jour. Parallèlement, les politiques urbaines en matière climatique sont centrées sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre et sur la lutte contre les îlots de chaleur ; elles intègrent peu le risque incendie de végétation. Celui-ci ne figure d'ailleurs pas dans la liste des phénomènes couverts par le régime d'indemnisation des catastrophes naturelles (dit « Cat-Nat ») défini par la loi du 13 juillet 1982 et relève de l'assurance habitation classique, au même titre que les tempêtes. Cette situation s'explique en partie par la part relativement faible du poids économique de l'ensemble des catastrophes naturelles du pays que représentaient jusqu'à présent les incendies.

Mais, dans un contexte de changement climatique, marqué à la fois par l'extension des zones exposées au risque incendie et par la diversité croissante des configurations territoriales rapprochant ville et zones naturelles, l'établissement d'un état des connaissances scientifiques sur ce risque dans les interfaces urbaines apparaît utile pour apporter un éclairage à l'action et à la décision publique. Il s'agit également de nourrir la réflexion sur l'évolution des outils de gestion du risque, des cadres de gouvernance et de planification urbaine. Cette démarche s'inscrit dans un contexte où, contrairement à d'autres risques majeurs tels que les inondations ou les séismes, l'incendie est le plus souvent directement déclenché et/ou maîtrisé par l'humain (Vázquez, Moreno, et Moreno 1998).

[8] Une liste de ces documents récents est fournie en annexe.

# I. État des lieux du risque incendie dans les interfaces ville - espace naturel

**Résilience des interfaces urbaines face aux incendies de végétation en contexte de changement climatique**

Synthèse de l'expertise scientifique collective

# I. État des lieux du risque incendie dans les interfaces ville - espace naturel

## I.1 Définition et caractérisation des interfaces ville - espace naturel (Wildland - Urban Interface)

### Essentiels

L'interface ville - espace naturel se définit comme l'endroit où la ville et les zones de végétation naturelle ou sub-naturelle[9] se rencontrent ou se mélangent. Elle peut prendre la forme d'une **ligne de contact (interface stricte) ou une zone d'interpénétration (intermix)**.

En France comme ailleurs, ces zones sont en forte expansion du fait de dynamiques conjuguées comme l'étalement urbain et le développement de l'habitat individuel, la déprise agricole et la reconquête de la végétation spontanée qui résulte de cette dernière.

Or les interfaces sont des zones à forts enjeux pour le risque d'incendie de végétation car elles concentrent à la fois les sources d'ignitions et les personnes et les biens exposés au risque. Dès lors, la délimitation et la cartographie des interfaces est un enjeu majeur pour la gestion du risque. Elles reposent sur des outils d'analyse spatiale qui permettent de caractériser la configuration de ces zones, en particulier la densité, l'organisation du bâti et les caractéristiques de la végétation, dans l'objectif d'identifier les zones les plus à risque. En France, un modèle « unifié » est en cours de validation scientifique afin de rassembler les méthodes utilisées jusqu'à présent pour cartographier les interfaces.

#### Définitions

Ce chapitre introductif vise à présenter les interfaces ville - espace naturel qui sont les zones étudiées dans le cadre de cette expertise. Après avoir défini le concept, le chapitre donnera quelques éléments d'information sur leur processus de développement, les facteurs qui les relient aux incendies et la manière dont les travaux scientifiques cherchent à les caractériser.

L'interface ville - espace naturel (*wildland urban interface* - WUI selon le terme utilisé dans la littérature scientifique anglophone) se définit comme **l'endroit où la ville et les zones de végétation naturelle ou sub-naturelle[10] se rencontrent ou se mélangent** (Radeloff et al. 2018 ; Schug et al. 2023). La zone urbaine peut être définie différemment en fonction des contextes, des disciplines et des sources de données. En France, les services statistiques classent dans la catégorie « urbain » les agrégats de constructions séparées de moins de 200 m si ceux-ci totalisent plus de 2000 habitants. Dans sa base de données d'occupation du sol Corine Land Cover, l'Agence Européenne de l'Environnement distingue les zones couvertes au minimum à 30 % de leur surface par des constructions. Des définitions juridiques existent également. Dans les plans locaux d'urbanisme par exemple, la zone urbaine est caractérisée par la présence de constructions et surtout d'équipements (réseaux…) (source : ministère de l'Environnement).

[9] Qui pousse sans avoir été plantée intentionnellement, mais dont le développement est favorisé indirectement par les activités humaines.

[10] Voir note précédente.

Dans une perspective de gestion du risque incendie, la composante végétation de l'interface est toujours comprise comme un espace chargé d'une masse combustible végétale (généralement ligneuse) significative : forêt, garrigue, maquis, friche, espace pastoral embroussaillé. Ces zones dites « naturelles » se caractérisent donc par des densités variables d'espèces spontanées ou sub-naturelles, arbustives ou arborées. Les espaces agricoles entretenus sont généralement exclus de l'interface ville - espace naturel car ils sont peu combustibles et jouent souvent plutôt le rôle de coupure de combustible*. Certains auteurs font aussi référence à l'interface rural - urbain (RUI (Amato et al. 2018)) lorsque ville, zones agricoles et naturelles se côtoient ou s'interpénètrent fortement.

### Typologies et concepts associés

La littérature scientifique distingue deux types d'interfaces (Radeloff et al. 2005) : l'interface *stricto sensu* qui correspond à une ligne de contact et l'*intermix* qui correspond à une zone de mélange entre constructions et végétation (voir Fig. 1). La pertinence de l'utilisation de l'un ou l'autre de ces concepts dépend du contexte et de l'échelle d'analyse : nette à l'échelle micro-locale d'un quartier, par exemple, cette distinction devient difficile à caractériser à l'échelle d'une agglomération (voir Zoom sur Marseille et Fig. 2). Cette complexité est renforcée par la diversité des types de zones d'interface présentes en France, comme le montrent Chappaz et Ganteaume (2023) pour

**Figure 1 :** Les différentes formes du continuum d'interface ville-espace naturel. En haut les zones qui constituent le continuum depuis le centre urbain jusqu'aux zones naturelles avec une diminution de la densité du bâti et une augmentation de la continuité du combustible. En bas à gauche l'interface au sens strict avec séparation linéaire entre constructions et végétation. En bas à droite, l'*intermix* où constructions et végétation sont imbriquées.

les Bouches-du-Rhône. Les formes urbaines nord-américaines correspondent généralement mieux à une géométrie linéaire, tandis que les situations européennes ou méditerranéennes relèvent largement de l'intermix (voir Fig. 3). Le terme général de zone d'interface s'est cependant imposé pour décrire toutes les configurations mixtes.

Ces interfaces entre villes et espaces naturels sont évolutives (voir Zoom sur les friches) mais aussi hétérogènes. On retrouve un mitage par de l'habitat dispersé en forêt (de la luxueuse villa à l'habitat informel de type cabanon), des lisières de lotissements et de zones d'activités, des campings sous forêt, des infrastructures, etc. La composante végétation de l'interface ne se limite pas non plus à la forêt *stricto sensu*. Les formations végétales concernées peuvent également inclure des friches, garrigues, maquis et autres formations arbustives combustibles, particulièrement fréquentes en climat méditerranéen. Les interfaces se caractérisent également par la végétation ornementale des jardins (haies, plantes locales ou exotiques comme cyprès, palmiers, etc.). En France, les services de gestion du risque utilisent parfois le terme d'interface bâti-végétation, permettant de ne pas restreindre ni le type de bâtiments ni le type de végétation à prendre en compte. Dans la littérature anglophone, le terme « structures* » est utilisé pour désigner les constructions de toute nature.

Dans le contexte français, le concept de WUI est fréquemment traduit par « interface habitat - forêt » (Lampin-Maillet, Bouillon, et al. 2010). Il s'agit en fait d'une réduction du terme à un type d'occupation du sol composite spécifique. Ce dernier est particulièrement répandu dans les régions méditerranéennes exposées au risque incendie. Il correspond à des zones d'urbanisation résidentielle diffuse imbriquées au sein d'espaces boisés mais ne représente en réalité qu'un type de configuration puisque les interfaces sont aussi composées de lotissements, d'habitations isolées, de zones d'activités, d'infrastructures, c'est pourquoi **dans le cadre de cette expertise nous préférons l'expression interface « ville - espace naturel »**.

À l'échelle régionale, les territoires urbanisés concernés par les incendies présentent aussi une grande diversité de configurations, avec des zones méridionales où le risque s'intensifie mais aussi des zones nouvellement confrontées au problème (voir Chap. 4, Conséquences et Chap. 5, Changements globaux). Enfin, au niveau international, les interfaces ville - espace naturel représentent un enjeu* également très fort aux États-Unis (Syphard et al. 2012) et en Australie (Blanchi, Leonard, et Leicester 2006) notamment, étant donné d'une part les surfaces concernées et d'autre part les modalités constructives majoritairement en matériaux combustibles (voir Chap. 3, Vulnérabilités) : le feu est alors susceptible de se propager dans l'interface sur le combustible des constructions elles-mêmes, comme ce fut le cas du feu de Paradise en Californie (appelé « *Camp Fire* ») en novembre 2018 (Troy et al. 2022). En effet, les feux d'interface peuvent évoluer ainsi en véritables feux urbains, rappelant les grands incendies urbains médiévaux européens au sein de villes construites majoritairement en bois.

**Figure 2 :** Commune d'Auriol (Métropole Aix-Marseille-Provence). A gauche, Auriol sud, zone d'intermix avec mélange de bâti, parcelles agricoles et végétation. A droite Auriol nord, zone d'interface, le contact entre les zones bâties et végétation est linéaire. Source : Géoportail, IGN, vue aérienne 24/06/2023.

## Zoom sur Marseille

Une étude permet de mieux comprendre la situation d'interface en milieu méditerranéen (Consalès 2019) en renversant la perspective binaire ville - espace naturel. **Le Sud méditerranéen français, de la frontière italienne à la frontière espagnole, est un quasi-continuum urbain reliant des agglomérations**. En 2021, Var et Bouches-du Rhône atteignaient 95,5 % et 99,3 % de taux d'urbanisation (pourcentage de la population vivant en ville). Ce long littoral entièrement métropolisé permet d'appréhender la notion d'intermix. **L'exemple de la métropole Aix-Marseille-Provence est particulièrement explicite : les grands massifs naturels occupent 56 % du territoire de cette métropole quatre fois plus étendue que le Grand Paris.** Les espaces agricoles, en déclin, ne représentent plus que 20 %. Plaines agricoles et coteaux des massifs ont été et continuent d'être colonisés de façon privilégiée par l'urbanisation, en même temps que les friches agricoles se sont multipliées du fait de la spéculation foncière : le contact avec la végétation ne se fait plus aux marges extérieures de la ville, c'est une composante propre du système urbain. **Les frontières traditionnelles entre la forêt et l'urbain se brouillent et les enjeux urbains et environnementaux sont donc étroitement imbriqués.**

### Les dynamiques territoriales à l'origine de ce type de zones

La formation de zones d'interfaces entre des zones urbaines et des zones de végétation naturelle ou d'origine anthropique, est le résultat de l'interaction entre **deux processus de transformation territoriale : l'étalement urbain d'une part et la fermeture des espaces agricoles et pastoraux en déprise d'autre part**. Historiquement souvent bien séparées par les zones agricoles, notamment en zone méditerranéenne, la composante urbaine du territoire (villes, villages, hameaux) et les composantes chargées en combustible végétal (forêt, garrigues, maquis, friches), se rencontrent et se mêlent désormais pour former les interfaces ville - espace naturel.

En Europe, l'étalement urbain touche l'ensemble des territoires, à des degrés divers toutefois. En France métropolitaine, l'ONF estimait en 2008 qu'environ 500 000 habitations étaient situées en zone d'aléa incendie fort, mais ce chiffre est **en constante augmentation**. Le nombre total de logements en France métropolitaine est passé de 32,6 millions en 2008 à 38,2 millions en 2024 (source : INSEE). Dans le même temps, l'urbanisation a consommé 297 236 ha (hectares) d'espace agricole, naturel ou forestier, dont plus de 100 000 pour les seules régions Corse, Nouvelle-Aquitaine, Occitanie et Provence-Alpes-Côte d'Azur (source : CEREMA) qui regroupent les zones les plus à risque d'incendie. Cela traduit un étalement urbain important, majoritairement destiné à l'habitat pavillonnaire (à 64 % en France Métropolitaine). Or **l'urbanisation discontinue consomme de grandes surfaces tout en maintenant des masses combustibles de végétation sub-naturelle ou ornementale importantes : elle est à l'origine de la formation des interfaces mêlant les constructions et la végétation**.

Le phénomène se combine avec la disparition d'espaces agricoles liée au déclin de l'agriculture. Celui-ci est un processus complexe mal évalué. La statistique agricole montre un recul de la Surface Agricole Utile, passée de 33,8 millions d'ha en 1950 à environ 28,3 millions d'ha en 2024, soit une baisse de 16 % en 74 ans. Ce chiffre est un minimum car de nombreux espaces pastoraux qui s'enfrichent par défaut d'utilisation, échappent à cette statistique. Ces surfaces sont soit urbanisées, soit s'enfrichent (voir Zoom sur les friches) et voient se former progressivement un paysage arbustif ou forestier combustible (voir Chap. 5, Changements globaux).

L'expansion des zones d'interface est donc d'autant plus rapide qu'elle résulte de deux dynamiques peu corrélées (voir Fig. 4). La zone méditerranéenne, fortement touchée par une déprise agro-pastorale précoce (voir Chap. 5, Changements globaux) et un fort développement de l'activité touristique, a notamment été le siège d'une croissance rapide des interfaces habitat-espace naturel : par exemple, une étude conduite dans les Bouches du Rhône estime à 10 % le taux d'augmentation des surfaces d'interface entre 1999 et 2009 (Long-Fournel et al. 2013), soit environ 1 % par an.

Dans le Sud-Ouest, le phénomène a été un peu plus tardif mais important, notamment dans le massif Landais, surtout du fait de la consommation d'espaces forestiers par l'urbanisation entre Bordeaux et le Bassin d'Arcachon et le long du littoral atlantique : une commune de la banlieue bordelaise comme Saint-Jean-D'Illac, qui a connu un incendie de 563 ha en 2015 (source : BDIFF), a par exemple vu sa population passer de 1 500 à 9 500 habitants entre 1975 et 2024 (source : INSEE).

### Interfaces et analyse du risque incendie

Les interfaces sont centrales dans la gestion du risque incendie puisque c'est le lieu où les principales sources d'aléa (la biomasse et les sources d'ignitions liées aux activités humaines) (Chappaz et Ganteaume 2023 ; Pausas et Keeley 2021) et les enjeux (les personnes et les biens) vulnérables à l'incendie se côtoient (Bruno et al. 2024) (voir Chap. 3, Vulnérabilités).

## Interface habitat-végétation en France (Schug et al. 2023)

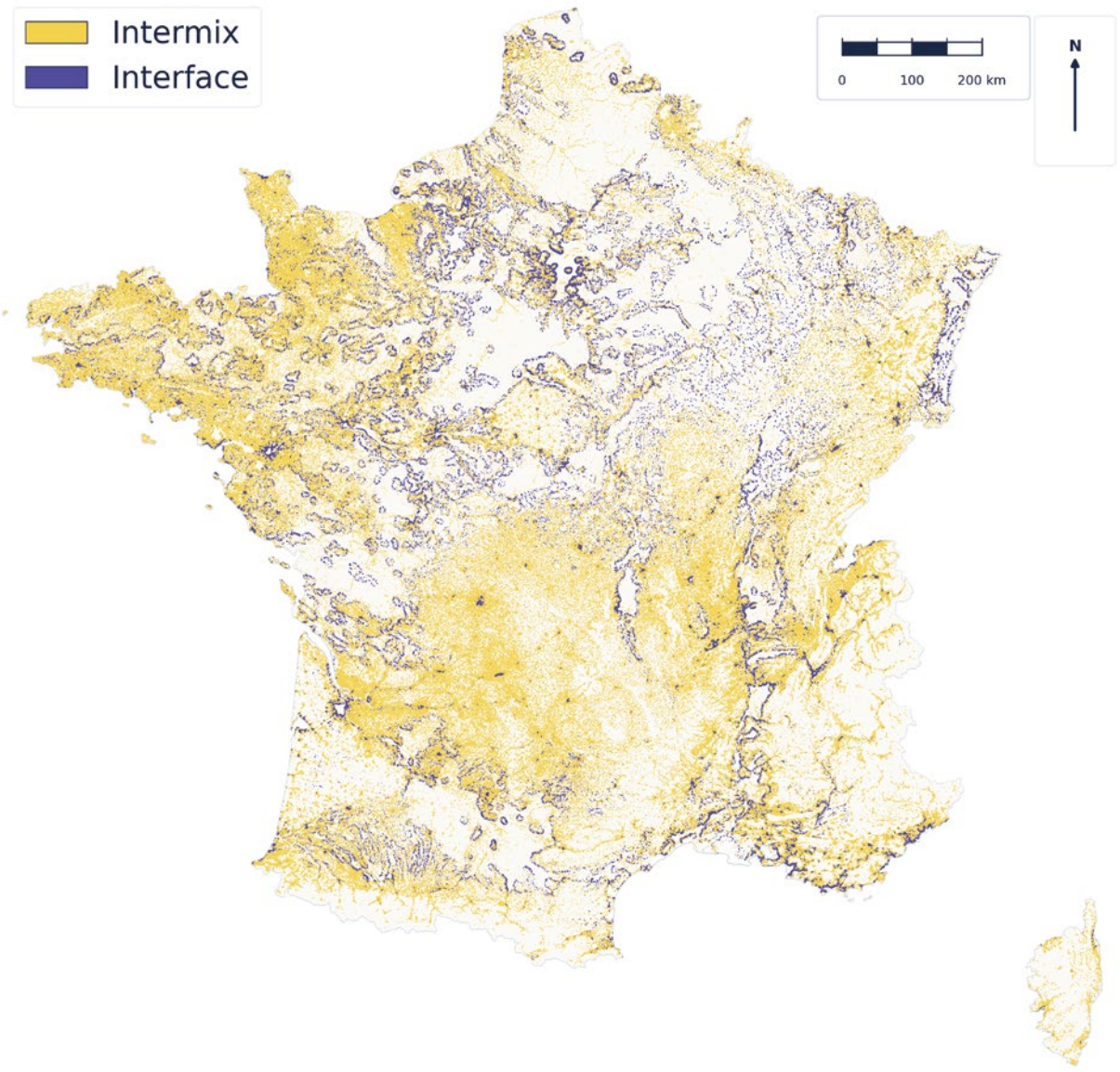



**Figure 3** : Interfaces et Intermix en France : une nette prédominance des intermix. Figure réalisée depuis les données de (Schug et al. 2023).

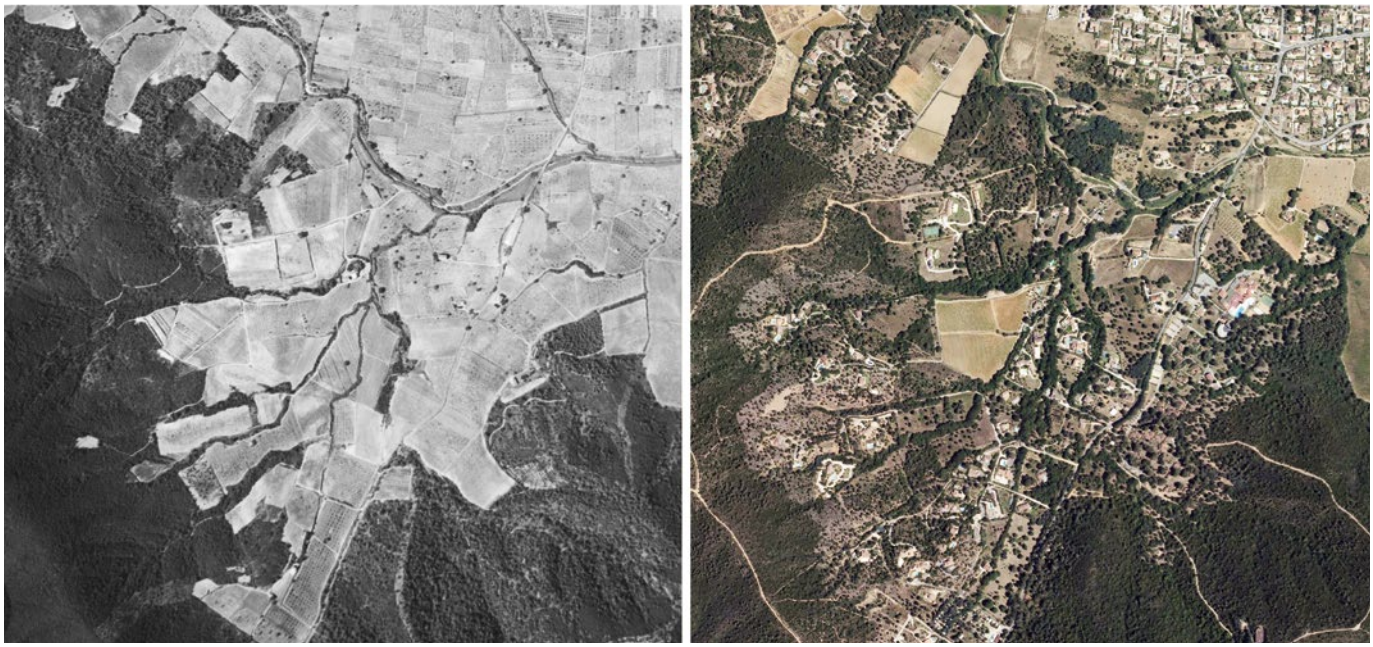


**Figure 4 :** Bormes-les-Mimosas (83) en 1955 et 2017 : recul de l'agriculture, développement de l'habitat et avancée de la végétation.
Source : IGN, Photothèque nationale.

Les départs d'incendie sont ainsi plus fréquents dans ces zones qu'ailleurs (deux fois plus pour l'Espagne par exemple (Bento-Gonçalves et Vieira 2020). Ce voisinage génère de nombreux défis pour l'adaptation, la prévention et la lutte (Gill et Stephens 2009 ; Manzello et al. 2018). La proximité de la ville génère, par exemple, des entraves à l'entretien des forêts par des difficultés d'accessibilité ou des conflits autour des modifications paysagères induites par l'exploitation forestière. En retour, les biens et les populations des zones d'interface sont particulièrement exposés aux incendies.

Si le potentiel de propagation n'est pas nécessairement plus élevé que dans les massifs forestiers continus, certaines études montrent que les interfaces jouent un rôle dans l'occurrence de feux extrêmes (voir Chap. 2, Aléa). C'est en particulier le cas lorsque la combustion des bâtiments eux-mêmes contribue à la dynamique du feu, comme en Amérique du Nord à cause des constructions en bois (Duane, Castellnou, et Brotóns 2021). La vulnérabilité* des enjeux anthropiques y est en revanche systématiquement maximale : il est établi que quels que soient les pays, la

## Zoom sur les friches

Le processus de colonisation des marges de la ville crée des paysages mixtes singuliers, qu'il est difficile de qualifier : zones commerciales, d'entrepôts, d'industrie, où l'emprise des infrastructures est majeure, entremêlées de parcelles agricoles cultivées ou « mises en attente », îlots forestiers, vastes zones de végétation intermédiaire, habitat dispersé, etc. Un concept transversal peut pourtant aider à comprendre cette complexité : la friche. **La friche** (Janin et Andres 2008) **est à la fois un élément de paysage et un système de valeurs en évolution.** Le terme s'applique à différents contextes : on parle de friche industrielle, urbaine, agricole et le concept peut s'étendre jusqu'à couvrir des types de couverts forestiers dégradés, voire des formations végétales « spontanées ». Ici, les notions d'urbain et de rural/naturel deviennent floues. Mais ce sont les dynamiques qui caractérisent essentiellement les friches. Elles ne sont pas figées dans le temps et dans l'espace comme peuvent l'être des « massifs forestiers » sanctuarisés ou des lotissements urbains pérennes. Les friches sont des éléments de paysage en transition et leur devenir s'inscrit dans l'évolution des systèmes productifs. Ce sont des indicateurs de changement.

Mettre l'accent sur les friches permet de comprendre les zones d'intermix et de montrer que les incendies y affectent des éléments de paysages complexes, hybrides, transitoires, plutôt que figés et statiques.

majorité des dommages survienne dans ou à proximité immédiate des zones d'interface (Gibbons et al. 2012 ; Kramer et al. 2018 ; Price et Bradstock 2013) (voir Chap. 4, Conséquences). Cela confère à ces espaces un statut particulier dans les stratégies de prévention, de planification et de gestion de crise car le nombre de personnes exposées est prioritairement pris en compte dans la gestion du risque. C'est la raison pour laquelle les travaux d'évaluation du risque dans les interfaces se sont surtout intéressés à la composante résidentielle de l'interface (le plus souvent de l'habitat individuel) (Lampin-Maillet et al. 2011 ; Ravoire et al. 2024) et à la composante végétale ligneuse du combustible.

Le risque structurel global correspond à l'aléa et la vulnérabilité évalués par différents indicateurs, tels que le nombre de feux, les surfaces brûlées ou le nombre d'enjeux impactés (voir Chap. 2, Aléa). Aux échelles locales et régionales, il est corrélé à l'organisation spatiale des interfaces. Celle-ci caractérise la relation entre le combustible, source d'aléa, et les enjeux vulnérables (voir Chap. 3, Vulnérabilités) (Lampin-Maillet et al. 2009). Des typologies d'interfaces sont définies et servent d'indicateurs de risque (Cillis et al. 2022 ; Ezz et al. 2022). Leur cartographie fondée sur des algorithmes d'analyse spatiale permet la production d'outils d'aide à la décision d'aménagement des territoires locaux.

## Caractérisation et cartographie des interfaces

En effet, l'enjeu majeur des travaux scientifiques sur les interfaces réside dans leur caractérisation et leur délimitation cartographique. Celles-ci visent à distinguer différents types ou classes d'interfaces, avec des objectifs d'évaluation du risque incendie ou d'appui à la planification territoriale. Les approches méthodologiques sont nombreuses et prennent en compte différents paramètres (distance autour des massifs forestiers, densité du bâti, morphologie spatiale, c'est-à-dire comment bâti et végétation se mélangent, etc.) pour rendre compte de gradients continus d'interpénétration entre urbain et végétal (Lampin-Maillet, Jappiot, et al. 2010).

Les algorithmes qui découlent de ces approches sont généralement fondés sur le tracé de zones tampon, c'est-à-dire de délimitation d'une zone de largeur donnée autour d'un objet comme une construction ou une forêt (voir Fig. 5). Par exemple, une zone tampon peut être tracée le long de la limite de la zone urbanisée, puis l'analyse du combustible présent dans cette zone tampon permettra d'évaluer le risque lié à cette organisation spatiale du territoire.

Comme le risque incendie dans les interfaces est lié à la co-présence d'enjeux humains et de végétation, les cartographies peuvent croiser deux types de zones tampon :

- une (ou plusieurs) zone(s) tampon autour des structures anthropiques pouvant aller de l'identification de bâtiments ou d'infrastructures individualisés comme des routes, réseau d'énergie, etc. jusqu'à l'agglomération, voire la région urbanisée en fonction de l'échelle choisie ;

- une (ou des) zone(s) tampon autour des masses de végétation combustible depuis l'arbre ou l'arbuste jusqu'au massif forestier voire la région forestière, toujours en fonction de l'échelle choisie.

En France, plusieurs modèles de caractérisation d'interface ont été créés pour la gestion du risque incendie, avec différents objectifs et différents niveaux de validation : le modèle WUIMap (Bouillon et al. 2014) a été développé par INRAE sous la forme d'une application dans un système d'information géographique, pour répondre plus spécifiquement à des questions d'aménagements des territoires locaux et de planification urbaine (définition des Plans Locaux d'Urbanisme) ou de gestion du risque incendie de forêt (Plan de Prévention du Risque Incendie de Forêt) à l'échelle locale (voir Fig. 5). Il avait été validé pour l'évaluation d'indicateurs quantitatifs de risque (nombre d'ignitions et surfaces brûlées). Un modèle alternatif avait été également développé, essentiellement à dire d'experts par l'Office National des Forêts, avec un objectif d'évaluation de la défendabilité*[11] des enjeux par les services de lutte et de gestion des forêts périurbaines.

Ces approches ont récemment été fusionnées dans un modèle dit « unifié » (Le Fur et al. 2024), ou WUIMap généralisée au Sud-Est Méditerranée[12]. Ce nouveau modèle s'appuie sur une zone tampon de 200 m autour des massifs forestiers, cartographiés de façon normative par l'Office National des Forêts. Ce tampon correspond également à la zone de sélection des bâtiments soumis à l'obligation légale de débroussaillement (OLD)* : ce paramètre est donc défini à la fois sur un critère réglementaire, mais aussi physionomique (impact de la pratique de

[11] La « défendabilité » est une notion opérationnelle utilisée pour évaluer la capacité d'un enjeu à être défendu par des moyens institutionnels ou vernaculaires (lutte contre le feu, autodéfense). La doctrine opérationnelle du ministère de l'Intérieur français n'évalue la défendabilité que par rapport aux moyens institutionnels (https://www.interieur.gouv.fr/content/download/133614/1059040/file/GDO-Feux-Forets-Espaces-Naturels.pdf). Seules trois classes de critères y sont prises en compte : l'accessibilité, la disponibilité des hydrants* (c'est-à-dire les points d'eau) et la qualité du débroussaillement. La défendabilité est peu étudiée par la littérature internationale, excepté au travers de la notion « d'espace défendable » (Syphard, Brennan, et Keeley 2014) (voir Chap. 6, Prévention).

[12] https://interreg-maritime.eu/documents/1228084/0/T2.2.3_zonizzazione+rischio_cartographie+risque_FR-IT_.pdf/a6e36b98-17e9-c22e-e6ec-ba3cb64b35d5?t=1689603695270 pp.20-32

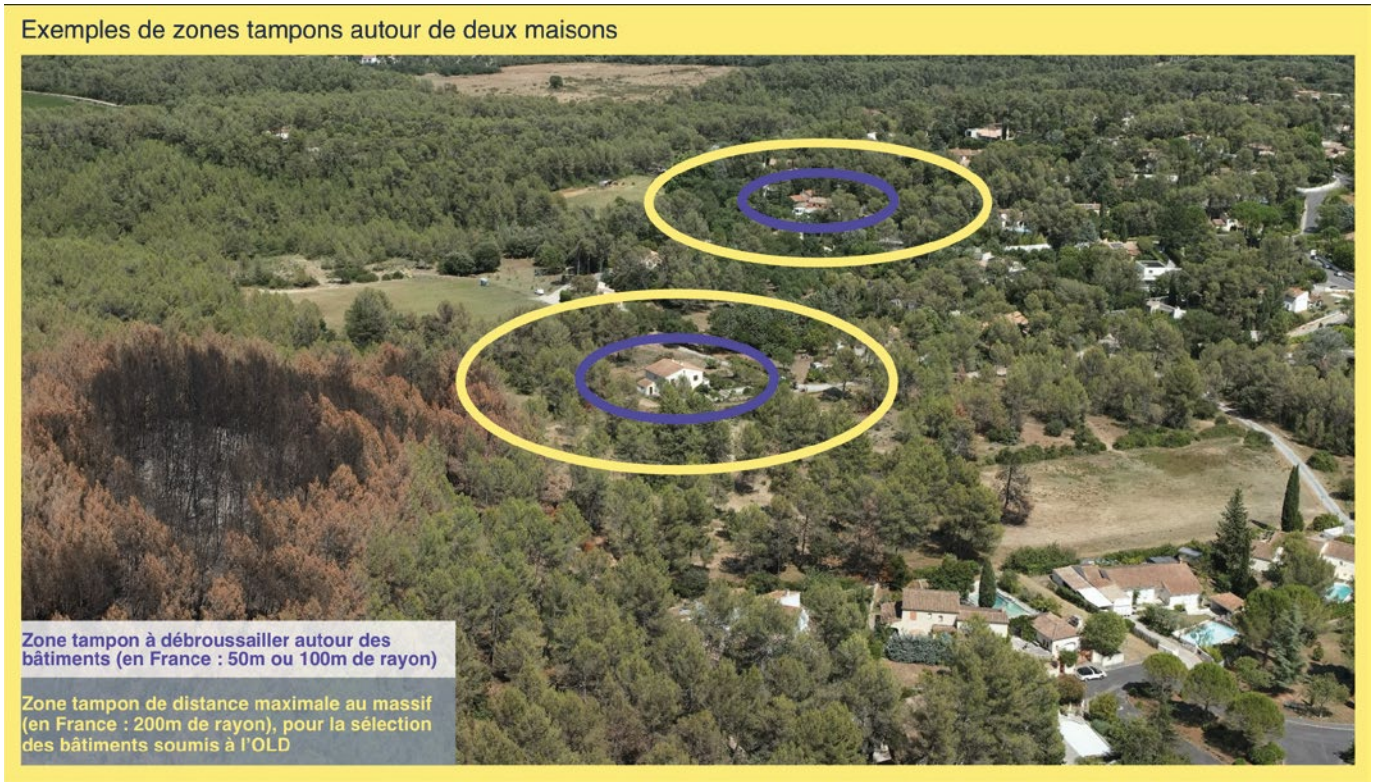



**Figure 5 :** Exemples de zones tampons autour de bâtiments pour la cartographie des interfaces. Les cercles jaunes indiquent la distance de 200 m autour des bâtiments. Si un massif forestier est inclus dans cette zone tampon, le bâtiment est soumis à l'obligation légale de débroussaillement. Les cercles violets délimitent la zone de 50 m autour du bâtiment qui doit être débroussaillée. (Les cercles ont une visée illustrative et ne correspondent pas aux distances réelles). Crédits photo : Fabien Guerra, INRAE Recover.

débroussaillement* sur le combustible). Une fois ce zonage réalisé, un certain nombre de classes d'interfaces peuvent être définies, sur la base d'attributs quantitatifs (densité des bâtiments, type de végétation), mais aussi géométriques et topologiques (comme la longueur des contacts avec le massif). Des critères purement sémantiques, en particulier la différenciation entre urbain et non urbain, sont également introduits pour caractériser ces interfaces. Les travaux de validation formelle de ce modèle sont encore en cours mais il réunit les éléments les plus pertinents en termes d'évaluation du risque global et de ses composantes des deux modèles historiques utilisés en France.

## Limites des connaissances

Malgré l'usage très large du concept d'interface, le consensus terminologique et conceptuel reste limité. Les ambiguïtés sémantiques, la diversité des définitions et des cadres réglementaires selon les pays constituent des sources importantes de variabilité dans l'évaluation du risque.

L'usage massif de l'expression interface ville - espace naturel soulève aussi une difficulté conceptuelle : le schéma historique structurant des villes européennes, caractérisé par un gradient d'anthropisation dégressif (la ville est entourée d'une ceinture agraire puis de zones naturelles), a cédé la place à une vision binaire ville / nature où les espaces intermédiaires semi-naturels et agricoles dans la périphérie des villes sont résiduels ou ont disparu. Sur le plan sémantique, la notion tend donc à invisibiliser les dynamiques territoriales, en particulier les espaces agricoles et les pratiques paysannes dans la caractérisation du risque dans les interfaces alors qu'ils sont importants dans les stratégies de réduction du risque (voir Chap. 8, Urbanisme et gouvernance).

Les travaux sur la mise en relation formelle entre les modèles d'interface et les différentes composantes du risque restent encore très parcellaires et contextualisés. La formalisation de modèles spatiaux du risque contextuel reste un champ de recherche ouvert, nécessaire à la formalisation d'outils d'aide à la gestion des territoires locaux pour la réduction du risque incendie, certaines de ces approches étant développées dans le Chap. 6, Prévention. Les cartographies ne rendent pas bien compte des éléments instables des paysages et des territoires potentiellement impactés par les incendies comme les formations végétales intermédiaires ou temporaires ou l'habitat informel et précaire.

Par ailleurs si les modèles climatiques permettent d'anticiper l'aléa météorologique dit « feux de forêt », les scénarios intégrés d'évolution des interfaces et de l'occupation des espaces territoriaux aux échelles locales restent très rares et à des niveaux de validation très faibles : d'importants champs de recherche restent ouverts sur ces thématiques interdisciplinaires.

## Conclusion

Les interfaces ville - espace naturel sont donc des zones hybrides (souvent dominées par des configurations d'intermix en Europe méditerranéenne) dont l'expansion est liée à l'étalement urbain et à la déprise agricole. Elles concentrent à la fois les aléas (biomasse, ignitions d'origine anthropique) et les enjeux humains (personnes et biens). Comme le montreront les chapitres suivants, ce sont par conséquent des zones critiques pour la gestion du risque incendie qui nécessitent des outils d'analyse et de gestion adaptés.

## I.2 L'Aléa incendie de végétation

### Essentiels

La végétation est combustible : c'est le point essentiel de l'aléa incendie. L'énergie disponible dépend de la quantité d'eau à évaporer (teneur en humidité) et de la charge en combustible. Sa compacité (herbes, branches, troncs) détermine la vitesse de combustion et l'inflammabilité. **L'occurrence d'un incendie suppose la combinaison d'une source d'ignition ou d'allumage, de combustibles connectés, de déficit hydrique (sécheresse) et des conditions météorologiques favorables à la propagation.**

Une très faible part des événements concentre la grande majorité des conséquences. La littérature les qualifie **d'événements extrêmes en raison de cette rareté statistique.**

En Europe, une large part des incendies est d'origine humaine, dont une grande majorité relève de la négligence. L'aléa est donc très fortement lié aux concentrations de population, aux activités et aux infrastructures urbaines ou périurbaines. En ce sens, **l'incendie de végétation peut être considéré comme un phénomène autant urbain que rural**. En France, en moyenne, les deux tiers des incendies éclosent aux interfaces ville - espace naturel.

Les incendies résultent de facteurs à la fois biophysiques et anthropiques, les dynamiques socio-économiques — déprise agricole, exode rural, expansion urbaine — expliquent une grande partie des évolutions récentes des régimes d'incendie, en favorisant localement l'accumulation des combustibles et l'extension des interfaces.

L'indice forêt-météo constitue une base opérationnelle robuste pour la caractérisation du danger incendie en France. Son intégration dans une démarche plus globale et multifactorielle, incluant la structure et l'état des combustibles, les conditions de vent extrême et les facteurs anthropiques, permettrait de mieux appréhender l'aléa incendie dans toute sa complexité et aux différentes échelles de décision.

L'analyse des incendies de forêt et de végétation s'inscrit dans le cadre général de la gestion des risques naturels. **Ces risques sont définis par la combinaison de l'aléa, de l'exposition et de la vulnérabilité (Birkmann 2007). L'aléa* correspond à la probabilité d'occurrence de phénomènes dommageables et à leurs caractéristiques potentielles (étendue, intensité*).** Exposition et vulnérabilité renvoient aux conséquences possibles d'un événement sur les enjeux exposés (personnes, biens, environnement) et sont traités dans le Chapitre 3, Vulnérabilités.

La combustion du végétal devient possible dès lors qu'il est soumis à une source de chaleur suffisante pour évaporer l'eau qu'il contient et atteindre sa température de pyrolyse, libérant alors des gaz inflammables qui s'oxydent au contact de l'air. Sa propagation correspond au passage du feu d'un élément combustible à un autre par une réaction en chaîne entretenant les transferts de chaleur, la pyrolyse et la combustion. Dans les milieux naturels, l'accumulation de combustibles du fait de la croissance des plantes alimente l'aléa feu, le feu jouant à la fois un rôle de régulateur et de perturbateur des écosystèmes (voir Chap. 4, Conséquences). **Lorsque ce feu n'est pas souhaité, il devient un incendie de végétation**. De nature probabiliste, l'aléa incendie présente une distribution **fortement dissymétrique : une petite minorité d'événements, dits extrêmes, concentre la majorité des conséquences**.

Au-delà des facteurs biophysiques, à l'interface ville - espace naturel, la structure et l'état du combustible végétal sont aussi façonnés par des dynamiques socio-écologiques telles que la déprise agricole, l'urbanisation croissante et la recomposition des activités économiques (Chuvieco et al. 2021 ; Moreira et al. 2020). Les incendies doivent ainsi être appréhendés comme le produit de systèmes complexes issus d'interactions non linéaires entre climat, végétation, usages des sols et activités humaines (Bowman et al. 2020). En France, cette nouvelle donne se traduit par une intensification de l'aléa incendie, historiquement présent en région méditerranéenne et, dans une moindre mesure, dans certaines régions atlantiques (Aquitaine, Bretagne), mais aussi par son extension à des territoires jusqu'alors relativement épargnés, comme les Alpes ou la région Centre-Val de Loire (Fargeon et al. 2020 ; Lanet 2025).

## Composition de l'aléa incendie de végétation

L'aléa incendie ne peut être expliqué par un seul facteur ou un seul modèle de probabilité. Il résulte de la combinaison non linéaire de trois grandes composantes elles aussi statistiques (voir Fig. 6) : **l'aléa structurel**, lié à la disponibilité de combustible végétal ; **l'aléa d'éclosion**, lié à la probabilité de départ de feu ; et **l'aléa météorologique** qui détermine la sensibilité au feu du combustible (Pausas et Keeley 2021).

Les incendies surviennent lorsque ces facteurs franchissent simultanément des seuils critiques : une source d'allumage est présente, les combustibles sont suffisamment abondants, et les conditions hydriques permettent leur ignition. Les conditions météorologiques immédiates peuvent abaisser ces seuils et faciliter la propagation de grands incendies. La probabilité et l'ampleur des incendies dépendent donc de la fréquence à laquelle ces seuils sont dépassés simultanément dans un écosystème donné, ce qui définit à la fois son régime de feu*, c'est-à-dire la manière dont les incendies s'y produisent et s'y propagent, et leur fréquence d'occurrence.

À cette représentation de l'aléa incendie, on peut ajouter la **sévérité* du feu** (*fire severity*), qui traduit les impacts potentiels du feu sur l'écosystème, mais aussi le niveau de dommages sur les personnes et les biens. La probabilité que certains seuils de dommages ou de sévérité soient franchis constitue également un aléa statistique.

### Combustible végétal et l'aléa structurel

Le combustible végétal constitue le déterminant structurel de l'aléa. La végétation stocke de l'énergie sous forme de biomasse vivante ou morte, dont les propriétés intrinsèques d'inflammabilité, la charge (masse par unité de surface), la géométrie (surface réactive par unité de volume) ou encore le pouvoir calorifique potentiel (énergie libérable par la combustion ; 1 kg de biomasse sèche correspondant approximativement à 0,4 l d'essence), ainsi que la teneur en eau (correspondant à la quantité d'eau devant être évaporée avant combustion) conditionnent l'ignition et la propagation des incendies (Fernández-Guisuraga et Calvo 2023 ; Hardy 2005).

Les combustibles végétaux fins et morts (litière forestière, herbes sèches, broussailles sèches) favorisent l'allumage du feu en raison de leur capacité à s'enflammer rapidement, alors que les combustibles morts de plus grand diamètre et/ou vivants (branches épaisses, troncs, végétation verte) sont moins inflammables et présentent une combustion plus lente. **La teneur en eau du combustible**

**Figure 6 :** Les composantes de l'aléa incendie et la notion de sévérité

**mort peut évoluer rapidement en fonction des conditions météorologiques, à l'échelle journalière, tandis que celle du combustible vivant dépend de l'état physiologique ou du stress hydrique de la végétation et présente des temps de réponse plus longs, à l'échelle hebdomadaire ou mensuelle**.

**La continuité horizontale des combustibles favorise la propagation, tandis que la continuité verticale entre les strates herbacée, arbustive et arborée permet le passage à des feux de cime* beaucoup plus intenses et favorise la combustion de combustibles vivants** (Fernandes et al. 2016). La charge en combustible et la structure de la végétation constituent donc des paramètres clés.

Cette structure des combustibles dépend largement des dynamiques écologiques et des usages des sols. **La déprise agricole ou certaines mesures de gestion (reboisement, suppression des feux) ont favorisé l'accumulation des combustibles et augmentent ainsi le potentiel d'incendies intenses (Moreira et al. 2020.** Une exception concerne la repousse de végétations à feuilles caduques qui ont en général des caractéristiques qui limitent davantage la propagation du feu : leurs feuilles contiennent souvent plus d'eau, elles sont plus riches en certains composés comme les phénols, elles offrent une plus grande surface par rapport à leur masse, et leur bois est généralement plus dense (Marques et al. 2011). À l'inverse, la plupart des conifères sont plus inflammables : leurs aiguilles contiennent moins d'eau, ils sont plus riches en composés très inflammables comme les terpènes, et leur bois est en général moins dense.

### L'aléa météorologique et les sécheresses

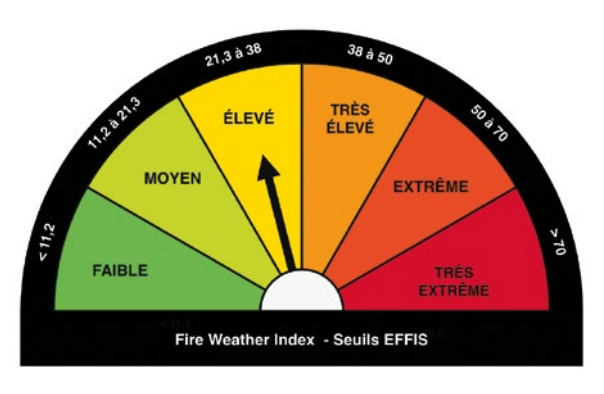
**Les conditions météorologiques, qu'il s'agisse du vent, de la température ou de l'humidité relative de l'air, jouent un rôle conjoncturel déterminant en modulant l'humidité des combustibles et en favorisant les transferts de chaleur, ce qui facilite la propagation d'un incendie et augmente son intensité**. En France, le vent constitue un facteur explicatif majeur des grands incendies, notamment en région méditerranéenne, où les régimes de feu sont principalement pilotés par des vents continentaux forts et secs qui accélèrent la propagation par oxygénation et déplacement des flammes, et favorisent les sautes de feu* (Ruffault et al. 2017).

Les sécheresses jouent également un rôle majeur dans la dynamique des incendies, mais leurs effets varient selon leur durée, leur saisonnalité et les régions. Les sécheresses prolongées, sur plusieurs mois ou saisons, assèchent les sols et les combustibles vivants, favorisant des incendies plus intenses (Ruffault et al. 2018). En région méditerranéenne, les sécheresses de l'automne au printemps sont identifiées comme un facteur déterminant du nombre de grands incendies, tandis que les sécheresses estivales constituent un facteur déterminant des surfaces brûlées (Ganteaume et Jappiot 2013). Hors de cette région, ce sont principalement les sécheresses prolongées qui conditionnent l'émergence des incendies (Barbero et al. 2019).

## Zoom sur l'Indice Forêt-Météo - *Fire Weather Index* (FWI)

Le système FWI (*Fire Weather Index*, Indice forêt-météo IFM) est l'indice le plus répandu, en recherche comme en opérationnel, pour évaluer le danger des incendies. Il se compose de 6 éléments qui prennent en compte les effets de l'humidité du combustible et des conditions météorologiques sur le comportement du feu. Les trois premiers éléments sont des indices d'humidité du combustible, qui correspondent à des valeurs numériques représentant la teneur en humidité du sol forestier et d'autres matières organiques mortes. Leurs valeurs augmentent à mesure que la teneur en humidité diminue.

Les trois composantes restantes sont des indices de comportement du feu, qui représentent la vitesse de propagation du feu, le combustible disponible pour la combustion et l'intensité frontale du feu ; ces trois valeurs augmentent à mesure que l'aléa incendie s'accroît. Le calcul de FWI repose sur des valeurs quotidiennes consécutives de la température, de l'humidité relative, de la vitesse du vent et des précipitations. Dans le système EFFIS (*European Forest Fire Information System*)[13], l'indice est classé en 6 catégories : faible <11,2, moyen 11,2 à 21,3, élevé 21,3 à 38,0, très élevé 38,0 à 50,0, extrême 50,0 à 70,0 et très extrême > 70,0.




[13] https://forest-fire.emergency.copernicus.eu/

**Les situations les plus critiques associent sécheresses prolongées, températures élevées et vents forts, pouvant conduire à des incendies rapides et intenses, voire à des comportements extrêmes** (Lahaye et al. 2018 ; Ruffault et al. 2018) mais aussi à des années exceptionnellement catastrophiques, au cours desquelles les superficies brûlées sont hors norme. **La fréquence de ces conditions, en interaction avec les combustibles, définit les régimes de feu propres à chaque territoire**.

### L'aléa d'éclosion et les spécificités des interfaces

En France, les éclosions d'incendies (aussi appelés départs de feu) sont majoritairement d'origine humaine et généralement non intentionnelles. Les activités socio-économiques, les réseaux routiers et les mobilités quotidiennes structurent fortement la distribution spatiale des départs de feu (Perpinyà et Pallarès-Barberà 2006. **Par ordre d'importance, des paramètres tels que la densité de population, le type de combustible, la proximité des routes et des interfaces, ainsi que le pourcentage de couverture végétale, figurent parmi les principaux facteurs explicatifs de l'aléa d'ignition en Europe** (Gelabert et al. 2025). Cette probabilité territoriale d'éclosion doit être distinguée de l'inflammabilité du combustible disponible localement, c'est-à-dire de sa capacité physique à s'enflammer. L'ignition résulte de la rencontre entre une source d'allumage, un combustible suffisamment sec et inflammable, et des conditions météorologiques favorables. Ignition* et éclosion* désignent les premiers moments d'un incendie : l'ignition renvoie au processus physico-chimique d'allumage, l'éclosion à l'apparition effective d'un départ de feu.

Les interfaces ville - espace naturel concentrent ces dynamiques, car elles combinent une forte densité de population, une grande variété de combustibles, liés à la végétation naturelle, cultivée ou aménagée, mais aussi au bâti. Cette proximité immédiate entre combustibles et personnes et biens impose une approche intégrée et évolutive de l'aléa en général et d'occurrence en particulier dans ces interfaces (Bento-Gonçalves et Vieira 2020 ; Chappaz et Ganteaume 2023).

Toutefois, **une forte fréquence des allumages ne se traduit pas nécessairement par davantage de grands incendies. Ceux-ci tendent au contraire à se produire dans des zones plus rurales, en périphérie des zones densément peuplées ou dans des territoires marqués par la déprise agricole**, caractérisés par une détection plus tardive, une accessibilité plus réduite et une plus grande continuité des combustibles* (Marques et al. 2011). L'accumulation de combustibles, favorisée par la déprise agricole, l'expansion de la végétation basse de type « buisson » et certaines plantations, comme les forêts de pins, y accroît le potentiel de propagation (Curt, Borgniet, et Bouillon 2013 ; Ganteaume et Jappiot 2013 ; Moreno et al. 2011).

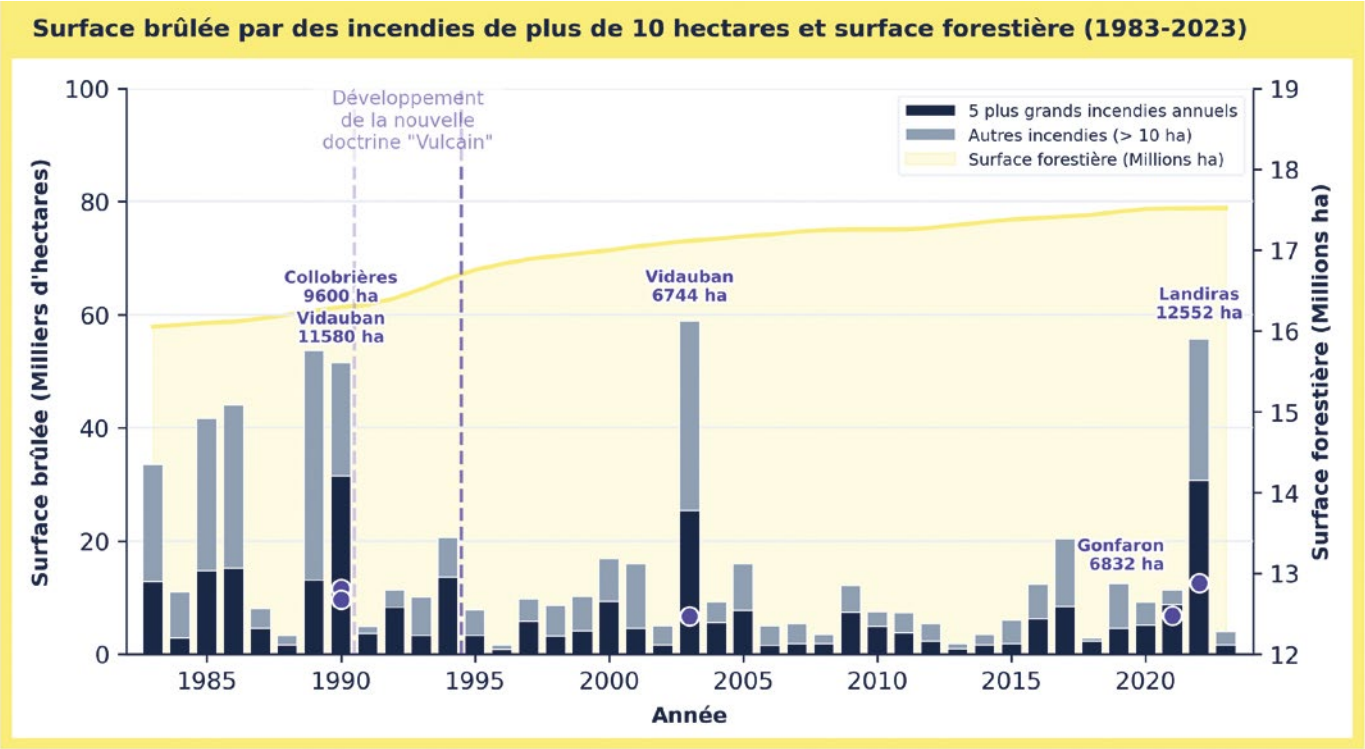



**Figure 7 :** Surfaces brûlées annuelles (uniquement les incendies supérieurs à 10 ha) et évolution de la surface forestière en France (1983-2023). Les barres représentent la surface brûlée en distinguant la contribution des 5 plus grands feux de l'année (bleu foncé) du reste (gris). La courbe de fond montre l'évolution de la surface forestière. Source : Ministère de l'Agriculture, Base de Données sur les Incendies de Forêt (BDIF) et Séries longues sur l'occupation des sols (Agreste).

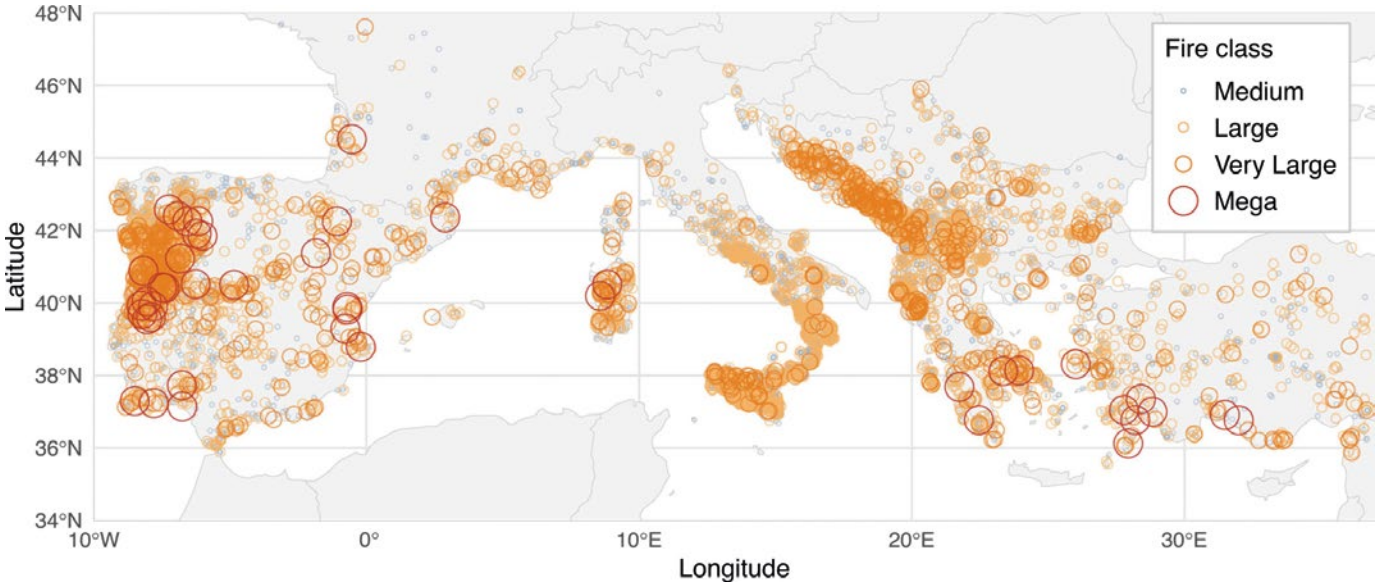



**Figure 8 :** Répartition spatiale des incendies de végétation suivant leur surface en ha (Medium : 30-100, Large : 100-1 000, Very Large : 1 000-10 000 et Mega ≥ 10 000 ha) dans la région euro-méditerranéenne sur la période 2008-2022 (Ghasemiazma et al. 2026).

À partir des années 1990, la forte concentration des allumages à proximité des zones habitées a conduit à l'adoption d'une nouvelle doctrine de lutte, fondée sur l'attaque des feux naissants, notamment grâce au développement du guet aérien armé et au pré positionnement des moyens lors des journées d'aléa fort (Battesti 1997). Cette évolution a nettement contribué à contenir les surfaces brûlées, comme en témoignent à la fois la très forte diminution des surfaces brûlées, malgré un nombre d'incendies relativement constant (voir Fig. 7), et la singularité statistique de la zone méditerranéenne française, bien moins impactée que les autres pays européens (voir Fig. 8).

Elle s'inscrit aussi dans un contexte d'accroissement de la surface forestière et d'extension des interfaces, qui augmentent structurellement les occasions de contact entre populations, infrastructures et combustibles (voir Fig. 7).

La dynamique de l'aléa d'éclosion des incendies résulte ainsi d'une superposition spatiale croissante entre zones d'allumage et zones propices à la propagation, ce qui implique que **les politiques de prévention* des grands incendies ne peuvent pas reposer uniquement sur la réduction des départs de feu et l'attaque des feux naissants, mais doivent également prendre en compte la structure et la continuité des combustibles** (Pausas et Keeley 2021).

## Mesurer et caractériser l'aléa incendie

### La notion d'évènements extrêmes

L'aléa incendie de végétation, en particulier à l'interface entre espaces naturels et espaces habités, ne peut être décrit selon une logique de « normalité » fondée sur une valeur moyenne représentative. **Il relève d'un système fortement non linéaire, dans lequel l'accumulation des combustibles, la structuration des paysages et les conditions de vulnérabilité se construisent lentement, alors que l'incendie lui-même correspond à une libération rapide d'énergie** (Malamud, Morein, et Turcotte 1998 ; Reed et McKelvey 2002). Dans de tels systèmes, **de faibles écarts dans les conditions initiales ou locales**, humidité des combustibles, vent, continuité de la végétation, délai ou efficacité des premières attaques, **peuvent suffire à faire basculer un départ de feu vers une extinction rapide ou, au contraire, vers un événement majeur** (Tedim et al. 2018 ; Werth et al. 2016). Il en résulte une distribution très dissymétrique des tailles, des intensités et des impacts : une majorité d'incendies reste de petite taille, tandis qu'un petit nombre d'événements concentre l'essentiel des superficies brûlées et des dommages aux personnes, aux biens et à l'environnement (Hantson, Pueyo, et Chuvieco 2016 ; Malamud et al. 1998 ; Royé et al. 2020). **Dans ce cadre, il n'existe donc pas d'« incendie moyen », ni d'« écart type » réellement pertinent pour penser les situations les plus graves : ce sont au contraire les événements rares et disproportionnés qui structurent le risque.**

**Parler d'« incendies extrêmes » a ainsi un sens précis. Il ne s'agit pas d'anomalies extérieures au système, mais d'une propriété structurelle des régimes de feu**, caractérisés par des distributions statistiques où la concentration des effets se trouve essentiellement dans un petit nombre d'événements situés en queue de distribution (Malamud et al. 1998 ; Reed et McKelvey 2002 ; Tedim et al. 2018). La difficulté pour les appréhender ne tient donc pas à l'existence de ces extrêmes, mais à leur définition partagée entre acteurs, par exemple un quantile statistique (1 % les plus étendus) ou une période de retour (décennale, centennale…), (voir Zoom sur les seuils).

L'enjeu n'est donc pas de savoir si les incendies extrêmes existent, mais **à partir de quel niveau on choisit de les qualifier ainsi, dans quel territoire, et selon quelles métriques d'impact.** Cette qualification reste en outre contextuelle, car la fréquence, la forme et les conséquences de ces événements dépendent des climats, des structures paysagères, des usages des sols, des pratiques humaines et des politiques de gestion, qui peuvent à la fois modifier leur probabilité d'occurrence et leur gravité (Chuvieco et al. 2021 ; Moreira et al. 2020).

Dans ce contexte, l'évaluation de l'aléa ne peut se limiter au seul nombre de départs de feu ; elle doit également intégrer le potentiel de propagation, la continuité ou l'hétérogénéité des combustibles, les conditions météorologiques et la proximité des zones habitées ou même les politiques de suppression (Evin, Curt, et Eckert 2018), afin d'identifier les configurations favorables à des événements rares mais à forts impacts.

### Indices de danger incendie

En France, l'indice forêt-météo (IFM), ou *Fire Weather Index* (FWI) (Wagner 1987), s'est imposé comme un outil météorologique central pour l'évaluation et la prévision du danger incendie, d'abord à travers l'appui opérationnel de Météo-France à la sécurité civile, puis plus récemment via des dispositifs d'information à destination du grand public, tels que « La météo des forêts » (voir Zoom sur l'IFM).

Cet indice repose sur des prévisions météorologiques (température, humidité relative, vent et précipitations). En France, l'IFM est calculé quotidiennement par Météo-France à partir du modèle de prévision numérique AROME, à une résolution kilométrique, afin de produire des niveaux de danger incendie à l'échelle intra-départementale. Son calcul s'appuie sur une chaîne de sous-indices représentant l'état hydrique du sol, et donc indirectement celui de la végétation, ainsi que la capacité de propagation du feu, ce qui permet de caractériser le danger incendie à court terme (de J à J+1). Ces produits alimentent directement la gestion opérationnelle des incendies, notamment le pré-positionnement des moyens, le déclenchement de niveaux d'alerte et les restrictions d'accès aux massifs forestiers.

Plusieurs études ont montré que l'IFM possède une réelle capacité prédictive en France. Il reproduit la variabilité spatio-temporelle à grande échelle du danger incendie, rend compte de la saisonnalité de l'activité incendie et est associé à l'occurrence de grands feux, ainsi qu'à des comportements extrêmes, en particulier dans le Sud-Est de la France. Il constitue ainsi un indicateur pertinent pour l'alerte et la planification des moyens (Lahaye et al. 2018).

Toutefois, les performances de l'IFM présentent certaines limites. En contexte méditerranéen, les grands incendies sont le plus souvent fortement pilotés par le vent ; or, des phénomènes de saturation peuvent apparaître pour des vents forts, ce qui rend plus difficile la discrimination des niveaux de danger dans ces situations. Par ailleurs, des décalages de saisonnalité ont été observés, avec une tendance à surestimer le danger en début de saison et à le sous-estimer en fin de saison. Plus largement, l'IFM ne prend pas explicitement en compte certains déterminants majeurs de l'aléa, tels que l'humidité des combustibles vivants, les caractéristiques structurelles de la végétation ou encore les allumages, largement influencés par les activités humaines (Barbero et al. 2019 ; Pimont et al. 2021 ; Ruffault et Mouillot 2017).

### Limites des indices de danger incendie et approches probabilistes complémentaires

L'IFM ne fournit pas directement une probabilité d'occurrence d'incendie. Les approches probabilistes complètent ces outils en intégrant, au-delà de la seule météorologie, la distribution des combustibles (occupation du sol, charge et continuité du couvert végétal), la topographie (pente, exposition), ainsi que les sources d'allumage, souvent d'origine anthropique. Elles mobilisent des modèles statistiques ou de simulation, par exemple fondés sur des de processus stochastiques ou sur des simulations de propagation, afin d'estimer des probabilités d'occurrence de feu, des probabilités de brûler, des trajectoires de propagation et des scénarios d'impact (Allaire et al. 2022 ; Di Giuseppe et al. 2016 ; Finney et al. 2011 ; Pimont et al. 2021). Ces approches rapprochent ainsi l'outil de décision d'une estimation probabiliste du comportement possible de l'incendie et des conséquences associées, particulièrement pertinente dans les interfaces ville - espace naturel.

**L'enjeu est dès lors de combiner ces approches afin de produire une évaluation intégrée de l'aléa, adaptée aux différentes échelles de décision, du national au local, ainsi qu'aux dynamiques territoriales, notamment dans un contexte de changement climatique et d'évolution des usages des sols.**

### Vers une évolution des régimes de feu

Les incendies de végétation ne peuvent plus être considérés comme un aléa strictement naturel, mais constituent un aléa socio-environnemental résultant d'interactions complexes entre dynamiques climatiques, écosystémiques et territoriales, dont le poids varie selon les échelles spatio-temporelles considérées (Ruffault et Mouillot 2017 ; Sandra Oliveira et al. 2012). **À court terme, la météorologie, l'humidité des combustibles et les activités humaines dominent. À plus long terme, ce sont la structure des paysages, l'occupation des sols et l'extension des interfaces ville - espace naturel qui conditionnent l'exposition des territoires aux incendies** (Moreira et al. 2020). À grande échelle, **le climat explique l'essentiel de la variabilité**

## Zoom sur les différents seuils et notions mobilisés pour qualifier la sévérité des incendies

La littérature distingue plusieurs façons de qualifier les incendies extrêmes : par la surface parcourue, par le comportement du feu et le dépassement des capacités de lutte, ou encore a posteriori par l'ampleur des dommages. Un incendie peut être qualifié d'extrême dès lors qu'il dépasse un ou plusieurs de ces seuils, mais cette qualification reste dépendante du contexte et de l'objectif poursuivi. La période de retour, c'est-à-dire l'intervalle moyen séparant dans une région donnée deux événements dépassant un seuil donné, constitue à cet égard un repère central, notamment pour analyser l'effet du changement climatique développé au Chapitre 5, Changements globaux.

| Type de seuil | Ce que le seuil renseigne |
|---|---|
| **Les seuils en France** (Evin et al. 2018; Ganteaume et al. 2013; Pimont et al. 2021) | On distingue souvent les feux « échappés » (> 1 ha), les « incendies » de 10 à 100 ha, puis les « grands incendies » (> 100 ha). L'extrême se qualifie surtout sur la rareté statistique ou la période de retour. |
| **Péninsule Ibérique, grands incendies forestiers (GIF)** (Alló et Loureiro 2020) | En Espagne, le seuil le plus courant pour les grands incendies est > 500 ha. Il renvoie à la fois à la taille finale et à une difficulté accrue de maîtrise. |
| **UE / EFFIS - classes de suivi harmonisées** (San-Miguel-Ayanz et al. 2012) | EFFIS distingue 5 classes : ≤ 100 ha, 100-500 ha, 500-1 000 ha, 1 000-5 000 ha et > 5 000 ha. Ce cadre est largement utilisé pour les comparaisons européennes. |
| **Europe méditerranéenne** (Ghasemiazma et al. 2026) | Cette échelle propose 30-100 ha, 100-1 000 ha, 1 000-10 000 ha et ≥ 10 000 ha (appelé Mega). Il est utile pour comparer les feux à l'échelle euro-méditerranéenne et utilisé en Figure 8. |
| **Europe - grand feu contextuel** (Duane et al. 2025) | Ici, un feu est dit grand s'il est rare à l'échelle locale et au regard de sa période de retour (115 zones définies en Europe). L'approche est robuste statistiquement, mais moins lisible qu'un seuil fixe. |
| **Par comportement, Extreme Wildfire Event** (Tedim et al. 2018) | Un EWE est défini sur des observations pendant le feu : Intensité ≥ 10 MW/m, vitesse ≥ 50 m/min, sautes de feu > 1 km. L'objectif est de distinguer le dépassement des capacités d'extinction. |
| **Catastrophe / désastre par impacts** (Delforge et al. 2025) | EM-DAT qualifie un désastre à partir des conséquences humaines ou institutionnelles telles que ≥ 10 morts, ≥ 100 personnes affectées, état d'urgence ou appel à l'aide internationale. |

**interannuelle de l'activité feu, tandis que les facteurs humains et paysagers en structurent la distribution spatiale locale** (Urbieta et al. 2015).

Si l'augmentation des températures, des sécheresses et l'allongement des saisons de feu accroissent la probabilité de situations propices aux incendies, les dynamiques socio-économiques ont aussi favorisé l'accumulation des combustibles. Toutefois, le poids relatif du climat, développé dans le Chapitre 5, Changements globaux, est appelé à croître. Cette influence s'exerce notamment par **les modifications du régime des précipitations saisonnières, la multiplication des vagues de chaleur, mais aussi par une atmosphère globalement plus chaude, plus instable et parfois plus sèche**, favorable au développement de mouvements convectifs intenses. Dans ces conditions, **les incendies peuvent générer des panaches plus puissants, capables d'interagir davantage avec l'atmosphère environnante et d'alimenter en retour leur propre dynamique.**

Ces situations favorisent des régimes de feu convectifs, marqués par de forts effets de panache, des vitesses de propagation très élevées, des intensités de front extrêmes, des sautes de feu à grande distance et la multiplication de foyers secondaires.

Ces derniers peuvent résulter de la combinaison de plusieurs mécanismes, notamment le transport à distance de braises par un vent fort, leur injection en altitude par le panache convectif, puis leur retombée en avant du front principal, y compris en zone urbaine (voir Chap. 4, Conséquences).

Dans les cas les plus sévères, ces dynamiques peuvent **s'accompagner de phénomènes de coalescence d'incendies, d'une convection intense et de sautes de feu rendant le comportement des incendies erratique, auto-renforcé et difficilement prévisible,** la saison 2003 en France en étant une illustration. Elles peuvent également être associées à des environnements propices aux **orages secs, qui constituent eux-mêmes une source supplémentaire d'ignition** comme pour l'incendie de Pedrógão Grande en 2017 au Portugal (Tedim et al. 2018 ; Werth et al. 2016).

**La probabilité accrue de basculement vers des incendies extrêmes, dépassant les capacités de contrôle** et menaçant directement les interfaces, notamment en région méditerranéenne et atlantique, **rend indispensable le développement d'indicateurs de danger et d'outils adaptés aux contextes régionaux** (Li et Banerjee 2021 ; Moreira et al. 2011).

L'enjeu est d'identifier où et quand les seuils critiques, ou points de bascule, peuvent être franchis simultanément (Pausas et Keeley 2021), notamment dans les zones d'interface, comme l'illustrent les feux catastrophiques de Rognac en France (2016) et Mati en Grèce (2018).

## Lacunes de connaissance et controverses

Malgré des avancées importantes, **l'évaluation de l'aléa incendie se heurte encore à l'hétérogénéité des données, à la rareté des événements extrêmes et aux difficultés d'intégrer toutes ses composantes**. De plus, des controverses subsistent quant aux effets comparés des types de peuplements forestiers et des politiques de suppression, ces dernières pouvant parfois conduire à des effets plus néfastes que bénéfiques en favorisant l'accumulation des combustibles (Moreira et al. 2020).

Si la littérature reste géographiquement inégale, **les connaissances convergent néanmoins sur une idée centrale : l'aléa est gouverné par des seuils critiques issus de facteurs biophysiques et anthropiques**, nécessitant des stratégies territorialisées appuyées par le développement d'approches de modélisation probabiliste intégrant l'incertitude (Finney et al. 2011 ; Tedim et al. 2018).

## Conclusion

En conclusion, l'aléa incendie en France connaît une mutation profonde sous l'effet des dynamiques climatiques et humaines (voir Chap. 5, Changements globaux). **Les interfaces ville - espace naturel constituent des espaces majeurs de convergence et d'amplification du danger, car elles y concentrent les densités de population, les mobilités quotidiennes et la continuité des combustibles propices aux départs de feu** (Ganteaume et al. 2013). Face à l'aggravation combinée du changement climatique et de l'extension de ces zones, l'enjeu principal est désormais d'anticiper l'occurrence des grands feux et d'adapter les territoires par une gestion intégrée des combustibles et de l'aménagement (voir Chap. 8, Urbanisme et gouvernance).

# I.3 Vulnérabilité aux incendies dans les interfaces ville - espace naturel

## Essentiels

La vulnérabilité est la propension d'un enjeu (humain, matériel ou environnemental) à subir des dommages face à un aléa. **La vulnérabilité aux incendies est multifactorielle, multi-échelles (individu, bâtiment, quartier, agglomération) et évolutive**. L'évaluer est un défi majeur de la gestion du risque car selon les critères d'évaluation retenus, les zones urbaines identifiées comme vulnérables ne sont pas les mêmes, ce qui peut influencer les priorités d'action.

**La vulnérabilité des constructions résulte de facteurs environnementaux, structurels, liés aux combustibles proches et aux actions de défense**. D'un point de vue structurel, les toitures et l'enveloppe des bâtiments sont les éléments les plus vulnérables, en particulier lorsqu'ils intègrent des matériaux combustibles ou comportent des ouvertures. Par ailleurs, la présence de végétation, de débris ou de matériaux inflammables à proximité immédiate des constructions favorise la propagation du feu et accroît leur vulnérabilité.

La littérature scientifique montre que le risque et sa gestion peuvent aggraver les inégalités sociales. **Cela met en évidence l'importance de prendre en considération la vulnérabilité sociale, c'est-à-dire la capacité des populations à se protéger et à se remettre d'un incendie.** Cela suppose d'analyser les facteurs de leur exposition, leurs caractéristiques socio-démographiques et leur perception du risque à des échelles territoriales fines, utiles pour les décideurs et les gestionnaires locaux.

**La vulnérabilité se définit comme la propension d'un enjeu (humain, matériel ou environnemental) à subir des dommages face à l'existence et à l'intensité d'un aléa.** Dans le domaine de la gestion des risques naturels, elle est souvent définie comme un état de fragilité préexistant à l'événement (Lambrou et al. 2023). Elle dépend à la fois de **l'exposition à l'aléa** (par exemple la proximité d'un combustible) et de la **sensibilité de l'enjeu** (la gravité des dégâts potentiels). Ainsi, une maison située en forêt est plus exposée qu'une maison identique au cœur d'un lotissement, tout comme une toile de tente est plus sensible au feu qu'un bâtiment en béton. D'autres champs de recherche, notamment ceux relatifs au changement climatique, intègrent dans la vulnérabilité la capacité à faire face à l'événement et à s'en remettre, dimensions qui relèvent de l'adaptation, de la résistance et de la résilience (voir Chap. 8, Urbanisme et gouvernance).

Concernant les incendies de végétation, la vulnérabilité recouvre plusieurs dimensions. Elle peut être sociale, structurelle et socio-spatiale, car villes, quartiers et territoires sont inégalement exposés et protégés face aux incendies.

L'évaluation et la cartographie de la vulnérabilité dans les zones d'interfaces constituent un enjeu central pour limiter l'impact des incendies de végétation. Toutefois, les définitions et les méthodes mobilisées diffèrent fortement. Ce chapitre vise à analyser les connaissances scientifiques relatives aux différentes dimensions de la vulnérabilité, en mettant en évidence les facteurs identifiés ainsi que les limites actuelles des approches mobilisées.

### Vulnérabilité et zonages

La vulnérabilité aux incendies présente une forte dimension multi-échelles. À l'échelle des agglomérations, les zones les plus vulnérables se situent en périphérie, là où l'urbanisation progresse au contact direct de la végétation (Alexandre et al. 2016). À l'échelle du quartier, la vulnérabilité varie selon les formes d'urbanisation (Beverly et al. 2010) et la localisation des constructions. Les quartiers proches des zones forestières (Samora-Arvela et al. 2023) ou encore les habitats isolés et diffus (Braziunas et al. 2020) présentent des niveaux de vulnérabilité très élevés. A l'échelle des structures bâties, elle dépend des matériaux utilisés et de l'environnement immédiat. Toutefois, certaines structures sont moins étudiées par la littérature scientifique, notamment les bâtiments industriels (Lopes et al. 2022), les habitats de loisir ou précaires (Almeida et al. 2017; Troy et al. 2022).

En France, les travaux scientifiques sur l'évaluation de la vulnérabilité visent avant tout à contribuer aux **cartographies opérationnelles destinées à la prévention et à la lutte contre le risque d'incendie**. Les zonages opérationnels

reposent sur la combinaison de données spatiales relatives au ratio bâti-végétation et à l'inventaire des structures à défendre, telles que les habitations, les établissements recevant du public ou les infrastructures critiques (routes, lignes électriques, etc.) (Lampin-Maillet et al. 2010). Dans ce cadre, **la densité constitue un paramètre clé, qui combine le ratio entre végétation et constructions et l'espacement entre les structures** (qui influe à la fois sur la propagation du feu et sur les modalités d'intervention des secours). Ces critères permettent de différencier les stratégies de défense selon les types d'habitat (les zones pavillonnaires — qui sont majoritaires en France, — les habitats isolés ou diffus).

**A l'échelle des territoires, la vulnérabilité globale peut être évaluée en additionnant la vulnérabilité des diverses classes d'enjeux présents**, incluant ceux liés aux **personnes** (maisons, écoles, hôpitaux, etc.), les **enjeux économiques**, les enjeux **fonctionnels** (infrastructures), **environnementaux, patrimoniaux**, etc. Les enjeux liés aux personnes sont considérés comme « surdéterminants ». Les résultats sont généralement fournis sous la forme de cartes, à différentes échelles, constituant des outils d'aide à la décision pour la planification territoriale et la gestion du risque, comme dans l'exemple suivant extrait de Rivière et al. (2023) sur l'ancienne région Languedoc-Roussillon, la région Provence Alpes Côte d'Azur et la collectivité de Corse (voir Fig. 9).

L'exemple, pris dans le Sud de la France, montre que le choix des indicateurs et des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité à l'échelle des territoires conditionne directement la géographie des zones identifiées comme vulnérables, ce qui influence par conséquent les priorités d'action publique (Hino et Field 2023.

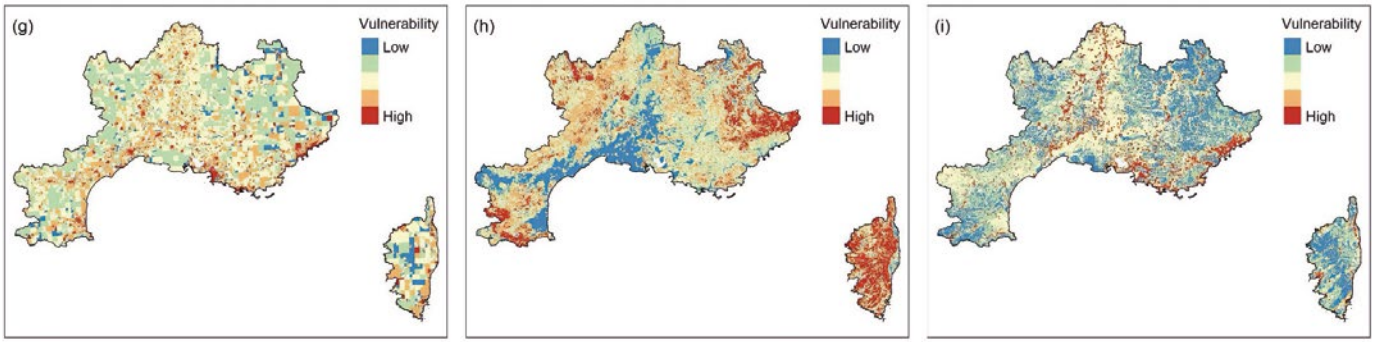



**Figure 9 :** Cartes de vulnérabilité pour trois enjeux étudiés : population (g), écosystèmes (h) et infrastructures (i). La vulnérabilité est obtenue en croisant exposition (non représentée ici), sensibilité et capacité d'adaptation. Les zones en rouge indiquent une forte vulnérabilité (Rivière et al. 2023).

## Vulnérabilité sociale et inégalités face aux incendies

L'analyse systématique de la littérature de Thomas et al. (2022) souligne que les travaux sur la vulnérabilité des populations dans les interfaces ville - espace naturel concernent en très grande majorité les États-Unis, le Canada et l'Australie ; l'Europe ne représente que 2 % des publications, avec une focale sur l'Espagne. Sur le plan méthodologique, ces travaux s'appuient eux aussi souvent sur des cartographies. Celles-ci croisent exposition et variables mesurant le désavantage socio-économique (Akter et Grafton 2021). La vulnérabilité dépend ainsi autant de la situation géographique commune des populations exposées (elles habitent au même endroit) que de leurs caractéristiques individuelles ou collectives. Toutefois, l'ensemble de ces critères n'est pas systématiquement pris en compte dans la gestion du risque : les dimensions sociales de la vulnérabilité sont souvent sous-représentées comme le montrent par exemple Mendez et al. pour les sans-papiers aux États-Unis (Méndez, Flores-Haro, et Zucker 2020).

Pourtant, des travaux scientifiques récents sur la vulnérabilité convergent pour mettre en évidence le rôle des incendies en tant que révélateurs d'inégalités. En effet, **les principaux facteurs de vulnérabilité sociale identifiés (et qui peuvent se cumuler) sont ceux qui influencent la capacité des personnes à se protéger du fait d'obstacles physiques, cognitifs ou matériels** : caractéristiques démographiques, langue et éducation, statut socio-économique, logement et accès aux transports (voir Tabl. 1) (Chas-Amil et al. 2022; Lambrou et al. 2023). Bien qu'issus de travaux dans d'autres pays, ces résultats sont largement transposables à la France (même si les seuils, comme le seuil de pauvreté peuvent varier).

**Les incendies affectent dès lors plus particulièrement les populations économiquement les plus défavorisées et les plus fragiles comme les personnes âgées, ce qui contredit l'idée reçue selon laquelle les feux toucheraient indistinctement « tout le monde »** (Davies et al. 2018). Le constat de cette inégalité face au risque est fait par de nombreuses études comme celles réalisées en Australie au moment des incendies du *Black Summer* (Akter et Grafton 2021) ou en Californie (Masri et al. 2021).

| Domaine | Variable |
|---|---|
| **Statut socio-économique** | • Personnes sous le seuil de pauvreté<br>• Personnes (+16 ans) sans emploi<br>• Revenu |
| **Langue et éducation** | • Personnes (+25 ans) sans diplôme de fin d'études secondaires<br>• Personnes (+5 ans) parlant mal la langue locale |
| **Logement et Transports** | • Logements dans des immeubles de 10+ unités<br>• Mobiles Homes<br>• Ménages de >1 personne par chambre<br>• Ménages sans véhicule<br>• Hébergement en institution (hôpital, EPAHD, etc.) |
| **Démographie** | • Population avec handicap hors institution<br>• Ménage monoparental avec enfants de moins de 18 ans<br>• Personnes âgées de +65 ans<br>• Personnes âgées de -17 ans |

**Tableau 1 :** Index de vulnérabilité sociale pour la gestion des risques naturels (Flanagan et al. 2011). Les seuils sont définis en fonction des variables disponibles dans le recensement américain et ne sont pas spécifiques aux incendies.

Plusieurs études montrent également que **les quartiers les plus exposés à l'aléa ne sont pas nécessairement ceux qui subissent effectivement le plus de dommages et que les facteurs socio-économiques sont déterminants dans la prise en compte de la vulnérabilité**. Aux États-Unis, les populations aisées résident souvent dans des quartiers périphériques de faible densité, caractérisés par de grandes propriétés et une forte présence de végétation, donc fortement exposés à l'aléa. Néanmoins, le travail de cartographie à l'échelle de la Californie réalisé par Hino et Field (2023) à partir des données historiques sur les incendies et de statistiques issues du recensement de la population, montre que ces zones ne sont pas toujours celles qui subissent effectivement le plus d'incendies. En effet, les zones connaissant une fréquence élevée d'incendies avec des impacts répétés sont souvent plus pauvres, moins bien assurées et bénéficiant de moindres investissements en matière de prévention et de protection. La répétition d'incendies peut en sus contribuer à une dévalorisation immobilière et à une paupérisation des populations, réduisant encore leur capacité à investir dans la prévention.

Hino et Field (2023) expose enfin que, partout, les politiques publiques tendent à focaliser leur attention sur les zones d'aléa fort, souvent habitées par des populations aisées, au détriment de zones à risque modéré mais caractérisées par une forte vulnérabilité sociale. De plus, les minorités, les populations très défavorisées ou migrantes restent largement sous-étudiées (Lambrou et al. 2023) ou sont appréhendées de manière homogène, alors même que leurs capacités de réaction et d'adaptation sont plurielles (Le Goix et Vacchiani-Marcuzzo 2025).

## Perception du risque et vulnérabilité humaine

**La vulnérabilité individuelle se réfère également à la perception du risque d'incendie, c'est-à-dire à la façon dont les individus évaluent leur propre exposition et leur sensibilité au risque.** Cependant, la littérature traite le plus souvent cette question pour mieux saisir les déterminants des comportements de prévention (voir Chap. 6, Prévention). Comme précédemment, cette littérature est concentrée sur les États-Unis, le Canada et l'Australie.

Sur le plan individuel et social, les caractéristiques des résidents, qui correspondent à des formes de vulnérabilité individuelle, impactent la perception que ces personnes ont du risque : les femmes, les personnes âgées et les jeunes parents se sentent généralement plus vulnérables (Champ et Brenkert-Smith 2016; Paveglio, Edgeley, et Stasiewicz 2018). Les locataires et résidents secondaires perçoivent également plus leur logement comme à risque, notamment en raison d'un manque de contrôle sur leur environnement car ils le connaissent moins bien (Collins 2012; Houston et al. 2024). Par ailleurs, avoir vécu une évacuation augmente significativement la perception du danger. De plus, **les interactions sociales (discuter du feu avec ses voisins) agissent comme un amplificateur de la perception du risque, dépassant parfois l'influence de l'expérience personnelle directe** (Champ et Brenkert-Smith 2016).

Enfin, le risque est perçu comme plus important lorsqu'on passe de l'échelle du domicile à celle de la communauté (voir Zoom sur la notion de communauté). Ce sentiment de

### Zoom sur la notion de *Community*/Communauté[14]

Dans le contexte nord-américain, la notion de « *community* » est omniprésente dans les travaux scientifiques en sciences humaines et sociales. C'est pourquoi elle est régulièrement mentionnée dans cette synthèse. En France les notions mobilisées sont plutôt des lieux (le quartier) ou des découpages administratifs (la commune).

**La communauté renvoie à un réseau de sociabilité dense à l'échelon du voisinage, du quartier, du mode de vie. Le terme peut être mobilisé tant dans des contextes ruraux qu'urbains.**

En ville, la communauté traduit à une forme d'organisation sociale, fruit des rassemblements des personnes de statuts et besoins homogènes (ethnique, économique, social, âge, religieux...). Elle renvoie à une sorte d'éclatement de la ville, où chaque communauté d'intérêt s'organise à l'échelle de son quartier, voire de sa rue, et défend ses intérêts en protégeant ses biens.

Les critères principaux en sont :

- Un territoire partagé et délimité ;
- Des valeurs, une histoire, une identité (ethnique, religieuse, sociale) communes ;
- Un domaine public partagé, offrant des lieux de sociabilité (parcs, rues, équipements publics) ;
- Des structures d'entraide mutuelles et associatives (églises, associations diverses...) ;
- Une volonté de protéger ou de guider un intérêt commun (par exemple, protéger la valeur immobilière par l'action d'une association de quartier).

La notion de « *community* » est donc fondamentalement spatiale, sociale et politique. Elle joue un rôle clé dans les stratégies de réduction de la vulnérabilité aux États-Unis (voir Chap. 6, Prévention et Chap. 8, Urbanisme et gouvernance).

sécurité chez soi peut être renforcé par l'attachement au lieu, qui pousse certains propriétaires à sous-estimer le risque pour préserver la valeur de leur bien, ou par le sentiment que la gestion des forêts par les autorités est efficace. À l'inverse, la proximité physique d'une zone récemment brûlée ou d'une forêt non aménagée accroît la vigilance (Collins 2012) (Houston et al. 2024).

## Vulnérabilité du bâti et des constructions

La vulnérabilité des constructions exposées aux incendies en interface ville - espace naturel résulte d'un ensemble de facteurs environnementaux, structurels, contextuels et opérationnels. Les facteurs environnementaux incluent la présence d'une pente (car elle influe sur la propagation du feu et peut augmenter l'exposition au feu), la densité et la forme urbaine, la proximité de la végétation et l'organisation des réseaux routiers (Price et al. 2021). **La densité du bâti joue alors un rôle ambivalent**, réduisant la vulnérabilité (moindre végétation interstitielle) dans certains contextes européens où les matériaux sont majoritairement incombustibles, mais l'augmentant dans des contextes où la propagation du feu entre bâtiments est facilitée par les matériaux combustibles (bois, asphalte...) des constructions, ce qui accroît les dommages associés (Syphard et Keeley 2019).

En effet, **les matériaux et les méthodes de construction sont un facteur déterminant de la vulnérabilité du bâti.** Les retours d'expérience mettent ainsi en évidence la vulnérabilité des toitures, des ouvertures et de l'enveloppe du bâti qui constituent en fait les principales voies d'entrée des flammes et des brandons* (Laranjeira et Cruz 2014. L'emploi de matériaux combustibles tels que le bois, les thermoplastiques ou les matériaux composites (Cicione, Walls, et Kahanji 2019), les ouvertures de ventilation non protégées ou les défauts dans l'enveloppe du bâtiment (Vieira et al. 2022) augmentent également la probabilité d'allumage ainsi que la rapidité de propagation. En France, le développement de l'isolation thermique par l'extérieur, parfois associée à des bardages combustibles ou à l'utilisation de matériaux biosourcés (c'est-à-dire composés de matières organiques, issues du bois, paille etc.), introduit de nouvelles configurations constructives susceptibles d'influencer les dynamiques de propagation du feu. Dans ce contexte, les enseignements tirés des retours d'expérience nord-américains peuvent contribuer à anticiper et à évaluer les vulnérabilités potentielles associées à ces systèmes constructifs.

**L'environnement immédiat des constructions joue également un rôle majeur** (voir Fig. 10). La transmission du feu au bâti s'effectue soit par contact direct avec les

[14] Pour aller plus loin, voir : Park, R. E., Burgess, E. W., et McKenzie, R. D. (1925). The City: Suggestions for the Study of Human Nature in the Urban Environment (pp. 1-19). University of Chicago Press. Paddison, R. (2001). Communities in the city. *Handbook of urban studies*, 194-205.

**Figure 10 :** Maison vulnérable. La vulnérabilité de la maison dépend de son environnement et des méthodes constructives. La présence de végétation qu'elle soit naturelle ou ornementale, ainsi que de matériaux combustibles (clôture, abri, tas de bois...) favorise la propagation du feu à travers les différentes zones situées entre la maison et l'espace naturel (immédiate, intermédiaire et étendue, voir Chap. 6, Prévention).

flammes, soit par rayonnement, soit par la projection de brandons. La présence et la continuité horizontale et verticale de combustible végétal autour des constructions sont donc des facteurs majeurs de vulnérabilité (Filkov et al. 2023). Cela explique en soi pourquoi toutes les zones de co-présence constructions - végétation sont vulnérables, qu'il s'agisse des interfaces péri-urbaines mais aussi d'interfaces intra-urbaines comme dans le cas de jardins, d'espaces verts et de forêts urbaines (Escobedo et al. 2024).

La présence de débris végétaux ou de combustibles artificiels à proximité des bâtiments accroît aussi fortement leur vulnérabilité. Les clôtures, bâtiments annexes, véhicules ou réservoirs de gaz peuvent agir aussi comme vecteurs de propagation du feu jusqu'au bâti (Filkov et al. 2023; Troy et al. 2022).

Enfin, comme les actions de défense constituent un levier central de réduction de la vulnérabilité, le manque d'accessibilité des bâtiments aux camions de secours, de disponibilité en eau et d'équipements de protection sont aussi des facteurs de vulnérabilité (voir Chap. 4 Conséquences et Chap. 8, Urbanisme et gouvernance).

La littérature scientifique se concentre majoritairement sur les bâtiments résidentiels. **D'autres types de structures, tels que les bâtiments industriels, les campings ou les**

**hébergements légers, restent peu étudiés.** Pourtant, les études disponibles montrent que certains types d'infrastructures présentent des vulnérabilités spécifiques face au feu. Les bâtiments industriels sont particulièrement vulnérables en raison de leurs structures métalliques sensibles aux hautes températures, de l'utilisation de panneaux sandwich à âme combustible (c'est-à-dire constitués d'au moins trois couches de matériaux et dont le cœur est combustible) favorisant une propagation rapide de l'incendie, ainsi que de la présence de lanterneaux en toiture constituant des points d'entrée privilégiés pour le feu (Lopes et al. 2022). Les campings présentent également une forte vulnérabilité liée à la combustibilité élevée des matériaux légers et à la faible distance entre les installations, qui facilite la propagation du feu, voire sa dispersion sous l'effet du vent (Almeida et al. 2017). **Les habitats précaires (bidonvilles, campements) cumulent quant à eux les facteurs aggravants mentionnés précédemment, tels que l'usage de matériaux très inflammables, une densité élevée et l'absence d'infrastructures adaptées,** notamment en matière d'accès pour les secours. Ces caractéristiques conduisent à une propagation rapide du feu et à des conditions d'intervention particulièrement dégradées. Mais aucune étude ne traite à ce jour de la vulnérabilité structurelle des habitats précaires face aux feux de végétation. Les travaux existants portent uniquement sur des incendies internes à des campements, où l'allumage est intrinsèque aux habitations, révélant ainsi un manque important dans la littérature.

## Lacunes de connaissance

Les travaux scientifiques sur la vulnérabilité sociale sont quasi inexistants en France. Les travaux dans d'autres pays mettent en évidence des angles morts persistants, notamment en ce qui concerne les touristes qui méconnaissent souvent le terrain et les procédures d'urgence (c'est un enjeu majeur également en France à la fois pour les régions méridionales concernées par les incendies et parce que des épisodes récents, comme en Grèce, ont impliqué des touristes français à l'étranger), les minorités et les populations économiquement vulnérables (Hino et Field 2023).

L'évaluation de la vulnérabilité des constructions face aux feux de végétation repose principalement sur des analyses issues d'études post-incendies. Bien que ces retours d'expérience soient précieux, ils présentent des limites importantes, notamment en raison du manque de données collectées : l'absence fréquente d'un inventaire précis des conditions initiales, ainsi que la caractérisation incomplète des effets post-incendie — en particulier pour les dommages mineurs ou l'impact des actions de lutte — constituent des freins à l'analyse.

Peu d'études abordent de manière intégrée l'ensemble des facteurs impliqués dans l'endommagement du bâti. Or, la vulnérabilité résulte d'interactions complexes entre la végétation environnante, les caractéristiques du bâti, les actions de défense, la topographie et les conditions météorologiques. Ces dimensions sont le plus souvent analysées de manière partielle, ce qui limite la compréhension globale des mécanismes en jeu.

### Zoom sur l'incendie de Paradise en Californie (2018) : un cumul de vulnérabilités

Le cas d'étude de l'incendie de Paradise (27000 habitants), responsable de 85 morts (voir également le Chap. 4, Conséquences), permet de mettre en exergue un enchevêtrement de trois types de vulnérabilités. Aux **vulnérabilités d'exposition** liées à l'interface ville - espace naturel, Paradise étant construite au sein d'une forêt de résineux en mauvais état sanitaire et ayant subi une sécheresse prolongée, s'ajoutent des **vulnérabilités liées aux bâtiments et aux infrastructures** (congestion des rares routes d'évacuation et dépendance à l'automobile, systèmes d'alerte et de communication défaillants, insuffisances des normes de construction, etc.). De plus, des **vulnérabilités sociales** en lien avec une présence de populations particulièrement sensibles (forte proportion de personnes âgées, handicapées, non motorisées, à faibles revenus, logées dans des mobile homes) ont renforcé cette situation de très forte vulnérabilité (Lambrou et al. 2023 ; Lambrou, Kolden, et Loukaitou-Sideris 2025).

## Conclusion

En définitive, les vulnérabilités mises en évidence dans les interfaces ville - espace naturel apparaissent étroitement liées aux spécificités de l'aléa incendie. Elles s'inscrivent dans une approche multidimensionnelle, articulant des composantes sociales, structurelles et socio-spatiales qui parfois se cumulent (voir Zoom sur l'incendie de Paradise).

Les **lacunes de connaissances** soulignent la nécessité de développer des approches plus intégrées et systématiques pour mieux caractériser les différentes formes de vulnérabilité et améliorer les stratégies de prévention.

## I.4 Les conséquences environnementales, sociales et économiques des incendies dans les interfaces

### Essentiels

**Les sources d'ignition anthropiques se concentrent principalement dans les interfaces ville - espace naturel,** ce qui contribue à accroître la récurrence des incendies dans ces zones. Néanmoins, les conséquences d'un incendie sur la biodiversité peuvent être analysées de manière similaire, qu'il survienne en zone urbaine, périurbaine ou naturelle. La littérature ne distingue que très rarement la biodiversité urbaine dans ce cadre. **La biodiversité, où qu'elle soit, semble surtout affectée par les caractéristiques de l'aléa, dont l'intensité, la fréquence ou la récurrence peuvent être plus fortes dans les interfaces.**

Les effets sur les sols, l'hydrologie, l'érosion et la biodiversité existent mais ne sont ni uniformes ni systématiquement univoques. Les trajectoires environnementales et écologiques dépendent pour partie des feux et au moins autant de la nature du paysage et des écosystèmes, du contexte météorologique et de l'environnement humain. Seuls les feux extrêmes ou une trop grande fréquence de retour des incendies ont des conséquences dégradantes.

Au niveau mondial, on **constate une augmentation du nombre de personnes exposées et du montant des dégâts.** Les pertes économiques annuelles moyennes liées aux incendies ont augmenté de 360 % entre 2015 et 2024 par rapport à la période 2000-2014 dans les pays membres de l'OCDE. A eux seuls, les incendies de Eaton et Palisades en Californie en janvier 2025 ont causé environ 40 milliards de dollars de pertes assurées sur un total de 65 milliards de pertes économiques selon le dernier rapport de l'OCDE[15].

Mais les impacts socio-économiques sont très polarisés avec beaucoup de petits événements et quelques catastrophes majeures, responsables de décès, souvent dans des habitations vulnérables ou lors d'évacuations tardives. Ces catastrophes sont fréquemment à l'origine de crises politiques et sociales avec des répercussions qui dépassent le seul périmètre touché. Sur le terrain, les enseignements qui en sont tirés sont variables mais ce ne sont pas forcément les zones les plus fréquemment touchées qui réagissent le plus.

Enfin, la littérature économique montre que les **politiques publiques de prévention incendie ont aussi pour conséquence de subventionner implicitement la valeur de l'habitat** et la poursuite de l'urbanisation, parce qu'elles réduisent les incitations individuelles à éviter ces territoires.

### Conséquences des feux de végétation : une lecture socio-écosystémique

Les conséquences des feux de végétation rassemblent l'ensemble des effets produits sur les systèmes écologiques, les environnements physico-chimiques et les systèmes socio-économiques. Elles dépendent à la fois des attributs des incendies (l'intensité, la vitesse de propagation, la durée de la combustion, la fréquence, la saisonnalité, ou la sévérité des feux) et des caractéristiques des systèmes affectés : type de végétation, structure du paysage, nature et état des combustibles, histoire des usages et des aménagements, contexte météorologique et état biologique des végétations au moment du feu.

Toutefois, la littérature scientifique montre que les paramètres précis des feux et les paramètres initiaux des paysages affectés sont souvent imparfaitement connus, alors que ces paramètres sont essentiels pour comprendre les conséquences observées et établir des relations de cause à effet. Cette difficulté explique une forte hétérogénéité des résultats et limite les généralisations. L'incendie est souvent perçu par les populations humaines comme le seul responsable des dégâts observés, alors que le bilan environnemental, écologique, humain et économique peut aussi résulter de choix d'aménagement ou d'occupation des sols (Butsic, Kelly, et Moritz 2015 ; Syphard, Bar Massada, et al. 2013). En outre, le feu peut aussi avoir, selon les contextes, certains effets écologiques positifs.

[15] Perspectives économiques de l'OCDE, Rapport intermediaire, mars 2026 : La résilience a l'épreuve, Editions OCDE, Paris, https://doi.org/10.1787/ b961ba49-fr.

Dans les zones d'interfaces en particulier, les incendies peuvent ainsi produire des effets environnementaux, écologiques, sanitaires, sociaux, économiques et politiques très contrastés selon les contextes. Ce chapitre propose une synthèse de ces connaissances, en mettant en évidence à la fois la diversité des conséquences observées et leur dépendance aux contextes biogéographiques, paysagers, territoriaux et sociaux.

## Conséquences environnementales et biodiversité

Les feux de végétation en zones d'interface peuvent entraîner des **altérations physiques et biochimiques des sols, notamment en termes d'érosion, de densité, d'imperméabilité et de fonctionnement hydrologique. Toutefois, ces effets ne sont ni systématiques ni uniformes** (Arnan, Rodrigo, et Retana 2007). Dans certains contextes, aucun impact significatif n'est observé sur les surfaces ou les propriétés des sols (Roshan et Biswas 2023), tandis que, dans d'autres cas, les incendies favorisent une érosion marquée et une dégradation temporaire ou durable des sols (Williams et al. 2014).

**La littérature converge pour montrer que l'érosion post-incendie est souvent liée aux effets combinés de la sévérité de l'incendie, des précipitations postérieures à l'événement et de l'absence de couvert végétal dense** (Certini 2005). Le feu seul explique peu les effets. Il importe de prendre en compte les autres variables. Des incendies de faible à moyenne sévérité peuvent provoquer une augmentation transitoire de l'hydrophobicité des sols, réduisant momentanément leur capacité d'infiltration et les rendant plus sensibles au ruissellement et à l'érosion. Dans ce cas, les changements environnementaux ne sont pas irréversibles. À l'inverse, les feux sévères, associés à de fortes intensités et à de faibles vitesses de propagation, entraînent généralement une perte significative des matières organiques, une altération de la structure et de la porosité des sols, ainsi qu'une modification

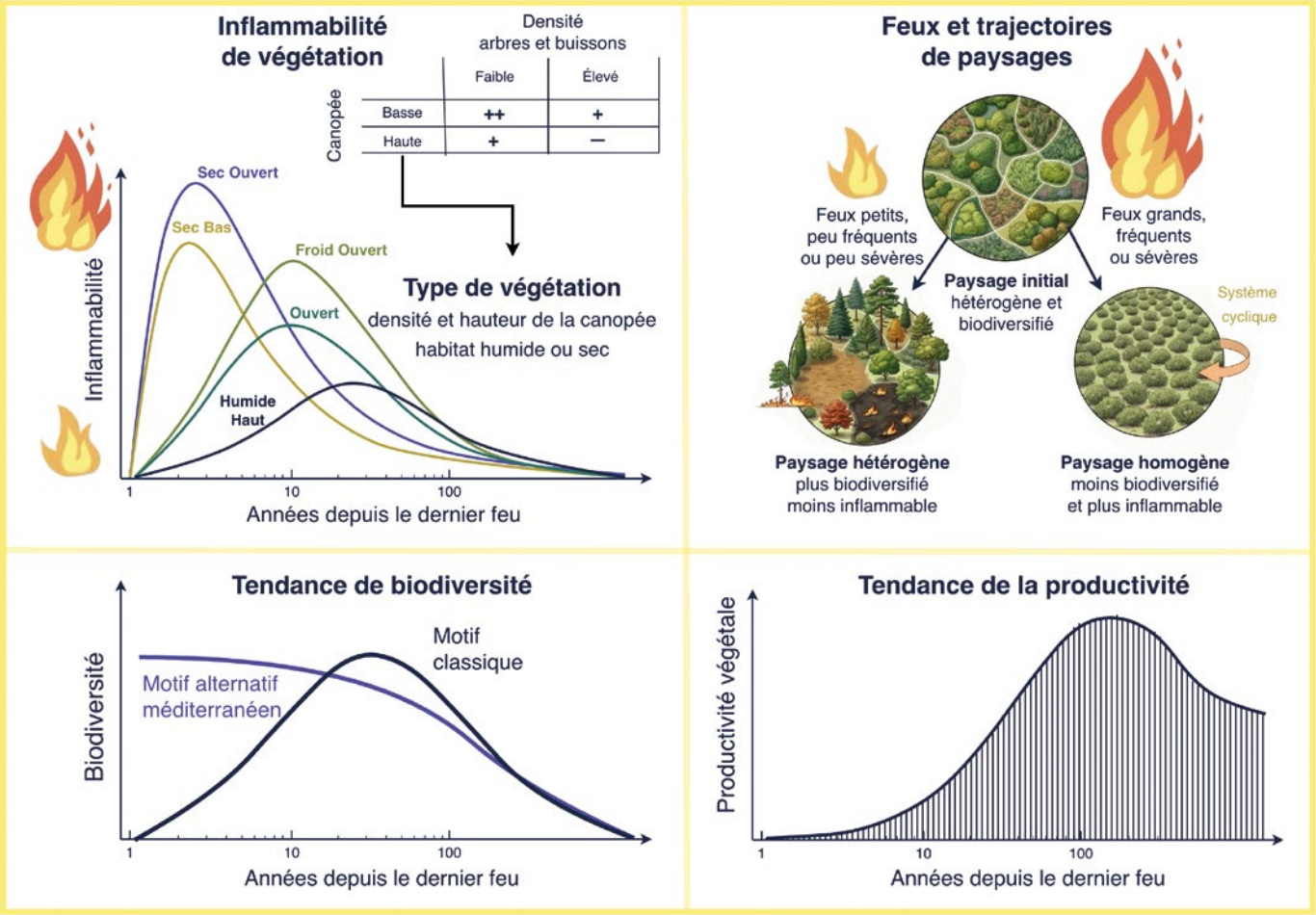



**Figure 11** : La biodiversité des écosystèmes et leurs productivités varient selon l'écosystème et son âge depuis le dernier feu, mais aussi avec la fréquence, l'intensité ou l'étendue de l'incendie ; l'inflammabilité de l'écosystème dépend également de son âge depuis le dernier feu, mais aussi des qualités de l'habitat (hauteur de canopée, densité des buissons et des arbres, humide ou sec, altitude, etc.). Les écosystèmes les plus inflammables sont les plus jeunes. Ils risquent de favoriser un renouvellement d'incendies intenses ou étendus, et donc à terme une faible productivité des écosystèmes, un paysage homogène et pauvre en biodiversité.

des communautés microbiennes et de la faune du sol, ce qui a des conséquences plus profondes et plus durables (Agbeshie et al. 2022).

Après un incendie, la biodiversité est momentanément affectée, parfois érodée, parfois augmentée. Toutes les trajectoires sont possibles (voir Fig. 11) ; cela dépend de la nature des feux (sévérité, étendue, fréquence) et des types d'espèces en place. **Souvent, la principale cause d'érosion de la biodiversité reste l'intensité du feu plus que sa fréquence ou son étendue.**

**Les incendies peuvent favoriser l'émergence d'espèces végétales ou animales si ces espèces ont besoin du feu pour accomplir leur cycle de vie** (voir Zoom sur les écosystèmes). C'est ce que l'on observe dans les écosystèmes adaptés au feu, comme certains écosystèmes méditerranéens ou tropicaux (Keeley, Fotheringham, et Baer-Keeley 2005 ; Lazarina et al. 2019) alors que l'absence de feux peut conduire à leur raréfaction par suppression du processus vital (Fournier et al. 2020). Dans d'autres cas, les feux très fréquents ou très étendus réduisent la biodiversité au niveau du paysage en homogénéisant les communautés (Pérez et al. 2003). Cela s'explique notamment par les **propriétés fonctionnelles qu'acquièrent les zones brûlées, les propriétés de résistance des espèces et la diversité des réponses biologiques aux incendies**. Les travaux sur la biodiversité en lien avec les feux concernent surtout les plantes (notamment les arbres et les buissons) et les oiseaux, qui font l'objet d'une attention plus grande que d'autres segments de la biodiversité (insectes, bactéries, champignons, lichens, etc.), souvent minorés en dépit de l'importance fonctionnelle ou des services écosystémiques que ces organismes peuvent assurer.

Les effets écosystémiques du feu sur la biodiversité imposent ainsi de penser les arbitrages entre conservation de l'écosystème et altération pour une mise en protection des zones à fort enjeu incendie (Syphard et al. 2016). **Ces questions de choix ou d'équilibre concernent notamment les forêts urbaines, dont la préservation des services écosystémiques est recherchée, tout en tenant compte de leur sensibilité au feu** (Escobedo et al. 2024). Cet équilibre concerne aussi les traitements du combustible par le feu, dont les effets sur la faune nécessitent de ménager des zones refuges afin de limiter les impacts sur les communautés, notamment aviaires (Prowse et al. 2017). De même, un traitement par débroussaillement peut être bénéfique à la biodiversité en zone périurbaine (Hubert et al. 2023) entraînant de plus faibles conséquences à long terme en cas d'incendie.

**Les effets des feux doivent ainsi être analysés en fonction des typologies de lieux et des motifs d'interaction entre usages humains, structures écologiques et régimes de feu (fréquence, étendue, sévérité**) (voir Fig. 11). Cette approche contextuelle est particulièrement nécessaire dans les zones d'interface, où les systèmes écologiques et leur biodiversité sont déjà affectés par l'urbanisation et les infrastructures (Pärtel et al. 2025).

## Zoom sur les écosystèmes adaptés aux incendies

L'incendie peut favoriser l'émergence ou le maintien de certains peuplements ou systèmes écologiques dont les caractéristiques de résistance, germination ou développement est particulièrement adapté. En France métropolitaine, ils ne sont représentés que par quelques écosystèmes méditerranéens et/ou atlantiques.

Les écosystèmes méditerranéens favorisés et entretenus par les feux sont ceux généralement caractérisés par une canopée de pins, comme le pin d'Alep, qui couvre de vastes étendues de la Provence au Roussillon, ou le pin maritime, qui abonde localement en Corse et dans l'est de la Provence. Réciproquement, ces deux écosystèmes naturels favorisent les incendies et connaissent des feux destructeurs (Syphard, Massada, et al. 2013), (Zavala, Espelta, et Retana 2000).

Les maquis et les garrigues méditerranéennes sont également susceptibles de brûler fréquemment, mais aussi de se renouveler à l'identique (Retana et al. 2002), a fortiori dans le cas d'incendies étendus et fréquents qui homogénéisent les territoires (Pérez et al. 2003). Néanmoins **le vieillissement de ces écosystèmes en l'absence de feu favorise des trajectoires écologiques où le couvert de chênes induit des systèmes moins inflammables, mais aussi moins riches en biodiversité** (Fournier et al. 2020). Les landes atlantiques, avec ou sans sous-couvert d'arbres, ont une longue histoire de brûlage ; par exemple, en Bretagne, les feux contribuent à l'entretien de l'hétérogénéité spatiale de la végétation ; mais, dans ces landes bretonnes, les feux fréquents participent à réduire la biodiversité végétale et animale (Morvan et al. 1995). **Ces régions atlantiques (du Pays basque à la Bretagne et aux Pays de la Loire) sont surtout marquées par 800 000 ha de plantations sylvicoles de pin maritime, parfois au contact des zones urbaines. Du fait de ses propriétés d'habitat inflammable et riche en combustibles aérés, cette essence peut être affectée par des feux intenses aux conséquences environnementales, sanitaires et sécuritaires importantes**.

## Les impacts humains : des évènements extrêmes rares mais meurtriers

A l'échelle mondiale, les enjeux humains et les coûts de la sécurisation des zones d'interface sont importants (voir Fig. 12 et Fig. 13). Au total, 440,2 millions de personnes ont été directement exposées à des incendies de végétation dans le monde entre 2002 et 2021, 85 % de ces expositions ayant eu lieu en Afrique (Teymoor Seydi et al. 2025).

Les feux extrêmes en termes de sévérité, du fait de leurs conséquences destructrices, sont au centre de l'attention et servent d'événements de référence dans la conception des politiques publiques. **Ces rares événements catastrophiques ont causé un nombre élevé de victimes et de destructions matérielles dans les zones d'interface**. En Europe, les incendies de 2017 au Portugal et de 2018 en Grèce ont entraîné des bilans humains lourds, avec respectivement 66 décès dans la région de Pedrógão Grande et 102 décès pour l'incendie de Mati Forest (Haynes et al. 2020). Aux États-Unis, les incendies de Los Angeles en 2025 sont responsables de 31 décès directs et 1 000 bâtiments détruits (*US Federal Emergency Management Agency*). L'incendie du *Camp Fire* en Californie (2018), déjà évoqué, a causé 85 décès civils et détruit près de 19 000 structures (Troy et al. 2022), tandis que les incendies de Lahaina (Hawaï, 2023) ont fait plus de 100 victimes. Le *Black Saturday* en Australie (2009) a, quant à lui, causé la mort de 173 personnes et la destruction de plus de 2 000 habitations (Whittaker et al. 2013.

**Les analyses montrent que les victimes civiles de ces événements décèdent le plus souvent dans des habitations vulnérables ou lors d'évacuations tardives**. Lors du *Black Saturday*, 69 % des personnes décédées dans leur maison s'y étaient abritées de manière passive, et 32 % sont mortes lors d'évacuations tardives (Whittaker et al. 2013).

**Aux décès directs s'ajoutent des conséquences sanitaires majeures liées à l'inhalation de fumées et aux pollutions atmosphériques**. Les feux australiens de 2019-2020 ont ainsi été associés à plus de 400 décès supplémentaires attribués à l'exposition aux fumées (Nolan et al. 2021). Des travaux très récents de Miraglia et al. (Miraglia et al. 2025) mettent en lumière les conséquences sanitaires graves des violents incendies qui ont ravagé le Portugal en septembre 2024, en soulignant la hausse immédiate du nombre d'hospitalisations,

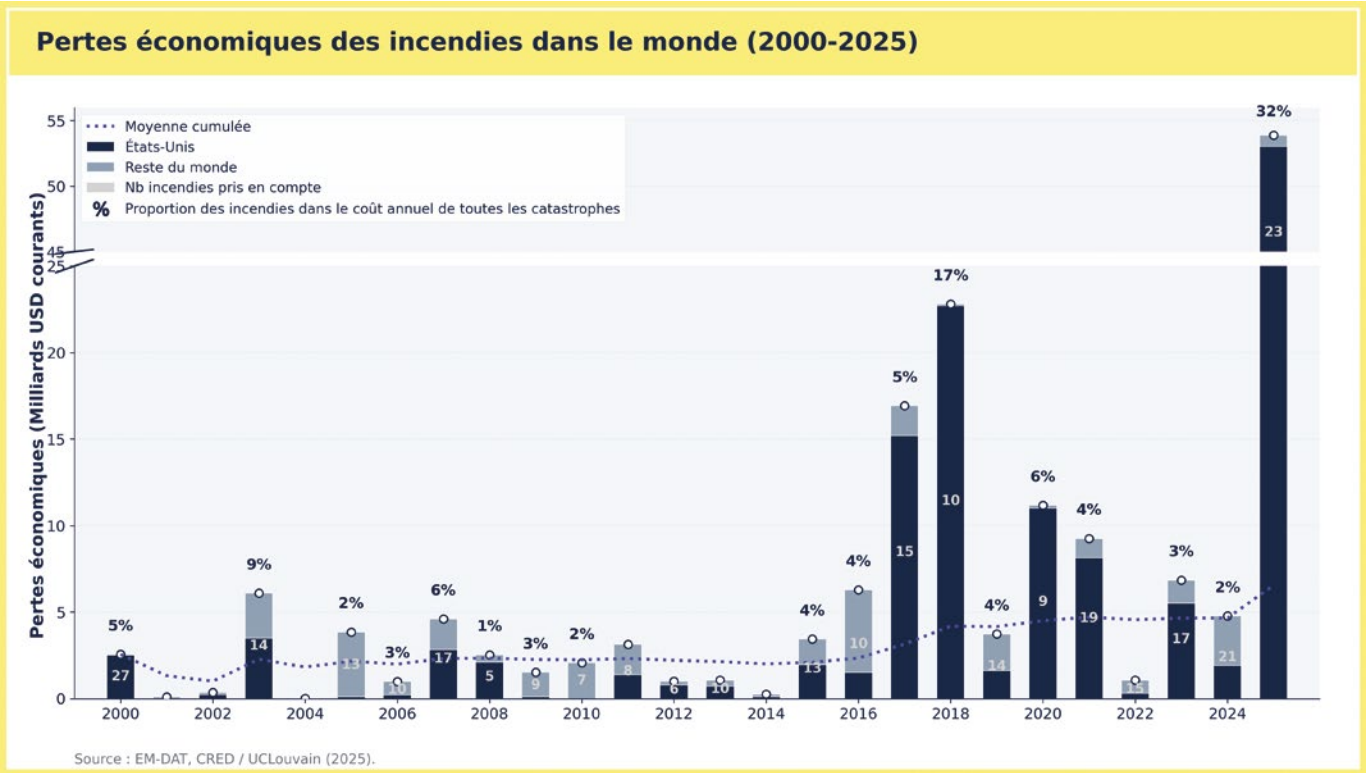



**Figure 12 :** Pertes économiques dues aux incendies, le pic en 2025 correspond aux incendies de Los Angeles, celui de 2018 au *Camp Fire* de Paradise en Californie, la courbe en pointillée montre la moyenne annuelle des pertes en milliards d'USD depuis 2000, en constante progression elle a triplé entre 2015 et 2025. Source : EM-DAT (U.Louvain, 2025).

l'augmentation des taux de mortalité et les conséquences à long terme pour la santé publique. Ces effets indirects sur la santé font l'objet d'une synthèse approfondie dans l'expertise de l'Anses, qui met en évidence l'ampleur et la diversité des impacts sanitaires liés à l'exposition aiguë et chronique aux fumées d'incendie.[16]

**Concernant les pertes financières, les incendies d'Eaton et de Palisades dans l'agglomération de Los Angeles en janvier 2025 ont causé environ 40 milliards de dollars de pertes assurées, sur un total de 65 milliards de pertes économiques**, selon le dernier rapport de l'OCDE (2026). Au niveau mondial, les pertes totales liées aux incendies ne cessent d'augmenter (voir Fig. 12). **Les pertes économiques annuelles moyennes liées aux incendies de végétation ont augmenté de 360 % entre 2015 et 2024 par rapport à la période 2000-2014 dans les pays membres de l'OCDE**, et de 371 % dans l'ensemble des pays membres de l'OCDE et des pays candidats à l'adhésion.

Outre ces effets directs, des travaux documentent les **effets indirects et à long terme des incendies, y compris sur des zones ou des secteurs d'activités non affectés directement par les flammes**. L'analyse des conséquences des déplacements de population en 2018 à la suite du *Camp Fire* à Paradise montre par exemple de fortes tensions pendant plusieurs mois sur les services et les infrastructures (transport, fourniture d'eau, logement, secteur du bâtiment) dans les communes d'accueil qui affectaient l'ensemble de la population et pas seulement les personnes déplacées, révélant les interdépendances et des effets en cascade **au-delà de la zone de l'incendie. Les États voisins et certains États non limitrophes ont été impactés** (Spearing et Faust 2020).

### Impacts politiques

Ces bouleversements des territoires touchés par de graves incendies se traduisent fréquemment par des tensions politiques liées le plus souvent à la gestion de la crise et de la reconstruction par les pouvoirs publics. En effet, la survenue d'incendies engendrant des dégâts de grande ampleur est propice à des polémiques, même dans les cas où la majorité de la population se déclare satisfaite de l'intervention des autorités. **Les polémiques portent sur 6 thématiques principales : le processus d'évacuation ; les informations délivrées à la population ; la stratégie des équipes de secours ; l'utilisation ou non des ressources et des connaissances locales par les renforts extérieurs ; la résurgence de conflits environnementaux antérieurs ; et l'utilisation et l'équité de la distribution des aides pendant et après la crise**. Un des schémas récurrents étant l'opposition entre population locale et intervenants extérieurs à la zone touchée, même quand la nécessité de l'intervention extérieure est reconnue (Carroll et al. 2006).

**Les désastres se transforment même parfois en crises politiques aiguës** (Morehouse et al. 2011) **comme l'ont montré plusieurs épisodes européens en Grèce** (voir Zoom sur les Incendies et crises politiques en Grèce) et au Portugal. Dans tous les cas, les médias et leur manière d'appréhender les incendies et autres désastres environnementaux jouent un rôle central dans la gestion des conséquences politiques des crises et les « *blame games* » (reproches qui détournent l'attention des problèmes de fond) qui s'en suivent (Hood 2011 ; Tutan 2025). En Grèce, les incendies ont nourri un narratif du blâme orienté autour de 5 thèmes récurrents : activités des migrants, mauvais management gouvernemental, changement climatique,

## Zoom sur les incendies et crises politiques en Grèce

A l'été 2007, de très nombreux incendies ont ravagé la Grèce (Péloponnèse et Eubée) faisant au moins 84 morts et des milliers de sinistrés. Des villages entiers ont été détruits, des dizaines de milliers de personnes sont restées sans toit. L'ampleur des feux a obligé l'exécutif à déclarer l'état d'urgence national. Des manifestations de grande ampleur ont eu lieu à Athènes et Salonique dénonçant l'action gouvernementale de Kostas Karamanlis.

Les feux meurtriers de juillet-août 2018 en Attique (Mati) sont un autre exemple de questionnement politique sévère. L'évènement a dominé le débat politique grec pendant des semaines, des critiques très fortes ont été formulées à l'encontre du gouvernement, dans sa capacité à gérer la prévention et l'organisation de la protection civile. Le gouvernement d'Alexis Tsipras a fait les frais de nombreux constats d'échec : inefficacité de la réponse, absence d'évacuation coordonnée et manque de moyens face à l'ampleur du désastre. Lors des élections législatives de juillet 2019, l'affaiblissement politique significatif de Syriza a conduit à une défaite électorale (Triantafillidou et Yannas 2023). Ce qui n'a pas empêché la reprise des mêmes critiques en 2021 et 2023 lors d'autres épisodes d'incendies ravageurs.

[16] Effets sanitaires liés à la pollution générée par les feux de végétation à l'air libre : État des connaissances relatif aux incendies de végétation, aux brûlages agricoles, et aux brûlages des déchets verts de jardin, Avis de l'Anses, Rapport d'expertise collective, Mai 2012.

incendies criminels et guerre. Les désastres sont donc des thématiques « perméables », qui s'entrecroisent avec diverses autres questions politiques dans les débats publics.

Les réponses politiques diffèrent selon les pays : au Portugal, les catastrophes sont souvent interprétées comme un manquement politique, entraînant une responsabilisation directe des dirigeants. En Grèce, en revanche, les crises sont perçues comme une composante récurrente d'un système institutionnel fragilisé, limitant les remises en cause profondes, et ce même si après l'incendie Mati, le vice-ministre à la Protection civile, le secrétaire général de la Protection civile, le chef du Service des incendies et le directeur de la Police ont été contraints à la démission et que plusieurs responsables poursuivis pour négligence par des victimes et leurs familles, ont été condamnés pour homicides involontaires (Apostolidou et Seibel 2026).

Les systèmes politiques présentent donc une résilience variable face aux catastrophes. Leur capacité ou non à absorber les crises liées aux incendies repose sur trois facteurs principaux : (a) le degré d'imputation claire de la responsabilité à l'État, (b) la perception d'une faille dans les dispositifs de protection, (c) l'existence de mécanismes institutionnels permettant une sanction rapide (Boin, 'T Hart, et McConnell 2009 ; Borraz 2008).

**Même s'ils ne remettent que rarement en cause le système politique dans son ensemble, les incendies catastrophiques ont amené à questionner les politiques publiques de gestion du risque (Whittaker et al. 2013) et la réponse aux polémiques peut ouvrir des fenêtres d'opportunités pour les réformer. Pour autant, la littérature relève que les sites très fréquemment marqués par les incendies, ne sont pas forcément ceux qui réagissent le plus.** Cela montre que le lien entre expérience de l'incendie et capacité à s'adapter est complexe, avec des cas où les populations se résignent à vivre avec le feu et ses dégâts (Mockrin, Fishler, et Stewart 2018). La dépendance au sentier, c'est-à-dire le poids des décisions et de l'urbanisation passées, peut influencer fortement les choix et les possibilités futurs (voir Chap. 8, Urbanisme et gouvernance).

### Impacts sociaux

Même dans les cas qui ne débouchent pas sur des crises politiques majeures, les impacts sociaux des incendies les plus graves se font sentir pendant des mois, voire des années. **Après un incendie, la reconstruction des maisons et des infrastructures constitue en effet un processus long et incertain**. Par exemple, plus de deux ans après l'incendie du *Black Saturday* (Australie), près de 20 % des ménages vivaient encore dans des logements temporaires et une part significative des sinistrés restait indécise quant à leur retour ou à leur relocalisation (Ireton, Iftekhar, et Charlesworth 2014). Ces trajectoires résidentielles différenciées contribuent à des dynamiques divergentes, entre processus de paupérisation ou, au contraire, processus de gentrification selon les contextes (Lambrou, Kolden, et Loukaitou-Sideris 2025). En effet, **les impacts humains et sociaux des incendies sont fortement créateurs d'inégalités.** Les pertes de logements, de revenus et les traumatismes affectent de manière disproportionnée les populations socialement défavorisées, les minorités et les populations autochtones. En Californie et en Australie, plusieurs travaux pointent des iniquités systémiques dans les dispositifs d'alerte, d'évacuation et de récupération post-crise (Xu, Nair, et Waller 2025)

## Zoom sur les conséquences sociales de l'incendie de Paradise (Californie)

Le cas de Paradise permet de montrer que le feu représente une catastrophe multidimensionnelle combinant mortalité, déplacement massif des populations, notamment les plus vulnérables et les locataires, destruction du logement (18 800 bâtiments endommagés ou détruits), perturbation des infrastructures, crise sociale et processus de reconstruction fortement inégalitaire.

**Les conséquences d'un incendie ne se limitent pas aux pertes matérielles, mais reconfigurent durablement les trajectoires résidentielles, les rapports sociaux et l'aménagement urbain. Ici la reconstruction n'est pas socialement neutre, elle a favorisé les ménages les mieux dotés** en ressources et créé une précarisation résidentielle pour une grande partie des habitants, notamment racisés, avec pour certains une période de sans-abrisme.

Par ailleurs, les dommages sur les infrastructures (écoles, hôpitaux, services publics) ont aussi des effets sur le lien social au sein de la communauté. **Paradise est un exemple de recomposition sociale et résidentielle du territoire urbain post-incendie**, la catastrophe jouant un rôle de tri/filtre social et territorial et d'amplificateur des inégalités pré-existantes (Lambrou et al. 2023).

comme dans le cas de Paradise (voir Zoom sur les conséquences sociales de l'incendie de Paradise) ou des incendies en Australie. Les feux du *Black Summer* (2019-2020), qui interviennent 10 ans après ceux du *Black Saturday*, soulignent qu'en zone rurale et périurbaine, les ménages les plus fragiles (près de 40 % des populations qui ont perdu leur logement sont autochtones) subissent des destructions importantes sans avoir les moyens de se réinstaller durablement, ce qui accroît la précarité résidentielle et leur exclusion des lieux en cours de reconstruction. Celle-ci n'est **pas un simple retour à la situation antérieure, mais une phase de redéfinition voire de destruction de la structure sociale, des formes de logement et des priorités d'aménagement dans la zone touchée par les incendies**. On enregistre une **augmentation des loyers** (entre 10 et 13 %) de la part des ménages les plus pauvres et du surpeuplement des logements dans les espaces concernés. La hausse du travail non rémunéré est visible chez les femmes et les effets en termes de santé mentale (cumulés avec ceux du COVID) sont sensibles (Akter et Grafton 2021).

### Impacts économiques : valeurs immobilières et dynamiques ante/post-incendie

Parallèlement à ces dynamiques sociales, les incendies dans les interfaces ont des impacts économiques de plus en plus importants, quelques chiffres clés des impacts décrits dans cette partie sont repris en Figure 13 et détaillés ici. **Les coûts économiques associés comprennent des coûts directs (secours, destructions, infrastructures endommagées) et des coûts indirects, dont les effets s'étendent souvent bien au-delà des zones directement touchées par l'incendie, parfois à l'échelle nationale**. Ils sont liés aux **perturbations de l'activité économique, du marché du travail, des chaînes d'approvisionnement ou des réseaux de transport**. Plusieurs travaux estiment que ces coûts indirects peuvent représenter jusqu'à 75 % du coût total des incendies (Dao-Ping Wang et al. 2020).

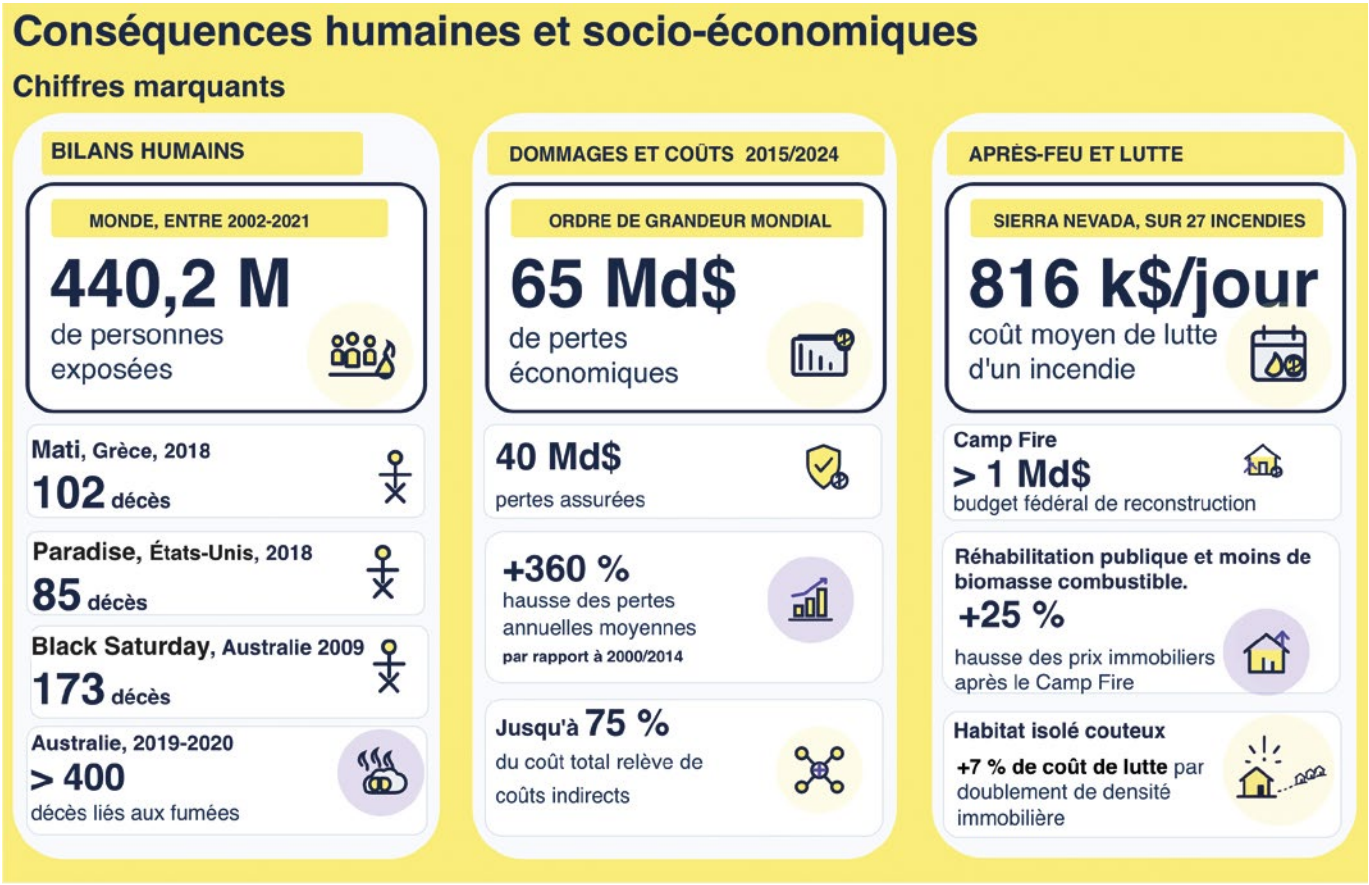



**Figure 13 :** Ordres de grandeur des conséquences humaines et socio-économiques des incendies de végétation.

La littérature scientifique en économie s'appuie surtout sur la méthode des prix hédoniques pour analyser l'impact des incendies sur la valeur des biens immobiliers. Cette méthode d'évaluation consiste à considérer que le prix de vente d'un bien immobilier peut être décomposé en fonction de la valeur de chacune de ses caractéristiques observées (surface, qualité du bâti, etc.). En estimant son prix avant et après un incendie, la méthode permet d'isoler la valeur donnée au risque

dans le prix de la maison. **Les travaux menés entre 2000 et 2010 montrent majoritairement une baisse des prix des habitations situées dans ou à proximité des zones touchées** (Kiel et Matheson 2018). Par exemple, suite à l'incendie de Fourmile-Lefthand Canyon (septembre 2010, Colorado), le prix des maisons dans les zones à très haut risque, mais non touchées, a baissé après l'incendie (jusqu'à 21,7 % (Kiel et Matheson 2018)). Concernant ce même incendie, les mêmes auteurs évaluent à 26 millions de dollars la perte en valeur immobilière (100 000 dollars en moyenne par maison sinistrée), à rajouter aux 217 millions de pertes assurées à la suite des feux concernés par l'étude.

Toutefois, **les travaux plus récents mettent en évidence des résultats plus contrastés**. Certaines études observent **une augmentation temporaire des prix dans les zones affectées ou voisines, liée, notamment, à des processus de gentrification** (Dong 2024 ; Hennighausen et James 2024). Ces effets dépendent fortement de la gravité de l'événement, des flux migratoires induits et des politiques publiques de reconstruction. **Un investissement public massif dans la réhabilitation d'un site dramatiquement touché par un incendie accroît ainsi sa valeur post-incendie et contribue à l'augmentation des prix immobiliers**. A titre d'exemple, au cours des 6 semaines qui ont suivi l'incendie *Camp Fire* (Californie, 2018), dont le budget fédéral de reconstruction a été estimé à plus d'un milliard de dollars, les prix de l'immobilier dans la zone touchée par l'incendie avaient augmenté d'environ 25 % (Hennighausen et James 2024).

L'analyse des coûts de lutte montre que la présence et la valeur des habitations influencent fortement les ressources déployées pour défendre les zones sinistrées. **Les efforts de suppression des feux tendent ainsi à s'intensifier dans les secteurs fortement bâtis et à forte valeur immobilière,** où les enjeux à protéger sont élevés. Toutefois, les travaux montrent que **le coût marginal associé à la protection de nouvelles habitations diminue à mesure que le tissu urbain se densifie, en raison de la mutualisation des dispositifs de défense et des infrastructures existantes**.

À titre d'exemple, l'analyse de Gude et al. (2013), menée sur les incendies dans la région de la Sierra Nevada en Californie entre 2006 et 2009, a montré qu'un doublement du nombre de maisons situées dans un rayon d'environ 10 km autour d'un incendie est associé à une augmentation de 7 % des coûts de lutte contre les incendies. Ces chiffres signifient que le coût supplémentaire de lutte contre les incendies par habitation tend à être plus élevé lorsque le nombre d'habitations passe de 10 à 20 que lorsqu'il passe de 1010 à 1020, par exemple. Une explication suggérée tient à l'effort déjà engagé par les pompiers pour éteindre l'incendie. Un autre chiffre intéressant est celui du coût moyen quotidien de la lutte contre l'incendie dans leur échantillon : il s'élève à 816 439 dollars.

**Cette dynamique soulève alors un enjeu central pour l'aménagement des interfaces ville** - espace naturel : celui de la soutenabilité collective de l'extension de l'habitat dans des espaces à risque, dès lors que l'augmentation du nombre de logements entraîne une mobilisation croissante, bien que non proportionnelle, des ressources publiques de protection (Gude et al. 2013).

Enfin, **certains travaux soulignent que les dépenses publiques consacrées à la protection contre les incendies et à la reconstruction subventionnent implicitement l'urbanisation dans les zones à risque.** En effet, parce que ces zones font l'objet d'une protection publique renforcée, les populations ont moins d'incitations à assumer individuellement le coût du risque dans leurs choix résidentiels et leurs stratégies de protection. De tels comportements contribuent indirectement à la poursuite de l'urbanisation dans les zones exposées et à des dynamiques de gentrification (Baylis et Boomhower 2019).

## Lacunes de connaissance et controverses

En écologie et géosciences, la place spécifique des interfaces ville - nature sur l'impact de l'incendie reste paradoxalement peu étudiée, alors qu'en Europe et en France, la quasi-totalité des incendies s'y produit. Intégrer explicitement la présence humaine est pourtant indispensable pour évaluer correctement l'impact des feux sur des systèmes écologiques déjà altérés par l'urbanisation.

Par ailleurs, si la littérature documente très bien les incendies catastrophiques, elle ignore souvent les impacts des incendies ordinaires.

Enfin, la France souffre d'un manque criant d'études socio-économiques : contrairement à la littérature internationale, il n'existe aucune publication sur l'impact des feux sur le marché immobilier français, ni d'étude prospective sur l'évolution et l'explosion des coûts de lutte comme disponible en Californie.

## Conclusion

En conclusion, les conséquences d'un incendie de végétation dépassent largement le seul périmètre brûlé et le moment de la crise. Qu'ils soient écologiques, économiques ou politiques, ces impacts affectent durablement des territoires rendus vulnérables par l'expansion de l'habitat. Les catastrophes récentes prouvent d'ailleurs que les incendies agissent comme de puissants filtres sociaux : ils précarisent les populations fragiles, amplifient les inégalités préexistantes et reconfigurent l'aménagement local (Lambrou et al. 2025). Face à ces conséquences en cascade, la réponse ne peut plus se limiter aux seuls secours d'urgence, mais exige de repenser structurellement l'aménagement des interfaces ville - espace naturel (voir Chap. 8, Urbanisme et gouvernance).

# I.5 Changements globaux

## Essentiels

Le risque incendie évolue sous l'effet combiné du changement climatique, des dynamiques de végétation et des transformations des usages et de l'occupation des sols. Le changement climatique n'engendre pas à lui seul le risque, mais il accroît nettement le danger, allonge les saisons de feu et augmente la probabilité d'épisodes extrêmes.

**En Europe, plus de 50 % du territoire pourraient connaître d'ici la fin du siècle un allongement d'au moins 5 jours de la saison des incendies, et en France de 5 à 22 jours selon les régions**.

**Dans le bassin méditerranéen européen, 36 % des surfaces pourraient voir la probabilité d'incendies extrêmes multipliée par 4 à 10 à la fin du siècle** (El Garroussi et al. 2024).

Parallèlement, la déprise agricole, la fermeture des milieux (densification de la végétation sauvage jusqu'à une couverture continue) et l'urbanisation accroissent les interfaces ville - espace naturel, donc à la fois l'exposition des enjeux et les opportunités d'allumage d'origine humaine. En Europe, près de 97 % des incendies sont directement ou indirectement liés aux activités humaines (Ganteaume et al. 2013). En France métropolitaine, **ces transformations s'inscrivent dans un contexte d'augmentation de la surface boisée, passée de 9,9 millions d'ha en 1908, à 14,1 millions en 1985 et 17,6 millions d'ha en 2024**, ces recompositions paysagères impliquant aussi une accumulation de biomasse combustible.

En conséquence, **davantage de territoires sont concernés, avec une extension vers des régions historiquement moins exposées. Il y a également des feux potentiellement plus difficiles à contrôler et une pression croissante sur les zones habitées, en particulier aux interfaces.**

### Changements globaux et évolution du risque incendie

Le feu est un élément naturel du système terrestre depuis l'apparition des plantes vasculaires (plantes à tige, feuilles et racines), voici environ 420 millions d'années (Silurien supérieur) (Bowman et al. 2020). Le feu de végétation est donc un processus naturel. Les interactions entre le climat, la végétation et les incendies ont donné naissance à des régimes de feu distincts, définis par leurs fréquences temporelles, leurs étendues et leurs répartitions spatiales, leurs comportements caractéristiques et leurs effets environnementaux. Toutefois, si le feu en tant que processus n'est pas nouveau, les régimes de feu peuvent changer rapidement sous l'effet conjoint du changement climatique, des transformations de la végétation, des activités humaines et des pratiques culturelles.

Les changements globaux, et en particulier le changement climatique en cours, modifient profondément les conditions de déclenchement, de propagation et de sévérité des incendies. Ils contribuent à une reconfiguration spatiale du risque, avec l'apparition de feux importants, dans des régions historiquement peu concernées. Ce chapitre analyse ainsi les connaissances scientifiques relatives à ces évolutions, en mettant en évidence les mécanismes climatiques, écologiques et anthropiques à l'œuvre, ainsi que les incertitudes associées.

### Facteurs et moteurs de l'évolution des incendies

Les relations entre climat, végétation et incendie sont largement étudiées sur des échelles temporelles diverses, de l'Holocène aux dernières décennies. L'activité des incendies présente une relation unimodale avec la productivité primaire (« productivité végétale ») de l'écosystème (Pausas et Paula 2012, Kelly et al. 2023). Les régions à productivité intermédiaire, telles que les savanes tropicales, connaissent une fréquence élevée d'incendies, due à la production élevée de combustibles et à l'occurrence de saisons sèches. En revanche, les régions arides à faible productivité et les environnements de forêt tropicale humide à forte productivité connaissent une fréquence d'incendies relativement faible.

La variabilité interannuelle et décennale des incendies est également fortement modulée par les téléconnexions, c'est-à-dire les grands modes oscillatoires du système climatique tels que l'Oscillation Nord-Atlantique (NAO), l'Oscillation

décennale du Pacifique (PDO) ou encore El Niño-Oscillation australe (ENSO). En pilotant les structures de précipitations et de températures à l'échelle continentale (Kitzberger et al. 2007), le basculement cyclique de ces modes océaniques et atmosphériques génère une forte volatilité hydroclimatique*. La volatilité hydroclimatique désigne de soudaines et importantes transitions (comme un coup de fouet, « *whiplash* » en anglais) entre des conditions très sèches et très humides. **Les transitions de l'humidité à la sécheresse peuvent amplifier le risque d'incendies de forêt** en permettant une accélération de la croissance des plantes (herbacées en particuliers) et de l'accumulation de biomasse dans les écosystèmes, immédiatement suivie d'un assèchement rapide de la végétation inflammable, ce qui augmente l'intensité potentielle des incendies ultérieurs en raison d'une charge de combustible accrue, en particulier dans les paysages non boisés (Swain et al. 2025).

Avant l'intervention humaine, les régimes d'incendies dits « naturels » étaient principalement déclenchés par la foudre, qui constitue toujours la principale cause naturelle d'inflammation à l'échelle mondiale, ainsi que par d'autres phénomènes plus rares tels que l'activité volcanique. L'histoire des hominidés et de leurs sociétés maîtrisant le feu comme un outil de gestion de l'environnement a depuis introduit une complexité croissante dans la temporalité, la localisation et le comportement des incendies. **Les sociétés humaines ont façonné les régimes de feu** en utilisant ce dernier pour la chasse, l'agriculture ou le défrichement, mais aussi en supprimant les incendies naturels et en modifiant les paysages par l'urbanisation, la fragmentation des écosystèmes, les changements d'usage des sols et la gestion des combustibles (Bowman et al. 2020).

Si ces multiples interventions anthropiques et les changements globaux ont un impact si profond, c'est parce qu'ils agissent directement sur les mécanismes physiques indispensables au feu. **L'occurrence d'un incendie de végétation nécessite la concomitance de quatre facteurs : une source d'allumage, des combustibles continus, sinon connectés, des conditions de déficit hydrique et des conditions météorologiques favorables (humidité faible, températures élevées, vent fort). Les incendies résultent de l'interaction de ces facteurs, qui sont tous susceptibles d'être affectés par les changements globaux** (Pausas et Keeley 2021).

**Les analyses statistiques montrent que les paramètres météorologiques** (saisons pluvieuses, vagues de chaleur et sécheresses), qui contrôlent l'humidité des combustibles, **sont des déterminants majeurs de la propagation des incendies**. Des études basées sur des observations historiques, comme celle menée en Grèce sur plus d'un siècle (Koutsias et al. 2013), mettent en évidence une augmentation significative de la fréquence des incendies, corrélée à la hausse des températures et à l'occurrence des vagues de chaleur estivales. **La superficie totale brûlée était également fortement corrélée négativement avec les précipitations pendant la saison des incendies et positivement avec les précipitations décalées de deux ans**, ce qui souligne l'effet des précipitations sur le contrôle de la production et de l'humidité des combustibles.

Turco et al. (2016), Ruffault et al. (2017) et Curt et Frejaville (2018) ont analysé les tendances des incendies au Portugal, en Espagne, dans le sud de la France, en Italie et en Grèce, à l'aide d'une base de données homogénéisée intégrant les statistiques officielles fournies par plusieurs agences nationales et européennes. Au cours de la période 1985-2011, la superficie totale brûlée a affiché une tendance générale à la baisse, avec toutefois une forte disparité géographique entre les régions. Les zones présentant des tendances négatives sont majoritairement associées aux efforts accrus des autorités locales en matière de gestion et de prévention des incendies après les grands incendies des années 1980, tandis que **les zones présentant une tendance positive sont liées aux transformations socio-économiques conduisant à des configurations de paysage plus vulnérables au feu, ainsi qu'au réchauffement observé au cours des dernières décennies**. Ganteaume et Barbero (2019) confirment que les grands incendies (≥ 100 ha) dans le sud de la France ont connu une forte diminution en fréquence et en superficie brûlée au début des années 1990, due à l'efficacité des mesures de lutte contre les incendies et des mesures de prévention renforcées à cette époque, affaiblissant ainsi la relation fonctionnelle entre le climat et les incendies dans toute la région.

**Au niveau planétaire, les modèles climatiques et écosystémiques indiquent qu'à l'avenir, le climat pourrait devenir le principal moteur de la transformation des régimes d'incendie, surpassant l'influence directe des sociétés humaines observée jusqu'à présent** (Pechony et Shindell 2010).

## Attribution des incendies extrêmes au changement climatique

Un champ de recherche en plein essor concerne l'attribution des incendies extrêmes ou des événements emblématiques au changement climatique anthropique. Ces études reposent sur **des approches probabilistes comparant la probabilité d'occurrence dans le climat actuel et dans un climat contrefactuel sans influence humaine, souvent à partir d'indices de danger tels que l'indice forêt-météo (IFM/FWI)** (voir Chap. 2, Aléa). Les études d'attribution mobilisent à la fois des réanalyses et des ensembles de modèles climatiques. Les réanalyses, comme ERA5, reconstruisent de façon homogène le climat passé à partir des observations historiques disponibles. Les modèles climatiques des exercices CMIP, utilisés dans les rapports du GIEC, permettent quant à eux de simuler différents climats possibles selon plusieurs trajectoires d'émissions de gaz à effets de serre. Le scénario RCP8.5 utilisé ici a été proposé pour le rapport d'évaluation AR5 du GIEC et correspond à

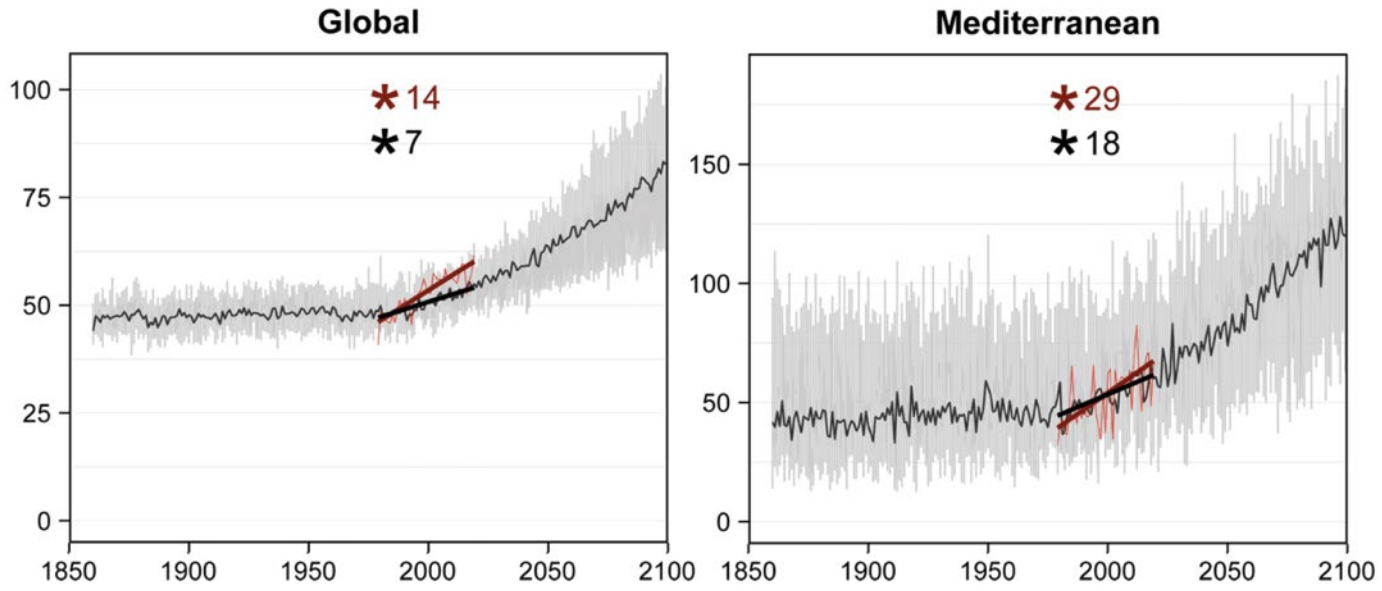



**Figure 14 :** Évolution de la durée annuelle de la saison forêt-météo, c'est-à-dire du nombre de jours par an où les conditions météorologiques sont favorables aux incendies de végétation, à l'échelle globale et sur la rive nord du bassin méditerranéen. Les courbes grises représentent les simulations climatiques CMIP5, leur moyenne est indiquée en noir, et les courbes rouges correspondent à ERA5, c'est-à-dire une réanalyse proche des conditions observées. Tandis qu'à partir de 2006, les modèles suivent le scénario RCP8.5, correspondant à de fortes émissions de gaz à effet de serre. Les chiffres (au dessus des courbes) indiquent l'allongement estimé entre 1979 et 2019 : +14 jours globalement et +29 jours en Méditerranée dans ERA5, contre +7 et +18 jours dans les modèles qui montrent une légère sous-estimation pour l'allongement de la saison du feu. Les astérisques signalent une tendance statistiquement significative à 95 % (Jones et al. 2022).

une trajectoire de fortes émissions, associée à un forçage radiatif d'environ 8,5 W/m² en 2100, souvent mobilisée comme hypothèse haute d'évolution climatique. Il permet d'explorer l'évolution possible du danger incendie dans un contexte de réchauffement marqué.

**Le changement climatique anthropique augmente fortement la probabilité des grands incendies.** Par exemple, lors des incendies des Landes de Gascogne de l'été 2022, la part du risque attribuable au réchauffement climatique est estimée à plus de 50 % (Lanet et al. 2024). Concrètement, cela signifie que les conditions climatiques exceptionnelles qui ont alimenté ces feux ont aujourd'hui une période de retour de 13 ans dans notre climat actuel, alors qu'elles ne se seraient produites que tous les 30 ans sans l'influence des activités humaines. **Les études d'attribution indiquent que ces conditions climatiques extrêmes, autrefois rares, deviennent nettement plus fréquentes dans le climat actuel, avec une accélération observée au cours des dernières décennies**. Feng et al. (2025) montrent que la FAR (fraction attribuable de risque ou de probabilité d'occurrence) est de 0,08 en moyenne sur la Terre. C'est-à-dire que le changement climatique anthropique actuel (par rapport au préindustriel) est responsable d'une fraction égale à 8 % de la probabilité de subir un incendie extrême. À l'échelle globale et sur la rive nord de la Méditerranée en particulier, le nombre annuel de jours dépassant un seuil extrême de danger incendie augmente ainsi nettement depuis la fin du XXe siècle et devrait continuer à croître au cours du XXIe siècle selon les scénarios fortement émetteurs (voir Fig. 14).

**Si la hausse des températures est le principal facteur à l'origine de l'augmentation de la probabilité d'incendies extrêmes, les changements dans les précipitations, l'humidité relative ou la vitesse du vent y ont aussi contribué.** D'autres incendies emblématiques ont également fait l'objet d'études d'attribution. Par exemple, Kirchmeier-Young et al. (2024) ont étudié les incendies de **2023 au Canada**. Zhuang et al. (2021) ont analysé les deux incendies historiques qui ont eu lieu **en 2020 en Californie** : celui de l'*August Complex Fire* (Californie du Nord) et celui du *California Creek Fire* (Californie centrale). **Le rôle du changement climatique anthropique a été mis en évidence dans tous ces épisodes.**

## Nouvelle géographie du feu

Le changement climatique contribue à l'émergence d'une nouvelle géographie du feu, caractérisée par l'accroissement de feux extrêmes dans des régions historiquement peu concernées. Les sécheresses pluriannuelles jouent alors un rôle déterminant dans ce processus, en rendant vulnérables des écosystèmes auparavant peu inflammables. Les résultats montrent que le risque dépend principalement de la température moyenne annuelle, de la saisonnalité des précipitations et de la fréquence des coups de foudre, avec des augmentations significatives du risque projetées sous les scénarios futurs les plus émetteurs de carbone (Gerberding et Schirpke 2025).

**Toutefois, le changement climatique ne suffit pas à expliquer à lui seul les modifications observées des régimes d'incendie. Dans de nombreux territoires, les facteurs anthropiques (usages du sol, infrastructures, pratiques agricoles, allumages d'origine humaine, politiques publiques de suppression des feux) peuvent venir inhiber ou surpasser l'effet du climat sur l'occurrence des incendies.** Les analyses européennes montrent ainsi que près de 97 % des incendies sont directement ou indirectement causés par des actions anthropiques (Ganteaume et al. 2013) comme à la Teste de Buch (Gironde) en 2022, et à Marseille en 2025 où les incendies ont été causés par la défaillance de véhicules.

## Projections futures

Les modèles intégrant les processus physiques du feu, la dynamique de la végétation et les conditions climatiques constituent des outils essentiels pour explorer les trajectoires futures des régimes d'incendie. Leur diversité et la variabilité de leurs résultats sont notamment documentées par des travaux de synthèse et par l'initiative internationale d'inter-comparaison (*Fire Model Intercomparison Project - FireMIP*) (Hantson et al. 2020 ; Teckentrup et al. 2019).

Des modèles définis pour des sites locaux, mais toujours fondés sur les processus, tels que celui développé par (Mouillot, Rambal, et Joffre 2002a) pour un **écosystème méditerranéen, montrent que le changement climatique tend à réduire l'intervalle de temps entre deux incendies successifs**, favorisant des dynamiques de végétation qui contribuent à l'apparition de formations végétales dominées par des buissons, au détriment des forêts, car ces dernières n'ont pas le temps de se régénérer (Mouillot, Rambal, et Joffre 2002b). Les arbustes sont, avec la litière, les premières sources de combustible dont se nourrissent les incendies.

**Les projections climatiques indiquent une augmentation future du risque d'incendie dans de nombreuses régions, y compris dans des zones actuellement peu exposées, par exemple dans les Alpes européennes ou dans la zone de transition entre le climat méditerranéen et le climat tempéré, plus au nord**.

Les projections européennes montrent également un allongement marqué de la saison des incendies. À la fin du siècle, plus de la moitié du territoire européen pourrait connaître une extension d'au moins 5 jours de cette saison (voir Fig. 15).

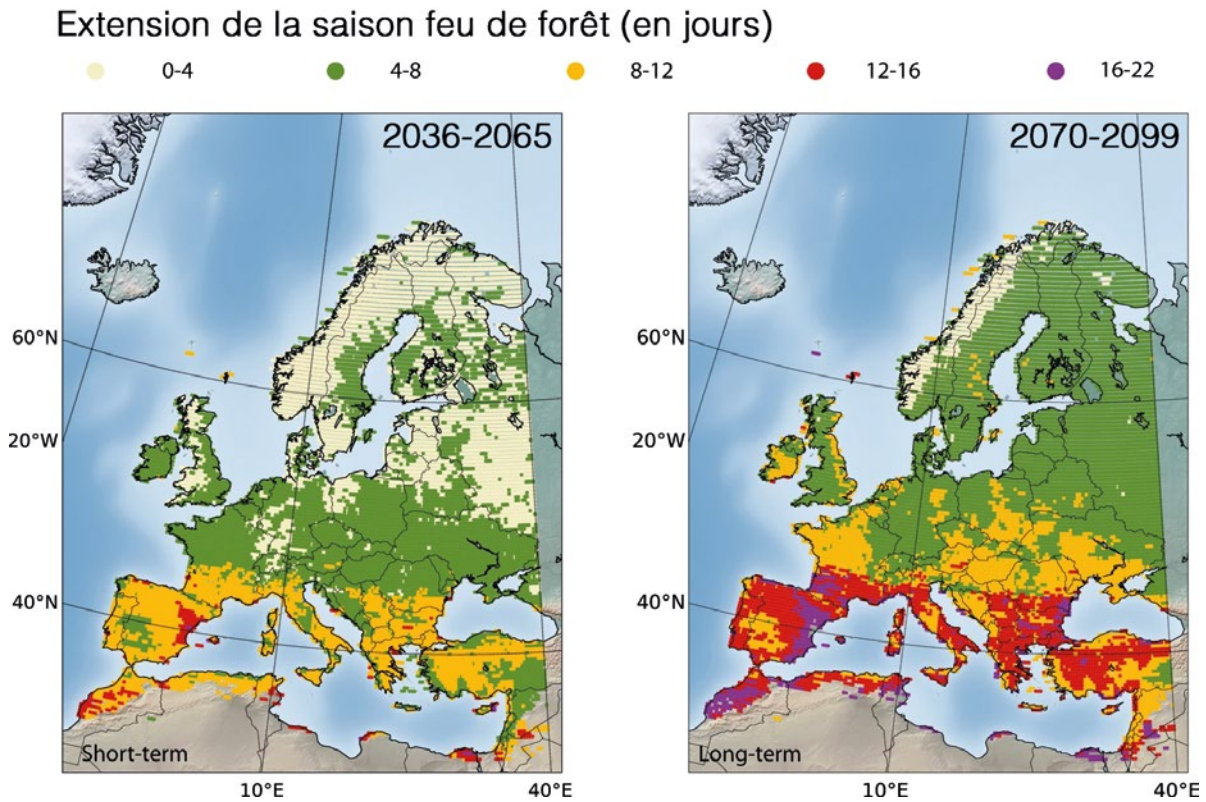



**Figure 15 :** Projection multi-modèles de l'extension de la saison des incendies en Europe, pour la période à court terme (2036-2065, à gauche) et à long terme (2070-2099, à droite). Les nombres associés à la charte de couleurs expriment le nombre de jours d'extension de la saison. L'analyse révèle que plus de 50 % de l'Europe devraient connaître, d'ici la fin du siècle, un allongement d'au moins 5 jours de la saison des incendies, et, pour la France, un allongement compris entre 5 et 22 jours selon les régions (El Garroussi et al. 2024).

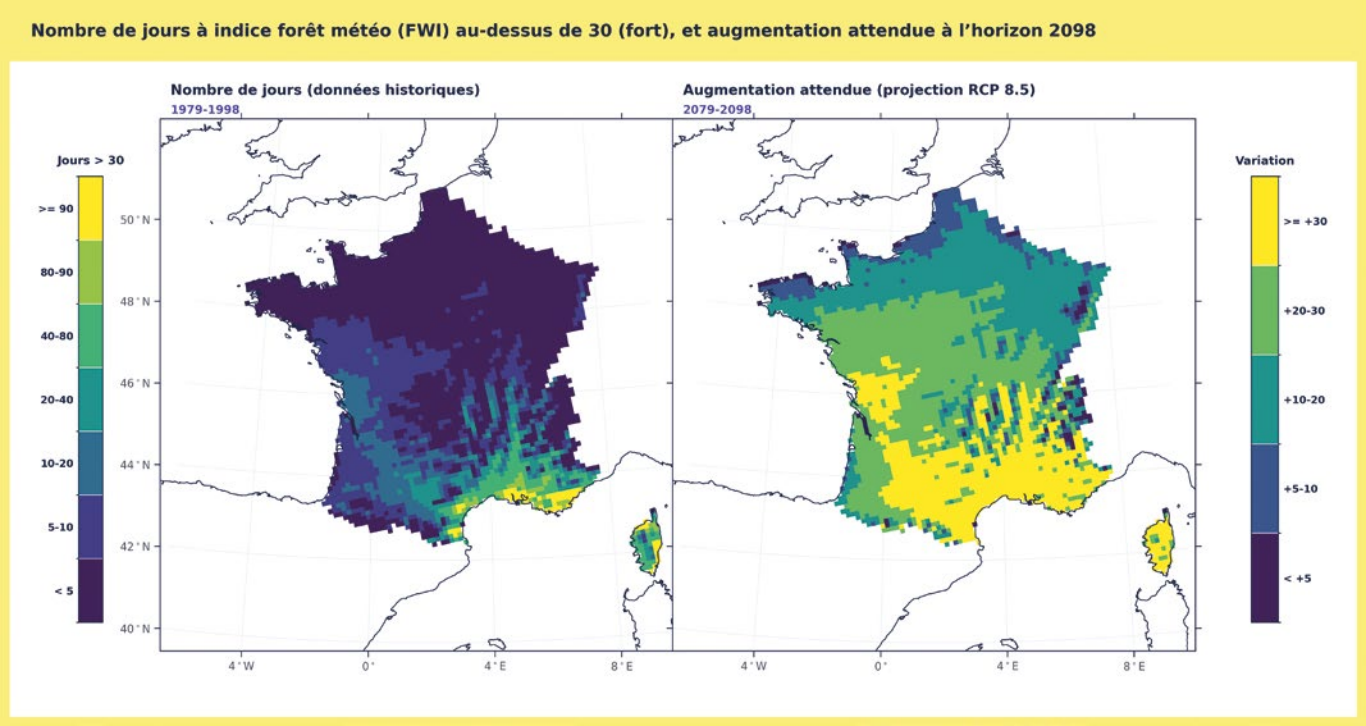



**Figure 16 :** À gauche, carte indiquant le nombre de jours par an durant lesquels l'indice forêt-météo dépasse 30 (risque élevé d'incendie) pour le climat historique (1979-1998). A droite, à la fin du siècle (2079-2098) selon la projection RCP8.5 (dit pessimiste ou sans réduction des émissions, le niveau du réchauffement étant de 4.6 °C en global et 5.0 °C en France métropolitaine, 1 °C supérieur à la trajectoire de réchauffement de référence pour l'adaptation au changement climatique avec une France à +4 °C). Ces graphiques sont issus des simulations du modèle régional RCA (SMHI, Suède), emboîté dans 5 modèles globaux CMIP5 (CNRM, EC-Earth, UK Met Office, IPSL et MPI). Les données ont été téléchargées depuis le « Climate Data Store » (https://cds.climate.copernicus.eu/).

El Garroussi et al. (2024) ont analysé les données historiques quotidiennes estivales de l'IFM sur la période 1981-2010 et regroupé l'Europe en 5 zones (boréale, tempérée, semi-aride, alpine et méditerranéenne) présentant une durée et une intensité similaires de la saison des feux. Ces 5 zones présentent des niveaux variables de danger d'incendie extrême dans le climat actuel, beaucoup plus élevés dans la zone méditerranéenne que dans les Alpes ou dans les régions boréales. Ces 5 zones présentent également des durées distinctes de la saison des feux : beaucoup plus longue en Méditerranée que dans les autres régions identifiées comme sujettes aux feux en Europe. Les changements prévus en matière de température et de précipitations affecteront ces 5 régions de manière différente, avec un risque d'incendie accru dans le secteur méditerranéen. Cette étude montre que **les régions du sud de l'Europe pourraient enregistrer une probabilité d'incendies fortement augmentée, même dans un scénario modéré de changement climatique. À la fin du siècle, 36 % de la région méditerranéenne verraient la probabilité d'incendie extrême, qui est actuellement d'une fois tout les 20 ans, augmentée d'un facteur 4 à 10. Cela signifie que ces évènements extrêmes pourraient avoir lieu tous les 5 ans, voir une fois tout les 2 ans et concernerait 55 % de la région.** Moins de 10 % du territoire seulement enregistrerait une stabilité, avec un ratio de probabilité compris entre 1 et 2. **Si la température globale moyenne atteint le seuil de +2 °C de réchauffement, l'Europe centrale et septentrionale deviendra également plus vulnérable aux incendies de forêt pendant les périodes de sécheresse, comme ce fut le cas en Scandinavie en 2018.** La probabilité accrue d'incendies extrêmes dans un climat en réchauffement, combinée **à un allongement moyen d'une semaine de la saison des incendies dans la plupart des pays**, mettrait à rude épreuve la capacité de l'Europe à faire face à cette situation dans les décennies à venir.

La Figure 16 (image de gauche, 1979-1998) montre le nombre de jours durant lesquels le risque d'incendie est élevé en France (IFM > 30). **Ce nombre peut dépasser trois mois par an dans la zone méditerranéenne française**. Il est inférieur à 5 jours dans le nord de la France. **À la fin du siècle (2079-2098), le danger d'incendie augmente de plus de 20 jours par an dans une bonne partie du territoire.**

Swain et al. (2025) utilisent l'indice normalisé de précipitations et d'évapotranspiration pour compter le nombre d'**événements dits « coup de fouet »**, dont la vitesse de transition entre états secs et humides dépasse un seuil correspondant à une période de retour de 10 ans. Ils montrent que le nombre d'évènements de ce type a augmenté de 8 a 66 % entre le milieu du XXe siècle et de nos jours, à l'échelle du globe (pourcentage qui représente une variation entre le milieu du XXe siècle, de 1950, par exemple, à 2025). De nouvelles augmentations sont attendues avec le réchauffement en cours, estimées entre 52 et 113 % pour un réchauffement climatique global de +3 °C (cette fourchette de pourcentage correspond à une variation future, entre 2025 et un avenir pour lequel la température globale est de 3 °C plus chaude par rapport a 1850, ou la période préindustrielle). Compte tenu des impacts historiques observés de ces événements de coup de fouet hydroclimatique, il est urgent de comprendre ces changements de volatilité et de s'y préparer. La volatilité hydroclimatique peut entraîner des effets géophysiques et sociétaux distincts et d'une ampleur supérieure à ceux associés à des événements isolés humides et secs. Une augmentation de cette volatilité est donc susceptible de mettre à l'épreuve non seulement les infrastructures de gestion de l'eau et des inondations, mais aussi les systèmes de gestion des catastrophes, d'intervention d'urgence et de santé publique. **Les infrastructures actuellement en place ayant été conçues pour les conditions extrêmes du milieu du XXe siècle, avec un réchauffement global peu remarquable, elles sont vraisemblablement mal adaptées aux changements induits par le changement climatique futur.**

## La transformation des territoires : l'autre facteur d'évolution du risque d'incendie aux interfaces

À tous les niveaux, l'accroissement de l'empreinte écologique de l'espèce humaine sur les systèmes environnementaux conduit à des transformations profondes des territoires. Même si les dynamiques territoriales s'appréhendent plus souvent à des niveaux régionaux ou locaux que le changement climatique global, ces transformations agissent en synergie ou parfois en opposition au changement climatique pour conduire à une évolution des niveaux de risque le plus souvent défavorable (Syphard et al. 2013 ; Vilar et al. 2016 ). **Le seul accroissement démographique humain de nombreux territoires méditerranéens ruraux, autrefois peu peuplés, se traduit directement par l'augmentation et la diffusion, au sein des espaces de végétation combustible, d'enjeux exposés, mais aussi de l'aléa de départ de feu d'origine humaine** (voir Chap. 1, Interfaces). Le plus souvent, les transformations socio-économiques se traduisent par de profonds changements de la physionomie des paysages, dont la structure détermine partiellement l'aléa structurel.

Le changement d'occupation et d'utilisation des sols (*Land Use Land Cover Change* - LULCC) constitue donc le deuxième facteur majeur d'évolution du risque structurel, après le changement climatique, à tous les niveaux d'échelle, depuis l'échelle globale (planétaire) jusqu'à l'échelle locale. Deux dynamiques principales sont déterminantes dans l'évolution du risque :

- **l'évolution des écosystèmes combustibles, sous la double influence du changement climatique et de la pression anthropique.** L'un des médiateurs de ces influences est l'évolution du régime de feux lui-même mais aussi la dégradation de l'état phytosanitaire de plusieurs écosystèmes (Amérique du Nord, certaines zones forestières tempérées et méditerranéennes européennes…) ;

- l'**évolution des classes d'occupation du sol**, déterminée par leur utilisation anthropique, mais aussi par les dynamiques écosystémiques (fermeture des espaces d'origine pastorale, par exemple) (Parente et al. 2023).

**La déprise agro-pastorale, amorcée à la fin du XIXe siècle et accélérée depuis les années 1950 en France, touche pour l'essentiel les régions méditerranéennes et les régions de montagne peu productives**. Elle entraîne une remontée biologique favorisant les landes, les garrigues et les maquis, ainsi que les boisements spontanés et les reboisements à vocation sylvicole.

**Cet accroissement de la couverture ligneuse (buissons et arbres) augmente la charge en combustible et la connectivité incendiaire des paysages**. Cela contribue fortement à modifier le risque de propagation des incendies (Salis et al. 2022).

**Cet abandon d'espaces agricoles conduit à la formation transitoire de friches chargées d'une biomasse fine favorisant les éclosions**, alors que la fermeture des espaces pastoraux conduit à des formations arbustives puis arborescentes sur de grandes surfaces. Le niveau de cette dynamique est très variable en fonction des contextes : encore forte dans certaines parties de l'Europe méditerranéenne (Sardaigne, nord de l'Espagne), elle est presque aboutie en France méridionale.

Au final, ces processus de déprise, associés aux reboisements des terrains de montagne (RTM) et aux reboisements du Fonds forestier national (FFN), ont conduit à une multiplication par presque deux de la surface forestière française depuis le « minimum forestier », situé vers le milieu du XIXe siècle, passant de 8,9 millions d'ha en 1840 à 17,6 millions d'ha en 2024. Cette augmentation s'est poursuivie, avec même une accélération à partir des années 1980[17].

Néanmoins, **peu de résultats formels permettent de relier l'augmentation de la surface forestière à l'augmentation des incendies (en nombre ou en surface brûlée), tant les autres facteurs, dont le changement climatique, l'aléa d'éclosion anthropique ou l'amélioration de l'efficacité de la lutte, peuvent être déterminants** (Ganteaume et al. 2013).

[17] Sources : IGNF, https://inventaire-forestier.ign.fr/spip.php?rubrique11.

**D'autres dynamiques d'utilisation et d'occupation du sol peuvent réduire le risque.** C'est évidemment le cas des aménagements anti-incendie : coupures de combustibles, débroussaillage, réouverture d'espaces anciennement agricoles ou pastoraux… Une réduction de la biomasse liée à une mauvaise adaptation des écosystèmes aux nouvelles conditions climatiques peut aussi conduire, à long terme et dans certains contextes, notamment méditerranéens, à une réduction progressive du risque d'incendie, après la phase de maximisation due à l'accumulation de biomasse morte.

L'accroissement ligneux des territoires anciennement agro-pastoraux, les politiques publiques et le changement climatique en cours entrent en collision. **Certains facteurs peuvent inhiber momentanément l'effet d'un autre (e.g. déprise agro-pastorale versus politiques publiques), alors que d'autres facteurs peuvent agir en synergie (e.g. déprise agro-pastorale et changement climatique). Mais ces synergies ou inhibitions peuvent fonctionner par effet de seuil et produire des trajectoires non linéaires. Cela modifie considérablement le risque de feu de végétation au XXIe siècle**, par comparaison avec le contexte du XIXe siècle, qui est celui où les surfaces boisées étaient les plus réduites, les politiques publiques concernant les usages des territoires les moins développées et le climat le moins risqué, car moins chaud et moins évaporant.

La France a vu une nette diminution du nombre de feux et des surfaces brûlées durant les trois dernières décennies (Dupuy et al. 2020). Cette tendance est généralement attribuée aux bonnes performances des doctrines de lutte contre l'incendie (Lahaye et al. 2018), en particulier de la stratégie d'attaque massive des feux naissants, fondée sur le « guet aérien armé » (Battesti 1997), bien que la démonstration formelle de causalité ne soit pas toujours clairement établie. **Pour l'avenir, l'augmentation de la fréquence des feux extrêmes, mais aussi l'extension des zones de vulnérabilité, en particulier aux interfaces, ainsi que la dispersion des enjeux sur les territoires (et des moyens de lutte disponibles), rendent incertaine la soutenabilité de cette tendance et de cette doctrine** (Curt et Frejaville 2018 ; Ruffault et Mouillot 2015). Montrant les limites des capacités d'intervention, le feu de Rognac dans les Bouches-du-Rhône, (10 juillet 2016, 2 663 ha) a détruit une trentaine d'habitations, alors qu'un autre sinistre menaçait les installations pétrolières sur la commune d'Istres (feu d'Istres du 10 juillet 2016, 30 ha)[18]. Les incendies en Gironde à partir du 7 juillet 2022 (La Teste-de-Buch, 5 709 ha, et Landiras I, 12 552 ha), ainsi que les incendies de la première quinzaine du mois de juillet 2025, cumulant des feux partiellement simultanés affectant fortement des enjeux d'interface dans les Bouches-du-Rhône (feu de Marseille/Les Pennes-Mirabeau à partir du 8 juillet 2025), l'Hérault (feu de Fabrègues à partir du 5 juillet) et l'Aude (feu de Narbonne à partir du 7 juillet), corroborent ces inquiétudes.

## Lacunes de connaissance et controverses

L'évolution future des incendies présente une incertitude majeure quant au rapport de force entre le réchauffement climatique et les interventions humaines pour contenir ses conséquences. Durant les dernières décennies, **la gestion préventive a permis de réduire les surfaces brûlées dans certaines régions très anthropisées comme le sud de l'Europe, masquant ainsi temporairement l'effet du réchauffement** (Turco et al. 2016).

Toutefois, les scénarios climatiques prévoient tous une nette augmentation du danger météorologique à l'avenir. **La capacité des mesures de gestion humaines à continuer de contrebalancer cette aggravation climatique à l'échelle régionale reste une inconnue fondamentale pour les projections futures.**

L'intégration de la dynamique des végétations dans les modèles prédictifs constitue une deuxième lacune cruciale. **Le changement climatique modifie directement les trajectoires d'accumulation et la disponibilité de la biomasse combustible et l'omission de ces interactions introduit une source d'incertitude majeure dans la cartographie des risques futurs** (Syphard et al. 2018). Turco et al. 2018 fait par exemple l'hypothèse que l'aridité croissante peut réduire la productivité végétale et limiter la quantité de combustible disponible, introduisant ainsi une rétroaction capable d'atténuer de moitié l'intensification prévue des incendies, notamment dans les écosystèmes méditerranéens.

Enfin, l'évaluation globale de la menace est limitée par les méthodes de collecte de données et le choix des métriques. L'attribution et la détection précises des tendances se heurtent à la faible profondeur temporelle des données satellitaires continues et à la disparité des archives historiques (Abatzoglou, Williams, et Barbero 2019). De plus, **se focaliser uniquement sur l'évolution de la « surface totale brûlée** » peut être trompeur **: cette métrique est globalement en baisse mais masque en réalité une augmentation avérée de la fréquence des évènements sévères** aux conséquences les plus fortes (Cunningham, Williamson, et Bowman 2024).

## Conclusion

Le risque incendie, autrefois façonné par des régimes naturels, subit aujourd'hui une nette transformation sous l'effet conjugué du changement climatique et des dynamiques anthropiques régionales et locales. Les projections confirment une extension géographique du risque, même dans des zones historiquement épargnées, ainsi qu'une intensification des feux extrêmes. Même si des incertitudes persistent, ces tendances questionnent les stratégies de gestion du risque jusque-là efficaces en France, tout particulièrement dans les zones d'interface où les enjeux de prévention sont majeurs et la maîtrise des évolutions de l'occupation des sols, un véritable défi.

[18] Sources : bulletins DFCI ONF : https://observatoire.foret.gouv.fr/api-obs/upload/ONF_bulletin_feu_20250715.pdf, base de données BDiFF.

# II. État des lieux des stratégies d’adaptation pour la résilience des interfaces ville - espace naturel

# II. 1 Gestion et prévention du risque incendie dans les interfaces ville - espace naturel

## Essentiels

La prévention du risque incendie ne repose pas sur une seule mesure.

Elle nécessite une combinaison cohérente d'actions techniques, économiques et sociales et passe par des interventions à plusieurs niveaux, du bâti jusqu'à l'organisation urbaine.

Elle repose sur un équilibre entre responsabilité individuelle et action collective : la sécurité des biens et des personnes dans les interfaces nécessite la participation active des habitants.

Les plans de prévention les plus performants sont ceux qui mobilisent plusieurs types de mesures et apportent un soutien matériel ou financier aux habitants. Pour que ces derniers adoptent les mesures nécessaires, il faut qu'ils en comprennent le sens. Les démarches pédagogiques les plus efficaces sont participatives et renforcent leur compréhension des risques locaux.

Les mesures techniques de prévention reposent sur deux leviers principaux : la gestion des combustibles et le durcissement du bâti.

La gestion des combustibles consiste à aménager la végétation autour des constructions afin de limiter la propagation du feu, notamment en réduisant la charge combustible et en créant des discontinuités. Elle inclut également le remplacement des espèces les plus inflammables par des végétaux moins sensibles au feu. Le durcissement du bâti repose, quant à lui, sur des mesures passives (utilisation de matériaux résistants ou protections contre les brandons) ainsi que sur des dispositifs actifs, tels que les systèmes d'aspersion ou l'application de retardateurs.

La mesure de la propension à payer des ménages pour des programmes publics et/ou privés de prévention du risque de feux confirme que l'investissement que les résidents sont prêts à consentir dépend de considérations autant financières que non monétaires (revenu, éducation, obstacles informationnels).

Les travaux économiques montrent qu'un système efficace d'assurance contre les incendies combine assurance privée et intervention publique. Les marchés financiers offrent des solutions de couverture alternative à l'assurance/réassurance classique pour éviter que le risque incendie ne soit plus assurable (car trop coûteux).

Dans les zones d'interfaces ville - espace naturel, la prévention vise à :

- limiter la probabilité d'occurrence des incendies,
- réduire leur intensité,
- réduire la vulnérabilité et faciliter la lutte.

La gestion et la prévention du risque incendie reposent sur un ensemble de mesures techniques, comportementales, informationnelles et économiques, mises en œuvre à différentes échelles et par une pluralité d'acteurs. **La littérature souligne de manière convergente qu'aucune mesure prise isolément n'est suffisante pour réduire durablement le risque, et que l'efficacité des politiques de prévention dépend avant tout de la cohérence entre dispositifs techniques, cadres réglementaires, incitations économiques et dynamiques sociales.**

Ce chapitre synthétise les connaissances scientifiques relatives aux principaux leviers de prévention et de gestion ex-post du risque incendie (assurance), en mettant en évidence leurs effets, leurs limites et les conditions de l'adhésion des citoyens.

### Mesures techniques de prévention

La littérature montre que les mesures techniques de prévention du risque incendie en interface ville - espace naturel reposent principalement sur deux leviers (Taccaliti et al.

2023) : la gestion des combustibles autour des constructions et le renforcement de la résistance du bâti (on parle de « durcissement* »).

### Gestion du combustible

La gestion des combustibles vise à réduire l'intensité des feux et à limiter leur propagation vers les constructions en agissant sur la quantité, la structure et la nature des combustibles, qu'ils soient végétaux ou artificiels. **Cette stratégie repose principalement sur la mise en place de « zones défendables » autour des bâtiments, dans lesquelles la continuité du combustible est rompue et sa charge significativement diminuée** (voir Fig. 17).

L'aménagement du combustible repose d'abord sur des interventions mécaniques ou manuelles telles que **le débroussaillement, l'élagage, le broyage ou l'enlèvement des résidus végétaux**. Le brûlage dirigé* peut également être mobilisé pour réduire la charge combustible, mais son usage reste limité en zone habitée en raison des contraintes opérationnelles, des risques associés et de sa faible acceptabilité sociale (Fernandes et al. 2013). Dans ces contextes, il est généralement réservé à l'entretien de coupures de combustible* existantes. Par ailleurs, **certaines pratiques, comme le broyage sans export de biomasse, peuvent s'avérer contre-productives en générant des combustibles fins particulièrement inflammables** (Marino et al. 2010).

**Figure 17 :** Maison durcie et protégée.

La réduction de la charge combustible s'appuie notamment sur **la définition de distances de gestion autour des constructions.** Ces distances, généralement **comprises entre 30 et 100 m selon les pays (voir Tabl. 2), visent à limiter l'exposition des bâtiments aux effets thermiques des incendies, en particulier au rayonnement et au contact des flammes**. Les ordres de grandeur retenus[19] apparaissent globalement cohérents avec les connaissances sur le comportement des feux de végétation, notamment en matière de flux radiatifs et de hauteurs de flamme. Des travaux montrent par exemple que lors d'incendie de forêt de pins, les flammes peuvent atteindre 30 m de haut (Filkov et al. 2023). Les travaux de Cohen ont par ailleurs montré qu'un front de flammes de 20 m de hauteur situé à 40 m d'une structure en bois n'entraînait pas son allumage par le seul rayonnement (Cohen 2000) (ce qui n'empêche pas qu'elle puisse être enflammée par le transport de brandons). Toutefois, **les distances de sécurité restent fortement dépendantes des conditions locales (pente, vent, type de végétation) (Soto et al. 2022), ce qui explique l'absence de consensus international et les différences observées entre réglementations d'un pays à l'autre**.

Dans ce cadre, la structuration des zones défendables repose généralement sur une organisation en **trois zones concentriques autour des constructions, caractérisées par des contraintes croissantes** à mesure que l'on se rapproche du bâti (Ondei, Price, et Bowman 2024) (voir Fig. 17) :

- La zone immédiate, au contact du bâti, vise à éliminer ou réduire au maximum les combustibles afin d'éviter tout contact direct des flammes et de limiter les sources d'allumage.
- La zone intermédiaire a pour objectif principal de limiter la propagation du feu en rompant les continuités horizontales et verticales de la végétation.
- Enfin, la zone étendue vise à ralentir la progression des incendies tout en intégrant des enjeux écologiques, avec des contraintes de gestion plus souples (Tihay-Felicelli et al. 2025).

**Dans les zones immédiates et intermédiaires, la réduction de la charge combustible et la création de discontinuités constituent les principes fondamentaux de la gestion du combustible** (Taccaliti et al. 2023). **La discontinuité horizontale repose sur la gestion de la**

| Pays | Distance de gestion du combustble (m) | Position de la zone immédiate (m) | Position de la zone intermédiaire (m) | Position de la zone étendue (m) |
|---|---|---|---|---|
| **USA (Californie)** | 30 | 0-1,5 | 1,5-9 | 9-30 |
| **Canada** | 100 | 0-1,5 | 1,5-30 | 30-100 |
| **Italie** | 30 | 0-5 (Toscane) 0-3 (Abruzzes) | 5-10 (Toscane) 3-10 (Abruzzes) | 10-30 |
| **Grèce** | 10 | 0-2 | 2-5 | 5-10 |
| **Portugal** | 50 | 0-2 | 2-10 ou 2-20 en fonction de la pente | 10-50 ou 20-50 en fonction de la pente |
| **Australie** | 20 | 0-10 | 10-20 | — |
| **Chili** | 30 à 60 suivant la pente | 0-2 | 2-10 | 10-30 |
| **France** | 50 portable à 100 par arrêté préfectoral | 0-3 | 3-20 ou 3-30 suivant les départements | 20-50 ou 30-50 suivant les départements |

**Tableau 2 :** Caractéristiques des zones défendables pour différents pays (Ondei et al. 2024; Tihay-Felicelli et al. 2025). Les données relatives à la France ont été actualisées suivant les arrêtés parus en 2025.

[19] En France ces distances figurent dans la réglementation sur les obligations légales de débroussaillement et les plans de prévention du risque incendie de forêt (PPRIF).

**végétation au sol et l'espacement entre les végétaux, tandis que la discontinuité verticale vise à éviter la transition des feux de surface, c'est-à-dire au ras du sol, vers les feux de cime, notamment par l'élagage et la gestion des strates inférieures**. Ces principes sont globalement partagés à l'échelle internationale, bien que leur mise en œuvre varie selon les contextes réglementaires, climatiques et paysagers (voir Tabl. 3). La justification des pratiques de gestion du combustible repose sur un ensemble de résultats expérimentaux et d'analyses post-incendies, qui, bien qu'encore limités, convergent vers une efficacité globale de ces mesures. Des études montrent notamment qu'une réduction modérée du couvert végétal peut significativement diminuer le risque de destruction des structures, avec une baisse d'environ 5 % du risque pour une réduction de 10 % du couvert (Gibbons et al. 2012). Par ailleurs, plusieurs travaux indiquent que **la hauteur des flammes est généralement comprise entre 1,5 et 3,5 fois la hauteur de la végétation** (Ricci et al. 2021), ce qui souligne l'importance de maîtriser la structure verticale du combustible. Des mesures expérimentales sur des **feux de surface et d'arbustes confirment des hauteurs de flammes de l'ordre de 1 à 2 m, en cohérence avec les recommandations d'élagage et de discontinuité verticale** (Frankman et al. 2013). Enfin, des études spécifiques sur des **feux de haies mettent en évidence des longueurs de flamme pouvant dépasser 5 m, justifiant des distances minimales de plusieurs mètres entre végétation et bâtiments pour éviter le contact direct des flammes** (Tihay-Felicelli et al. 2025).

Dans la zone étendue, les objectifs de gestion restent similaires à ceux des zones plus proches du bâti, en particulier le maintien de discontinuités horizontales et verticales. Toutefois, les contraintes y sont généralement assouplies pour préserver un couvert végétal plus important et intégrer les enjeux écologiques, notamment en termes de biodiversité et de régénération. Les exigences relatives à l'espacement des végétaux y sont généralement plus souples. **En France, ces exigences dans la zone étendue demeurent globalement comparables à celles appliquées en zone intermédiaire, avec toutefois la possibilité de maintenir des îlots de végétation sous certaines conditions (surface limitée, espacement et distance minimale aux autres végétaux).**

À une échelle plus large, la gestion du combustible peut être **complétée par la mise en place de coupures de combustible en périphérie des zones urbanisées** (Taccaliti et

| Pays | Distance entre végétaux et constructions | Distance horizontale entre les végétaux isolés | Arbustes autorisés sous les arbres | Hauteur de l'élagage |
|---|---|---|---|---|
| **USA** | 3 m | Arbres : 3 à 10 m suivant la pente ou les selon États.<br>Arbustes : 3 m ou 2 à 6 fois la hauteur suivant la pente ou selon les États | Oui dans certains États ou comtés | 1,8 à 3 m suivant les États ou 1/3 de la hauteur |
| **Canada** | - | 3 m | Oui | 2 m |
| **Chili** | 3 m | 3 m entre les arbres | Oui | 2 à 3 m |
| **Italie (Toscane)** | 5 m | 2,5 m | Oui | 2 m |
| **Grèce** | 2 à 5 m | 3 m | Non | 3 m |
| **Portugal** | 5 m | Pins maritimes et eucalyptus : 10 m<br>Autres arbres : 4 m | Non | 4 m ou 1/2 de la hauteur pour les arbres d'une hauteur < 8 m |
| **France** | Arbres : 3 m[20]<br>Arbustes ou haies : 3 à 5 m suivant les départements | 3 à 5 m suivant les départements | Non | 1/3 ou 1/2 de la hauteur sans excéder 2 à 4 m suivant les départements |

**Tableau 3 :** Distances préconisées pour la gestion du combustible dans la zone intermédiaire pour différents pays (en France ces distances sont par exemple mentionnées dans les arrêtés préfectoraux relatifs aux obligations légales de débroussaillement).

[20] Un arbre remarquable isolé peut se situer à proximité d'une construction à condition qu'il soit éloigné d'au moins 3 à 5 m de les tous autres végétaux.

al. 2023). Parmi elles, les pare-feux visent à stopper la progression des flammes, tandis que les zones de combustible réduit cherchent à en ralentir la propagation et à faciliter les interventions. Bien que leur efficacité dépende fortement de leur conception et de leur entretien, ces dispositifs peuvent contribuer à réduire significativement la surface brûlée lors d'incendies majeurs et doivent être envisagés comme un complément aux zones défendables dans une approche territoriale intégrée (Oliveira et al. 2016).

**En complément de la gestion de la structure du combustible, la sélection des végétaux constitue un second levier essentiel.** La propension d'une espèce à contribuer à un incendie dépend de sa réaction au feu, qui intègre plusieurs dimensions (Toy-Opazo et al. 2024) :

- l'inflammabilité (facilité d'allumage),
- la combustibilité (intensité de combustion),
- la durabilité (persistance dans le temps),
- la consumabilité (fraction de biomasse consommée).

Ces propriétés sont influencées par des caractéristiques morphologiques, physiologiques et chimiques des plantes. À l'échelle des feuilles et des particules fines, des paramètres tels que le rapport surface/volume, la teneur en eau et la composition chimique jouent un rôle déterminant dans les processus d'allumage et de combustion. Les feuilles fines, sèches et riches en composés volatils favorisent l'allumage et la propagation du feu, tandis que les feuilles épaisses, humides et peu riches en composés inflammables présentent un comportement plus résistant (Ganteaume 2018). À l'échelle de la plante entière, l'architecture, la densité du couvert et la proportion de biomasse morte influencent fortement l'intensité et la durée de la combustion (Pausas, Keeley, et Schwilk 2017).

La litière constitue également un élément clé du comportement du feu, en particulier pour les feux de surface. Les litières aérées favorisent la propagation rapide des flammes, tandis que les litières compactes limitent la circulation de l'oxygène et ralentissent le feu (Grootemaat et al. 2017). Enfin, certaines espèces comme les conifères et les eucalyptus présentent une capacité importante à produire des brandons, susceptibles de provoquer des départs de feu secondaires à distance (Ganteaume et al. 2009).

**Malgré l'absence de standardisation des méthodes d'évaluation, un consensus se dégage sur les caractéristiques des végétaux à privilégier ou à éviter** (voir Tabl. 4). **Les espèces à forte teneur en eau, peu riches en composés volatils et produisant peu de matériaux combustibles fins sont généralement recommandées (aloès, succulente, pittospore du japon, châtaignier, platane).** À l'inverse, les espèces résineuses ou riches en huiles essentielles, telles que les conifères ou les eucalyptus, sont associées à une inflammabilité élevée et doivent être évitées à proximité des constructions (Taccaliti et al. 2023).

**Ainsi, la gestion du combustible repose sur une approche intégrée combinant aménagement spatial de la végétation, réduction de la charge combustible et sélection raisonnée des espèces. Son efficacité dépend toutefois de sa mise en œuvre cohérente à différentes échelles, depuis la parcelle jusqu'au territoire, et de son entretien régulier dans le temps.**

### Durcissement des constructions

**Le durcissement des constructions constitue un levier central de la prévention du risque incendie dans les interfaces ville - espace naturel.** Il vise à limiter l'allumage des bâtiments et à réduire les dommages en cas d'exposition au feu, en agissant à la fois sur les caractéristiques

| Espèces à privilgérier | Espèces à éviter |
|---|---|
| • Aloès<br>• Succulente<br>• Pittospore du Japon<br>• Châtaignier commun<br>• Platane commun | • Eucalyptus<br>• Pins (Alep, pignon, de Calabre, ponderosa…)<br>• Cyprès<br>• Bruyère arborescente<br>• Bambou<br>• Thuya<br>• Olivier<br>• Genévrier<br>• Épine-vinette |

**Tableau 4 :** Exemples d'espèces à privilégier ou à éviter dans le cadre de la prévention du risque incendie.

intrinsèques du bâti et sur son environnement immédiat. Les stratégies mises en œuvre reposent sur une combinaison de mesures passives, intégrées dès la conception, et de mesures actives, mobilisées en situation d'exposition au feu (Taccaliti et al. 2023).

Les mesures passives occupent une place prépondérante, car elles permettent de réduire la vulnérabilité du bâtiment indépendamment de toute intervention extérieure. Elles s'articulent autour de trois axes principaux :

- l'amélioration de la performance au feu de l'enveloppe,
- le renforcement de la résistance des ouvertures,
- la réduction des combustibles à proximité des constructions (Taccaliti et al. 2023).

**L'enveloppe du bâtiment, en particulier la toiture, constitue un élément critique en raison de son exposition directe aux brandons, au rayonnement et aux flammes**. L'entretien des toitures et des gouttières apparaît ainsi essentiel, notamment pour éviter l'accumulation de débris combustibles susceptibles de s'enflammer (Samora-Arvela et al. 2023). **Le choix de matériaux incombustibles** (terre cuite, béton, pierre…), tant pour les toitures que pour les façades, permet également de limiter les risques d'allumage et de propagation (Samora-Arvela et al. 2023). **La configuration constructive** joue un rôle clé, comme le montrent les études sur l'infiltration de brandons à travers les interstices des systèmes de couverture (Manzello 2014). **De même, la fermeture des avant-toits** (Syphard et Keeley 2019) ou l'encapsulation des éléments combustibles (panneaux de bois recouverts par des plaques de plâtre par exemple) (Bartlett, Hadden, et Bisby 2019) contribuent à réduire les points d'entrée et de vulnérabilité.

Les ouvertures représentent un autre point critique, en raison de leur rôle dans la pénétration des brandons et des flux thermiques. L'utilisation de double vitrage (Taccaliti et al. 2023), de volets résistants au feu (Tihay-Felicelli et al. 2023) et de dispositifs de protection des grilles de ventilation ou des conduits de cheminées (Syphard et Keeley 2019) permet de limiter ces intrusions. Toutefois, les travaux expérimentaux montrent que les grillages métalliques placés sur les ouvertures de ventilation ne garantissent pas une protection totale face aux brandons (Manzello et al. 2011), ce qui souligne la nécessité de solutions techniques plus performantes.

**La gestion des combustibles artificiels à proximité des constructions constitue un troisième axe fondamental**. L'éloignement des combustibles domestiques et la réduction des matériaux inflammables dans les zones semi-confinées permettent de limiter les sources d'allumage secondaire (Taccaliti et al. 2023). Les réservoirs de GPL apparaissent comme des éléments particulièrement sensibles : malgré le respect des distances réglementaires, des études ont montré qu'ils pouvaient être fortement sollicités thermiquement lors d'un feu de végétation, conduisant à des phénomènes dangereux tels que l'émission de jets de flamme (Scarponi et al. 2020). Il est donc conseillé de maintenir des zones strictement dépourvues de végétation autour de ces éléments. Par ailleurs, les études post-incendies ont montré que **la présence de structures annexes (garage, cabane, etc.) à proximité de la maison augmentait le risque de propagation**. Il est par conséquent conseillé de limiter leur densité ou d'augmenter les distances de séparation entre les différentes structures (Gibbons et al. 2012).

**En complément, prévoir des mesures actives permet de réduire directement les flux thermiques ou de retarder l'inflammation des matériaux**. **Les systèmes d'aspersion**, par exemple, peuvent réduire significativement les flux thermiques reçus par les façades (Filkov et al. 2023). **Les couvertures ignifugées multicouches** offrent également une protection efficace contre les brandons, les flammes et le rayonnement, bien que leur efficacité dépende de la durée d'exposition (Takahashi 2019). **Les traitements retardateurs de flamme** visant à améliorer la réaction au feu des matériaux, notamment du bois, constituent également des pistes intéressantes, bien que certaines présentent des limites en termes d'impact environnemental ou de durabilité (Marney et Russell 2008).

Enfin, certains contextes spécifiques, tels que les habitats précaires et les campings, présentent des vulnérabilités particulières et restent encore peu étudiés. **Dans les habitats précaires, la forte densité du bâti et l'utilisation de matériaux combustibles favorisent la propagation rapide du feu. Les études montrent qu'une distance minimale d'environ 3 m entre habitations permet de réduire significativement le risque de propagation** (Wang et al. 2021). Le choix de matériaux peu combustibles, la réduction des combustibles artificiels (pneus, textiles, plastiques…) à proximité des habitations (Wang et al. 2021) et l'amélioration des infrastructures (accès, eau, réseaux électriques) (Affif et March 2025) constituent des leviers essentiels. **Des approches d'aménagement telles que le *reblocking*, consistant à réorganiser les habitats pour créer des voies d'accès élargies et des zones tampons, permettent également d'améliorer la résilience de ces zones** (Kahanji, Walls, et Cicione 2019) (voir Chap. 8, Urbanisme et gouvernance).

Dans les campings, la vulnérabilité est liée à la forte densité d'occupation et à l'usage de matériaux très inflammables. **Les recommandations portent notamment sur le choix de matériaux à faible contribution au feu pour les tentes, le maintien de leur tension pour éviter l'accumulation de brandons et la gestion de l'organisation spatiale afin de limiter la propagation du feu** (Almeida et al. 2017). Toutefois, ces mesures restent **insuffisantes**

face à un front de flamme intense, ce qui souligne la nécessité d'une approche combinée intégrant la gestion des combustibles et l'espacement des installations.

## Les plans de prévention

**Tant en France qu'aux États-Unis où ils se sont généralisés à partir des années 2000**, les plans de prévention du risque incendie sont très répandus. **Les pouvoirs publics incitent ou imposent leur adoption à différentes échelles (région, département, massif, commune), et ces plans renvoient à différents types d'actions et de compétences en matière de prévention** (urbanisme, information du public, organisation des secours, etc.). Selon les contextes nationaux, le degré de contrainte (entre obligations et incitations) comme de participation des habitants à l'élaboration de ces plans est très variable toutefois.

En France, les plans de niveau supérieur (département, massif) sont des documents stratégiques à destination des autorités et des professionnels, tandis que les plans locaux (Plans de prévention du risque incendie de Forêt - PPRIF*) sont destinés à réglementer l'urbanisation dans les communes à risque en s'imposant au plan local d'urbanisme. **Bien que datant de 1995, ces dispositifs ne concernent qu'une minorité de communes à risque du fait de leur coût, de difficultés techniques mais aussi de la forte opposition d'élus et de populations locales** (Bouisset 2011; Kocher et Butsic 2017). **Ils visent à interdire l'urbanisation future des zones les plus à risque et à imposer ou à recommander des mesures de sécurité aux constructions futures ou existantes.** Les mesures s'imposent aux habitants : le public ne participe pas à leur élaboration et n'est consulté que très en aval, dans le cadre de la procédure de concertation préalable (enquête publique) qui régit l'adoption des plans et programmes en France (Sanseverino-Godfrin et Le Goff 2003).

**Aux États-Unis, les plans, leurs impacts et leurs limites ont été très étudiés. La réglementation fédérale incite fortement et subventionne la création de plans locaux appelés « *Community Wildfire Protection Plans*** (CWPP)* **»**, élaborés le plus souvent à partir de modèles proposés par les États fédérés (Grayzeck-Souter et al. 2009), et ce surtout depuis 2003, **dans l'objectif de créer des « Communautés adaptées au feu » (« *Fire-Adapted Communities* »), centrées sur la protection des maisons** dans les interfaces ville - espace naturel**.** Les CWPP, pensés comme **des documents de planification qui associent agences publiques et parties prenantes (dont les citoyens), coordonnent et renforcent des dispositifs de prévention communautaires préexistants**. On peut citer les conseils « *Fire Safe* » (en Californie depuis 1993) qui sont des groupements à but non lucratif menant des actions de sensibilisation et encourageant l'adoption de mesures préventives (depuis le milieu des années 1990), notamment en aidant les habitants d'une même zone géographique à se structurer en communauté « *Fire Wise* » pour organiser des actions de prévention et des travaux de protection dans un cadre collaboratif. **Une certification nationale de « *Fire Wise Community* » permet aux habitants d'accéder à des avantages financiers, notamment des tarifs d'assurance réduits** (Everett et Fuller 2011) (voir Fig. 18).

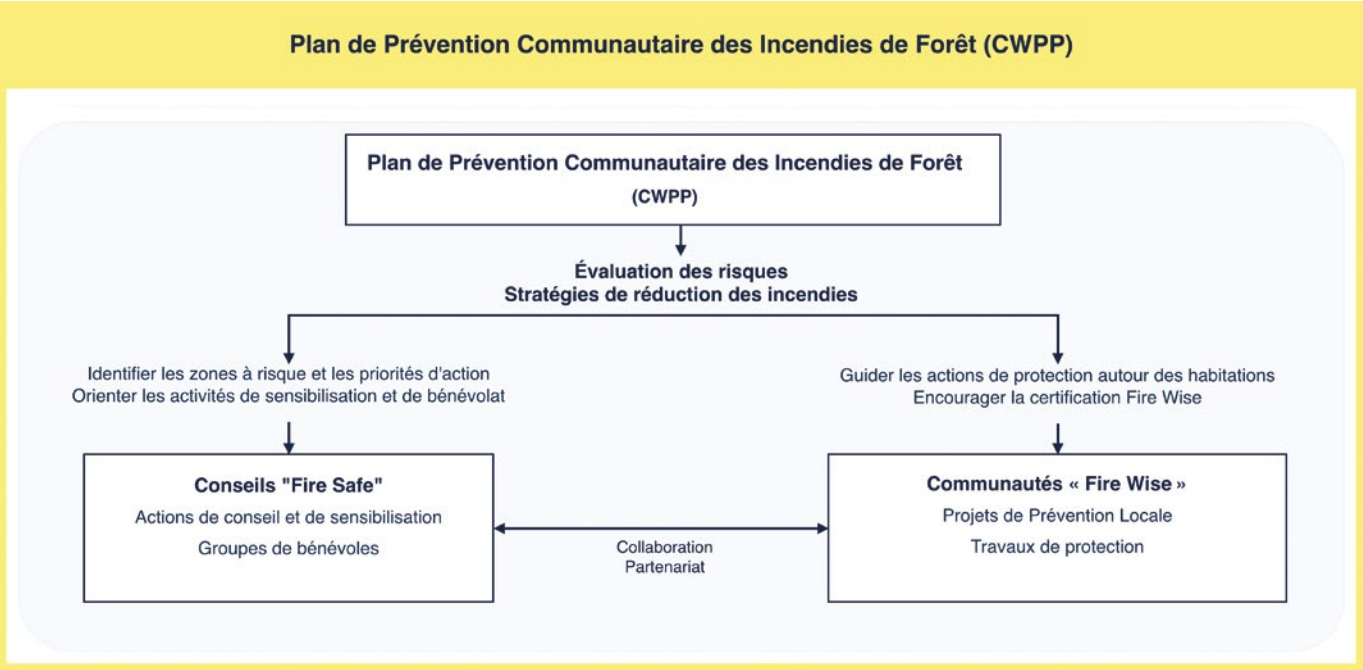



**Figure 18 :** L'articulation des CWPP aux initiatives locales de prévention plus anciennes

Un CWPP doit traiter le risque d'incendie en termes de dangers liés aux combustibles, de préparation des communautés et de priorités d'intervention tant pour les zones environnantes que pour l'inflammabilité des structures. **Ce plan est rédigé pour une zone géographique donnée et doit en refléter le contexte social et écologique local** (Absher, Vaske, et Peterson 2017).

**Les CWPP sont d'initiative locale mais sont pour la plupart pilotés par les agences publiques et sont mis en œuvre à différentes échelles qui peuvent aller du comté jusqu'à des groupements de propriétaires** (Grayzeck-Souter et al. 2009). Ils peuvent être aussi multi-juridictionnels, ce qui en fait un outil intéressant en zone transfrontalière (Jakes et Sturtevant 2013). **Ils peuvent associer des acteurs**

## Zoom sur les actions de prévention encouragées par les *Fire Safe* Councils en Californie pour sécuriser les maisons (Everett et Fuller 2011)

### Communications d'urgence et évacuation

- Systèmes d'urgence (911 aux USA) installés ou améliorés
- Patrouilles de surveillance anti-incendie bénévoles équipées de radios
- Systèmes de signalisation du niveau de danger d'incendie mis en place
- Itinéraires d'évacuation et/ou zones de sécurité identifiés
- Bornes téléphoniques d'urgence, réseaux radio et radioamateur mis en place
- Exercices d'évacuation
- Enregistrement volontaire des personnes vulnérables et préparation de leur évacuation
- Coordination de l'implantation de micropuces d'identification pour les animaux domestiques et le bétail

### Facilitation de la réponse d'urgence

- Cartographie par Systèmes d'Information Géographique des zones interface habitat-forêt (routes, topographie, végétation, structures, équipements pour les secours)
- Installation de panneaux de signalisation pour les routes et les habitations
- Développement de sources d'eau locales et de points d'accès, installation de raccords pour tuyaux d'incendie.

### Amélioration des habitations

- Évaluations gratuites pour les propriétaires concernant la sécurité incendie
- Jardins de démonstration pour montrer les plantes locales peu combustibles
- Démonstrations d'aménagement d'un espace défendable autour des maisons et des bâtiments publics
- Concours annuels pour l'espace défendable le plus amélioré et le mieux entretenu

### Traitement des combustibles

- Traitement mécanique (tonte, coupe, broyage, pâturage)
- Collecte en bordure de route des déchets issus des traitements
- Enlèvement des déchets
- Coupures de combustible le long des routes (publiques et privées)
- Utilisation du brûlage dirigé

**institutionnels, des entreprises spécialisées (consultants) ainsi que les populations**. La participation des propriétaires à la conception du CWPP est surtout marquée dans les plans correspondant à des communautés très locales (lotissement, groupement de propriétaires individuels) (Absher et al. 2017). Un avantage organisationnel tient en la capacité des CWPP de créer des « *learning communities* », **communautés apprenantes où l'information circule mieux entre les niveaux, et où la confiance mutuelle des acteurs en présence** (notamment entre résidents et pouvoirs publics) renforce la robustesse des dispositifs prescrits (Jakes et Sturtevant 2013).

Les types de mesures incluses dans ces plans et les niveaux de contraintes sont variables selon les contextes locaux (voir Zoom sur les actions de prévention), mais la dimension pédagogique avec des actions de communication et de formation, y est systématiquement présente (Absher et al. 2017 ; Grayzeck-Souter et al. 2009).

Les études menées sur ces plans et leurs responsables montrent que les mesures vues comme les plus efficaces par ces derniers sont l'aide financière au débroussaillement ou la réalisation de débroussaillements gratuits et l'aide à l'élimination des résidus (par exemple la mise à disposition de bennes ou le broyage), devant l'éducation. **C'est donc l'aide concrète apportée aux propriétaires privés qui apparaît la plus efficace, mais cette aide est conditionnée à la capacité de mobilisation des résidents bénévoles. De nombreux responsables de programmes estiment que c'est la combinaison des mesures qui est efficace, tandis que les principaux obstacles relevés tiennent au manque de financements, à la difficulté de mobiliser les bénévoles sur le long terme, au manque de personnels institutionnels qualifiés** dans le domaine de la prévention et à la résistance de résidents (Absher et al. 2017 ; Reams et al. 2005 ; Martin, Bender, et Raish 2007a).

## Freins et leviers pour l'adoption des mesures de prévention

La perception du risque et l'expérience personnelle des incendies constituent des déterminants majeurs de la mise en œuvre de mesures individuelles de prévention qui sont surtout étudiés dans des contextes nord-américains. Les individus ayant déjà été confrontés à un incendie, en particulier lorsqu'ils ont dû évacuer, sont généralement plus enclins à adopter des mesures (Champ, Brenkert-Smith, et Flores 2011). Toutefois, cette relation est bidirectionnelle : **la mise en œuvre de mesures de protection peut renforcer le sentiment de sécurité et, dans certains cas, conduire à une sous-estimation du risque, générant un effet de fausse sécurité** (Hamilton et al. 2018).

Pour analyser l'adoption des comportements de prévention, de nombreux travaux mobilisent la Théorie de la Motivation à la Protection (PMT) (Martin, Bender, et Raish 2007b). Ils mettent en évidence **deux facteurs centraux et étroitement liés : le coût de la réponse et la capacité perçue des individus à la mettre en œuvre. Le coût ne se limite pas aux contraintes financières, mais inclut également le temps, l'effort et les ressources que les individus sont prêts à consacrer à ces mesures**. La capacité perçue vient moduler ce coût : des capacités limitées se traduisent par un coût perçu plus élevé, ce qui réduit la probabilité d'adoption des comportements de prévention (Champ et al. 2011).

**Concernant l'âge, la littérature aboutit à des résultats contrastés**. Certaines études suggèrent que **les personnes plus âgées sont moins susceptibles d'entreprendre des actions de prévention individuelle, en raison de contraintes physiques** (Fischer et al. 2014), tandis que **d'autres montrent une association positive entre âge et engagement dans des actions** de réduction du risque ou de coopération collective, notamment dans le cadre de programmes comme *FireSmart*[21] (les individus de plus de 55 ans sont 1,64 fois plus susceptibles de s'engager dans des activités *FireSmart* que les 18-34 ans), un effet lié à des niveaux d'information plus élevés (Ergibi et Hesseln 2018) : par rapport aux cohortes plus jeunes, les personnes de plus de 55 ans sont nettement moins informées via les réseaux sociaux, mais elles le sont beaucoup plus par d'autres médias, tels que leur employeur, le gouvernement ou le bouche-à-oreille. Par ailleurs, **les ménages avec de jeunes enfants déclarent plus fréquemment un manque de temps pour se préparer**, un facteur davantage corrélé au jeune âge des parents qu'à la présence d'enfants en tant que telle (McNeill et Ronan 2017).

Les effets du genre et du niveau d'études dépendent du type de mesures considérées. **Les femmes apparaissent plus enclines à s'engager dans des actions individuelles (FireSmart), tandis que les hommes acceptent davantage certaines mesures spécifiques, par exemple le recours aux brûlages dirigés** (Toman et al. 2014). De même, **les personnes les plus diplômées adoptent plus fréquemment des mesures individuelles**, ce qui les amène à se montrent plus réticentes à l'égard des interventions institutionnelles, vis-à-vis desquelles elles peuvent se montrer plus critiques (Toman et al. 2014).

**Le coût des mesures et les contraintes financières constituent l'un des obstacles majeurs à l'adoption des comportements de prévention** (Brenkert-Smith, Champ, et Flores 2012). Les ménages à faible revenu et les propriétaires non assurés sont particulièrement vulnérables

[21] Fire Smart est une déclinaison canadienne du Fire Wise étatsunien. Le programme est assorti d'une labellisation maison par maison qui permet aux propriétaires ayant pris des mesures préventives d'obtenir des rabais en termes d'assurance habitation.

et moins en capacité (notamment financière) de mettre en œuvre des actions de protection (Gan, Jarrett, et Gaither 2015). Au-delà des caractéristiques socio-démographiques, le coût intrinsèque de certaines actions demeure un frein important (Anton et Lawrence 2016).

Au-delà des contraintes individuelles, plusieurs obstacles collectifs entravent la mise en œuvre des mesures de prévention. **Les valeurs esthétiques associées aux paysages résidentiels influencent fortement les choix des habitants** et peuvent entrer en conflit avec les exigences de débroussaillement (Martin et al. 2007b) (y compris en France (Bouisset et Degrémont 2013)). Ceci est également montré par certains travaux économiques sur le consentement à payer qui confirment que **l'investissement que les résidents sont prêts à accepter dépend de considérations autant financières que non monétaires, notamment d'obstacles informationnels et de la perception du risque d'incendie de végétation (Lee, Ma, et Li 2022). Le manque de savoir-faire, notamment chez les néo-résidents et les résidents secondaires, limite également l'adoption de pratiques adaptées**. Par ailleurs, la fragmentation sociale et l'absence de liens de voisinage réduisent les capacités de coopération nécessaires à une gestion collective des combustibles (Billings et al. 2021 ; Collins et Bolin 2009).

Au contraire, **la cohésion sociale et le sentiment d'appartenance à une communauté facilitent le partage des ressources et renforcent le sentiment d'auto-efficacité des résidents** (Stephens et al. 2022 ; Jakes et al. 2007 ; Toman et al. 2013). Des auteurs évoquent une approche de responsabilité partagée, où des politiques adaptées au contexte local et des partenariats entre citoyens et autorités renforceraient durablement la résilience des territoires (Kolden et Henson 2019) (voir Chap. 8 Urbanisme et gouvernance).

Dans le contexte français, les obligations légales de débroussaillement posent des problèmes de voisinage car elles peuvent contraindre les particuliers à débroussailler au-delà de la limite de leur propriété (Sanseverino-Godfrin et Le Goff 2003). Les adaptations législatives de 2023 visent à simplifier les interventions sur les propriétés voisines, mais les obstacles ne se limitent pas aux aspects pratiques (accès aux terrains) ou juridiques (droit d'intervenir chez autrui). Ils sont également culturels : attachement symbolique à la propriété privée ou tendance à reporter la responsabilité sur autrui (Bouisset et Degrémont 2013).

**Des incitations financières pourraient contribuer à lever ces réticences car les aides constituent un levier important** (Fischer et Charnley 2012 ; Palsa et al. 2022). Aux États-Unis, l'élaboration des CWPP est motivée par l'accès à des subventions fédérales et étatiques pour la gestion des combustibles (Palsa et al. 2022). Au Canada, les plans similaires suscitent une forte participation communautaire lorsqu'ils sont financés par des programmes provinciaux ou fédéraux (Copes-Gerbitz et al. 2022). Les coûts de participation (lorsque les communautés doivent contribuer financièrement) et l'absence de financement gouvernemental pérenne sont d'ailleurs les freins les plus importants pour la participation à ces plans (Copes-Gerbitz et al. 2022). Ainsi, **la réduction des risques dépend de la capacité des programmes à coordonner les efforts sur le long terme, ce qui est impossible sans un soutien financier gouvernemental** (Copes-Gerbitz et al. 2022). Une grande majorité de propriétaires se disent d'ailleurs prêts à coopérer avec les agences publiques ou leurs voisins si cela permet de réduire leur part des coûts ou facilite l'accès à des fonds publics (Fischer et Charnley 2012.

## Sensibilisation et éducation au risque

**Pour préparer la population, les approches reposant sur la contrainte réglementaire ou la sanction peuvent être mal acceptées si elles ne s'accompagnent pas aussi d'un effort pédagogique** (Grayzeck-Souter et al. 2009). Les dispositifs de sensibilisation et d'éducation sont primordiaux dans l'adoption des comportements de prévention. Everett et Fuller (2011) indiquent que les Conseils « *Fire Safe* » californiens leur consacrent 5 % de leur budget.

Les dispositifs de sensibilisation et d'éducation efficaces cherchent à agir sur **quatre facteurs qui importent particulièrement dans le comportement préventif des habitants**, au-delà de l'expérience préalable d'un incendie (Dillon et Tinsley 2016) : (i) une prise de responsabilité individuelle face au risque incendie, (ii) la croyance que les comportements de réduction des risques réduisent effectivement l'occurrence des incendies, (iii) les risques associés en cas d'incendie et (iv) la confiance dans les professionnels chargés de la réduction des risques. Ils mettent notamment **l'accent sur l'efficacité des actions à engager afin que les individus comprennent les gestes attendus et en perçoivent les bénéfices potentiels** (Paveglio, Boyd, et Carroll 2012).

**Dans ces dispositifs, l'information ne constitue pas un levier autonome ; elle conditionne l'efficacité des mesures techniques et la mobilisation des populations.** Un programme d'éducation efficace doit ainsi permettre aux individus d'intégrer le message à leurs représentations existantes, de le juger crédible et pertinent, pour ensuite le traduire en action (Champ, Brooks, et Williams 2012 ; Eriksen et Prior 2013 ; Rhodes 2011). **Il combine engagement individuel et collectif, tenant compte des émotions et des biais décisionnels, et s'appuie sur la confiance, la participation communautaire et l'autonomisation (« *empowerment* ») pour produire un changement durable.**

**La littérature souligne la pertinence d'une éducation provenant de sources multiples** (services d'incendie, réseaux de voisinage, médias et organismes spécialisés) pour stimuler l'action (Champ et al. 2011). Elle invite toutefois à privilégier une éducation participative **(e.g., visites de terrain, ateliers,**

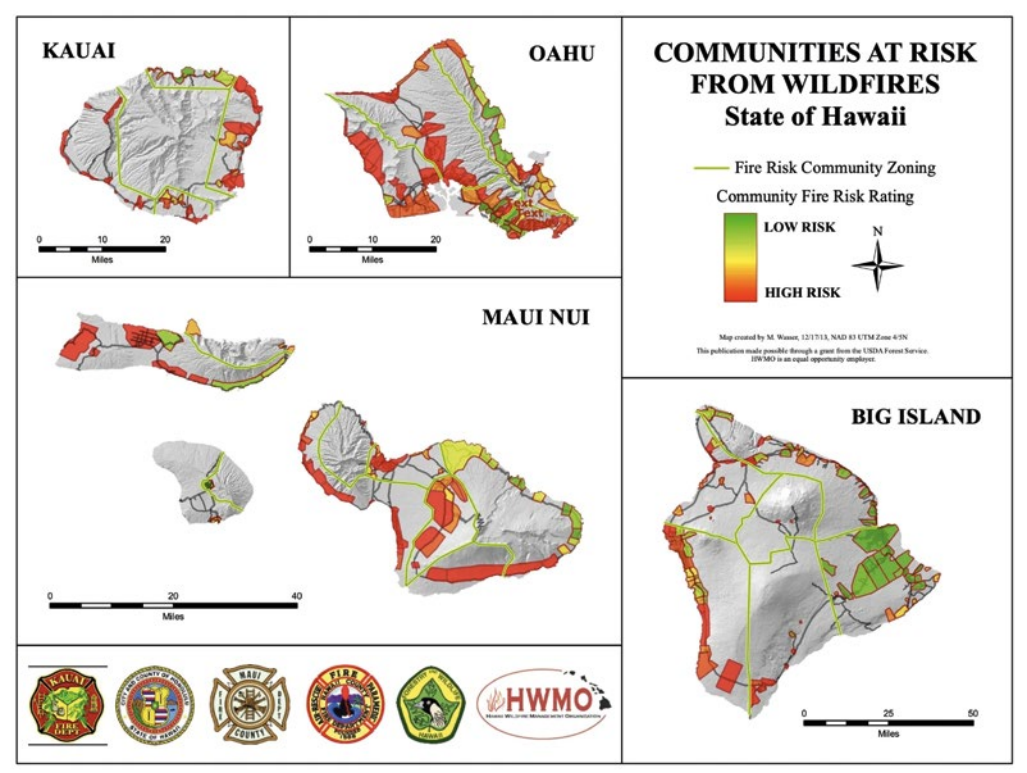
**accompagnement individualisé) plutôt que descendante (e.g., brochures, messages génériques), contextualisée au niveau local et orientée vers l'action** pour favoriser l'appropriation des messages, renforcer l'auto-efficacité et faciliter la mise en œuvre d'actions concrètes (Remenick 2018). **Le contact direct et personnalisé avec les professionnels joue ici un rôle clé.** Au-delà de ces interactions formelles, les échanges informels entre voisins et membres de la communauté permettent de diffuser des informations contextualisées et de soutenir des efforts collectifs de réduction du risque, contribuant à la formation d'un capital social favorable à la coopération (Crow et al. 2015). Les dispositifs structurés, tels que les programmes communautaires évoqués précédemment, renforcent cette dynamique en servant d'interface avec les institutions (McCaffrey et al. 2011). Enfin, **les normes sociales jouent un rôle déterminant dans l'adoption des comportements de protection** (Howe et al. 2018). Les relais de proximité, tels que les responsables locaux, apparaissent ainsi comme des acteurs clés pour diffuser les messages et encourager l'action (Remenick 2018).

L'ensemble de la littérature souligne que l'efficacité des messages ne repose pas uniquement sur leur contenu, mais sur leur capacité à rendre le risque visible, compréhensible et vécu, en combinant interaction, visualisation et immersion.

**Les cartes de vulnérabilité spatiale apparaissent comme des outils particulièrement puissants pour engager les parties prenantes** (voir Zoom sur les cartes de vulnérabilités), de même que les vidéos institutionnelles, notamment

## Zoom sur les cartes de vulnérabilités

Les cartes de vulnérabilité spatiale constituent un levier puissant pour engager les acteurs en rendant le risque visible, concret, relié au territoire local et appropriable (Preston et al. 2009). Pour être utiles, elles doivent rester simples, utiliser un code couleur clair (comme sur l'exemple de Hawaï ci-après) et apporter des informations personnalisées, c'est-à-dire à l'échelle de la parcelle, surtout pour les zones les plus à risque (Crow et al. 2015 ; Meldrum et al. 2021). Cet effet est renforcé lorsqu'elles sont élaborées de manière participative, ce qui facilite la compréhension, le dialogue et la co-construction des connaissances (Vukomanovic, Skrip, et Meentemeyer 2019).




Exemple des cartes grand public sur les communautés exposées aux incendies diffusées dans l'État de Hawaï (en vert : risque faible, en rouge : risque élevé)

lorsqu'elles évitent les représentations sociales limitantes, postcoloniales ou genrées (Yıldız, Lucas, et Davison 2025). **Des formats immersifs, tels que les « *serious games* » ou la réalité virtuelle, offrent des perspectives prometteuses** pour renforcer l'apprentissage et l'engagement comportemental, en permettant aux individus d'expérimenter des situations de crise de manière interactive et réaliste (Feng et al. 2018).

La littérature souligne enfin la nécessité d'adapter les messages d'éducation au risque aux caractéristiques des publics, en ciblant prioritairement les foyers les plus exposés et en tenant compte de leurs contraintes spécifiques (Meldrum et al. 2021; Wilkinson, Eriksen, et Penman 2016). Leur efficacité dépend aussi de la prise en compte des connaissances préexistantes: les jeunes, en particulier, peuvent s'engager activement sur ces enjeux, malgré des représentations parfois incomplètes (Towers 2015). À ce titre, leur implication dans des dispositifs éducatifs et communautaires apparaît comme un levier important.

En conclusion, **les plans de prévention et les programmes de sensibilisation collaboratifs associant agences et acteurs locaux renforcent le passage à l'action et l'auto-efficacité, en s'appuyant sur des partenariats structurés et ancrés dans les territoires** (Monroe et al. 2016). L'ensemble de la littérature souligne que l'efficacité des messages ne repose pas uniquement sur leur contenu, mais sur leur capacité à rendre le risque visible, compréhensible et vécu, en combinant interaction, visualisation et immersion.

### Assurance du risque incendie

Concernant la gestion du risque *ex post*, la **compensation financière des pertes en cas d'incendie revêt principalement trois niveaux** :

- **L'achat/vente d'un contrat d'assurance dommages sur un marché privé** d'assureurs en concurrence les uns avec les autres;
- **Le rôle de l'état comme assureur en dernier ressort**, notamment lors de pertes considérées comme catastrophiques. Il s'agit ici d'assurance publique ou d'assistance publique.
- **L'activité de réassurance**, c'est-à-dire celle des assureurs des assureurs, et la manière dont elle peut être complétée par des transactions sur les marchés financiers entre investisseurs en capacité de financement et acteurs en besoin de financement (assureur, État, réassureur).

L'état de l'art sur la question de l'assurance s'articule autour de ces trois problématiques.

La littérature économique récente (Jia et al. 2025; Kunreuther 2018) converge vers l'idée qu'un **système optimal de couverture du risque incendie dans les interfaces combine assurance privée et intervention publique**. En cas d'incendie de sévérité importante ou exceptionnelle notamment, l'État est ainsi appelé à jouer le rôle d'assureur en dernier ressort, c'est-à-dire à intervenir financièrement pour les pertes les plus importantes. C'est également l'État qui peut proposer un plan de remédiation financé par l'impôt en investissant des fonds publics dans l'assistance aux personnes sinistrées et/ou dans la reconstruction post-incendie ((Lopes et al. 2022) pour le Portugal entre 2009 et 2018). Aux États-Unis, **le gouvernement californien oblige les assureurs privés à proposer un contrat socle d'assurance du risque d'incendie** avec une indemnisation minimale et une prime d'assurance, en général, inférieure à la valeur réelle du risque assuré. Cette offre d'assurance s'inscrit dans le programme FAIR (*California Fair Access to Insurance Requirements Plan*), créé en 1968. Selon son rapport annuel, il assure aujourd'hui près de 600 000 habitations, nombre qui a plus que doublé depuis 2020. La prime d'assurance payée est raisonnable au regard du risque assuré et le niveau d'assurance proposé est limité, ce qui explique le phénomène d'auto-sélection des (hauts) risques apparus sur ce marché : **les ménages modestes habitant dans les zones à haut risque se tournent vers le programme FAIR tandis que les ménages moins vulnérables économiquement**, qui ont les moyens de payer le bon niveau de prime d'assurance et d'obtenir une couverture adaptée à leur risque, **optent pour un contrat privé**. Cette configuration scinde les fonds disponibles entre le programme FAIR et les autres contrats privés, **réduisant la possibilité de mutualiser l'ensemble des risques, bas et hauts, sur tout le territoire**, **ce qui explique en partie le retrait de certains assureurs du marché de l'assurance habitation** (Hazra et Gallagher 2022).

La littérature, principalement fondée sur des données américaines et australiennes, confirme que **les primes d'assurance ne reflètent pas le risque individuel réel d'incendie et ne créent pas d'incitations suffisantes pour limiter la construction ou la reconstruction** à l'initiative des ménages dans les zones à risque (Hazra et Gallagher 2022).

Concernant spécifiquement la France, les travaux consacrés à la demande d'assurance contre le risque incendie sont rares et se concentrent principalement sur les DROM-COM (Calvet et Grislain-Letrémy 2011; Grislain-Letrémy 2018). Dans ces territoires, la propension à bénéficier d'assistance après une catastrophe, le comportement des voisins et la qualité du bâti expliquent en partie la faible diffusion de l'assurance contre les incendies qui, en France, est intégrée dans le contrat d'assurance multi risques habitation. **Il n'existe pas, en effet, d'assurance spécifique « incendie de végétation ». Dans ce contexte, le taux d'habitations assurées, de 98 % dans l'Hexagone, est inférieur à 70 % dans les territoires des DROM-COM (68 % à La Réunion, 62 % en Martinique, 59 % en Guadeloupe, 49 % en Guyane et seulement 6 % à Mayotte).**

La question de l'assurabilité dans le futur du risque incendie sur le territoire français ne fait l'objet, à ce jour, d'aucun article scientifique. **Si l'incendie est un risque potentiellement catastrophique, il n'est néanmoins pas considéré comme un risque difficilement assurable** et n'est, à ce jour, pas concerné par le régime français des catastrophes naturelles ni par le Fonds de Prévention des Risques Naturels Majeurs (FPRNM), dit Fonds « Barnier », sauf pour les travaux de réduction de la vulnérabilité imposés par les Plans de prévention du risque incendie de forêt (PPRIF). Un grand nombre d'articles traitent de ce point dans le cadre de la France, mais s'intéressent à d'autres types de risques.

**Face au risque croissant d'inassurabilité (voir Chap. 4, Conséquences), des dispositifs de couverture du risque alternatifs et complémentaires à l'assurance classique existent** (Cummins et Weiss 2009 ; Götze et Gürtler 2022). Ainsi, **la réassurance et certains actifs financiers spécifiques vendus sur les marchés boursiers** permettent d'augmenter les capacités financières nécessaires à la compensation des dommages liés aux catastrophes. Ces deux dispositifs ont fait l'objet de bon nombre d'articles scientifiques mais très peu sont appliqués spécifiquement aux incendies (Li et Su 2024).

**La réassurance dite standard (ou historique) est une technique qui consiste à apporter des garanties d'assurance à l'assureur lui-même**. Cet apport de capital peut se faire soit par le marché privé de la réassurance, soit par l'intervention de l'État comme réassureur public, comme dans le régime français *d'indemnisation des catastrophes naturelles*. Les réassureurs n'ont vocation à intervenir qu'au-delà de certains seuils de pertes de leurs clients assureurs.

L'analyse du régime Cat-Nat français par (Jametti et Ungern-Sternberg 2010) ne porte donc pas sur les incendies mais apporte des éléments toujours d'actualité : il éclaire sur la manière dont l'articulation entre acteurs privés (les assureurs) et publics (l'État comme réassureur public) dans le régime Cat-Nat pourrait avoir un intérêt à évoluer. Ce faisant, l'article peut alimenter une analyse future sur l'assurabilité du risque incendie en France et sur son intégration, souhaitable ou non, dans ce régime. Il montre notamment que l'achat de réassurance publique de l'assureur privé sur la base du volontariat ne l'incite pas à diversifier les risques de catastrophes au sein de son portefeuille. Au contraire, l'assureur pratique une sélection des risques en n'acceptant que des risques bas et en laissant l'État couvrir les risques hauts. Un niveau de réassurance publique obligatoire pour les assureurs rendrait leur acceptation moins coûteuse et diminuerait l'intérêt pour la sélection des risques (Jametti et Ungern-Sternberg 2010).

Depuis la fin des années 1990, notamment aux États-Unis, l**es marchés financiers sont également en mesure de procurer des capacités financières additionnelles aux assureurs, réassureurs et aux États cherchant à compléter l'assurance privée**. Le contrat construit dans ce but met en relation deux acteurs, l'un disposant d'argent à investir sur les marchés boursiers, l'autre ayant besoin de financer la couverture d'un risque de catastrophe. **Les contrats les plus connus sont appelés des obligations CAT** (pour obligations sur catastrophe) (Cummins et Weiss 2009). De telles obligations CAT spécifiques au risque incendie sont **émises depuis 2018 en Californie pour alimenter le *California Wildfire Fund,*** mobilisé lors d'incendies causés par l'une des entreprises de services publics participant au fonds, ainsi que le programme FAIR[22].

Les obligations CAT présentant une valeur ajoutée intéressante par rapport à la réassurance classique sont celles dont **le paiement du capital ne dépend pas des pertes réelles du seul assureur ou réassureur qui l'émet mais plutôt d'un paramètre défini à l'avance** (intensité sur l'échelle de Richter pour un séisme, par exemple) **qui détermine le montant de l'indemnisation** : dans le cadre des incendies, la densité de population et de résidences dans les zones d'interface peut servir d'indicateur de sévérité potentielle dans les zones à haut risque (Jia et al. 2025 ; Kunreuther 2018 ; Li et Su 2024). L'intérêt d'une telle obligation CAT est triple :

- elle sécurise l'investisseur dans le cas où le montant des dégâts serait considérable,
- elle permet un versement plus rapide des indemnisations en cas de sinistre puisqu'elles ne dépendent pas d'une évaluation précise des dégâts,
- elle incite à la prévention pour ne pas subir de dégâts supérieurs à l'indemnisation définie en amont de la catastrophe.

**Ce type d'obligations CAT est d'autant plus émis par les assureurs comme substituts à la réassurance classique que la probabilité de défaut (faillite) de leurs réassureurs est élevée, ou encore que les pertes considérées sont exceptionnelles** (Cummins et Weiss 2009).

## Lacunes de connaissance et controverses

À ce jour, les mesures techniques de prévention du risque incendie en interface ville - espace naturel ne font pas l'objet d'un consensus international. Cette situation s'explique

[22] Source : Artemis.bm

notamment par un manque de données expérimentales en conditions réelles, en particulier pour caractériser les sollicitations thermiques associées aux différents types de combustibles ainsi que la réponse des éléments constructifs exposés (Manzello et al. 2018). Par ailleurs, l'efficacité des stratégies de gestion des combustibles et des dispositifs de protection demeure également peu étudiée (Manzello et al. 2018). Ces lacunes mettent en évidence la nécessité de mieux comprendre les mécanismes physiques d'allumage et de produire des données expérimentales dans des conditions représentatives des incendies, afin de renforcer la pertinence des stratégies de prévention.

A ce jour, il n'existe pas de littérature scientifique économique publiée sur les incendies en France ni au regard du régime Cat-Nat français ni du fonds Barnier. Par ailleurs, des informations sur le futur de l'assurance des incendies se trouvent dans les rapports, pas toujours publiés, des réassureurs. Le corpus ne présente pas non plus de travaux scientifiques portant sur les mesures et les coûts de la prévention pour les entreprises publiques de réseau (SNCF, ERDF, ...) et les infrastructures.

## Conclusion

La prévention du risque incendie en interface ville - espace naturel repose sur une approche intégrée combinant aménagement du territoire, gestion des combustibles et adaptation du bâti. Les connaissances scientifiques soulignent que l'efficacité des mesures dépend avant tout de leur mise en œuvre conjointe et de leur cohérence à différentes échelles. Au-delà des solutions techniques, l'adhésion des populations, les dispositifs de sensibilisation et les incitations économiques jouent un rôle déterminant dans leur appropriation. La prévention s'inscrit ainsi dans une logique de responsabilité partagée entre acteurs publics, privés et citoyens.

# II. 2 Gestion de la crise incendie : comportements individuels et outils

## Essentiels

La **gestion de crise commence lorsqu'un aléa fort est établi et déclenche l'activation de dispositifs de vigilance, de préparation et de pré-positionnement des moyens de lutte,** ainsi que la mise en sécurité et la surveillance des lieux susceptibles de constituer des points d'éclosion. Elle relève ainsi d'un système plus large de détection, de préparation, d'analyse, de prise de décision et de coordination. Les **outils mobilisables ne se réduisent pas à de simples technologies au sens strict, mais constituent un ensemble articulé de moyens humains et techniques.** Ils s'appuient sur des dispositifs variés tels que la télédétection satellitaire, les réseaux sociaux, ainsi que des systèmes de prévision numériques de comportement de l'incendie. L'intérêt opérationnel majeur de ces outils réside dans leur capacité à actualiser continuellement la situation, et à permettre une analyse prenant en compte la qualité et les incertitudes de ces prévisions.

La doctrine française combine, sous le contrôle des autorités, évacuation et confinement passif. Elle se situe ainsi dans une position intermédiaire entre la doctrine nord-américaine, fondée principalement sur les évacuations massives, et la doctrine australienne, qui admet la possibilité de rester sur place afin de défendre activement son habitation. **L'évacuation précoce (quand elle est possible) est toutefois unanimement considérée dans la littérature comme la stratégie la plus sûre pour protéger les vies humaines.**

La décision d'évacuer est néanmoins un processus complexe, influencé par des facteurs individuels, sociaux, institutionnels et logistiques imbriqués ainsi que la disponibilité d'un plan préétabli. Les alertes officielles sont les signaux les plus efficaces pour déclencher un plan d'urgence individuel, mais leur impact dépend fortement de leur précision, clarté et pertinence locale. Ces alertes ne peuvent se substituer à la préparation individuelle, car elles peuvent être tardives, incomplètes ou ne pas parvenir aux populations exposées.

Enfin, **les feux extrêmes marquent un changement de régime dans lequel la logique d'extinction atteint ses limites.** L'enjeu devient alors prioritairement la protection des infrastructures et la mise en sécurité des populations. Cette évolution renforce l'importance de la préparation des individus et de la détection précoce du basculement à un feu extrême, favorisant l'émergence de nouveaux outils et indices dédiés au risque extrême, encore peu intégrés aux dispositifs classiques de gestion de crise.

La crise commence lorsqu'un aléa fort est établi (voir Chap. 2 Aléa). Cet aléa déclenche l'activation de dispositifs de préparation du territoire (vigilance, pré-positionnement) et des individus, même si aucun départ de feu ne se produit *in fine*. La gestion de la crise incendie dans les interfaces ville - espace naturel ne se limite donc ni à la lutte contre l'incendie ni à l'évacuation des populations. Elle repose sur un système sociotechnique plus large, impliquant également la préparation, la surveillance, la communication, la prise de décision, ainsi que la protection des personnes et des biens.

Ce chapitre analyse les connaissances scientifiques relatives à la gestion de la crise incendie en examinant successivement les comportements des populations avant et pendant la crise, les outils et cadres d'aide à la décision mobilisables en situation de crise, puis les limites opérationnelles de la gestion de crise face à des incendies extrêmes.

### Doctrines en usage face à la crise incendie

Face à la crise incendie, la doctrine française privilégie le confinement sur place plutôt qu'une évacuation systématique, sans que cela soit clairement identifié dans la littérature scientifique. Le manque de littérature hexagonale fait que les travaux développés en Australie, et plus marginalement aux États-Unis et au Canada, constituent les principales sources d'information sur les comportements individuels en situation de crise. Ces travaux examinent notamment la pertinence de la doctrine australienne dite **« *Stay and Defend or Leave Early* » (SDLE**), qui invite les habitants à formaliser un plan de survie individuel précisant s'ils resteront pour défendre leur habitation ou s'ils évacueront précocement, en comparaison de la doctrine américaine « *Ready! Set! Go!* », qui encourage une évacuation précoce et planifiée tout en insistant sur les mesures de

prévention en amont. Si les doctrines documentées dans la littérature diffèrent de la doctrine française, une étude comparative récente (Vaiciulyte et al. 2022) indique que **les comportements observés en France face à la crise se situent à mi-chemin entre ceux documentés en Australie et aux États-Unis. Ils traduisent une posture plus attentiste, cohérente avec la doctrine française, et suggèrent ainsi une transférabilité au moins partielle des enseignements internationaux au contexte français**.

**La littérature converge pour considérer que l'évacuation précoce constitue l'option la plus sûre pour protéger les vies humaines** (Khorasani et al. 2023). La défense active peut, quant à elle, limiter les dommages matériels, à condition que les habitants soient bien préparés et que les conditions le permettent (Handmer et O'Neill 2016).

Les données empiriques recueillies à la suite des incendies du *Black Saturday* de 2009 en Australie ont largement remis en question la doctrine SDLE. Elles montrent que les habitants décident rarement à l'avance entre « *Stay and Defend* et *Leave Early* » (Johnson, Johnson, et Sutherland 2012), privilégiant souvent une posture d'attente (« *wait and see* ») afin de réduire l'incertitude (Strahan et Gilbert 2021a). **Cette attente conduit fréquemment à une évacuation tardive, au moment potentiellement le plus dangereux, marqué par la fumée, les braises, la visibilité réduite ou encore les routes bloquées** (McLennan, Elliott, et Elliott 2012 ; Whittaker et al. 2013). La littérature explique cette faible anticipation par le fait que la population perçoit une différence d'attractivité limitée entre les deux options (rester défendre ou évacuation précoce) (McNeill et al. 2015 ; Walpole, Wilson, et McCaffrey 2020).

Sans remettre en cause la doctrine SDLE, la campagne « *Prepare. Act. Survive* » menée après ce retour d'expérience, met l'accent sur les dangers d'une évacuation tardive et sur ceux liés au fait de rester chez soi dans des conditions de feu extrêmes. Dans cette perspective, **la doctrine SDLE ne doit pas être interprétée comme un choix binaire entre rester et évacuer mais comme un cadre de préparation multi-scénarios** (Handmer et O'Neill 2016). Ainsi, **les plans individuels de survie utiles sont ceux qui intègrent tous les scénarios et des déclencheurs explicites de décision du type « si..., alors... »** (McNeill et al. 2015 ; Strahan et Gilbert 2021a).

La Figure 19, synthétisant les différents scénarios décrits dans la littérature, illustre cette logique en représentant les principaux embranchements décisionnels susceptibles de conduire, selon les conditions rencontrées, à l'évacuation, au confinement avec ou sans défense, au confinement en abri ou à une solution alternative d'urgence.

**Les plans individuels de survie efficaces semblent être ceux coconstruits localement avec les autorités et qui tiennent compte des contraintes réelles de l'évacuation à l'échelle des ménages** (e.g., accessibilité des routes d'évacuation, présence d'animaux ou d'enfants, absence de certains occupants du foyer au moment où le feu se déclare)

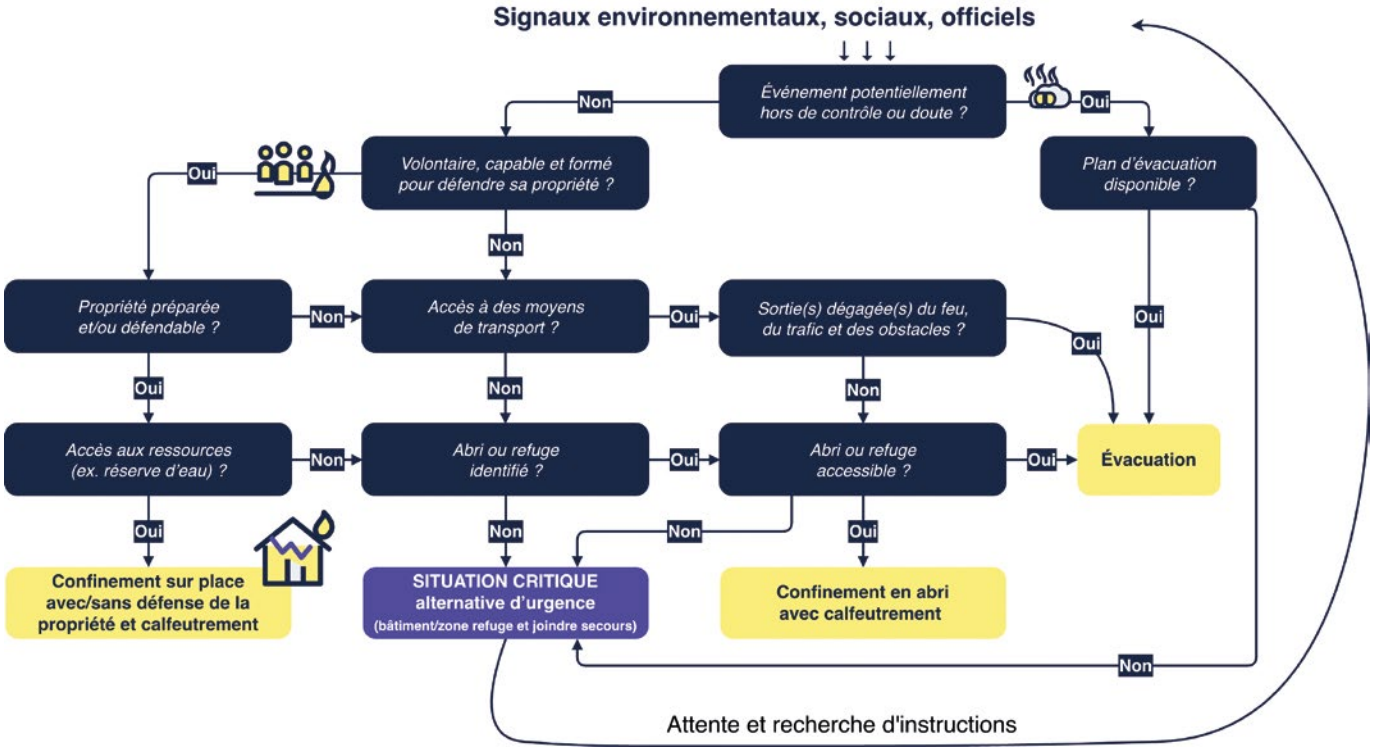



**Figure 19 :** Scénarios décisionnels pour les citoyens face à l'incendie, inspiré de Cova et al. (2009)

(Wilkinson, Eriksen, et Penman 2016). Il s'agit de mieux préparer les citoyens face au risque d'incendie, sur les plans matériel (e.g., sécurisation de l'habitation, kit d'évacuation prêt), logistique (e.g., identification des itinéraires d'évacuation, solutions pour les personnes dépendantes, pour les animaux, coordination familiale) et psychologique. Disposer d'un plan de survie clair permet de mieux conserver son calme dans une situation de stress extrême (Cohn, Carroll, et Kumagai 2006 ; Strahan et Gilbert 2021b).

**En définitive, disposer d'un plan individuel de survie contribue à réduire l'incertitude propre au moment de la crise, à condition que les habitants aient été préparés à identifier eux-mêmes leurs déclencheurs d'action et à suivre activement l'évolution de la menace pour décider d'une éventuelle évacuation**. Cela est d'autant plus important que les alertes peuvent être tardives ou ne jamais parvenir (e.g., coupures d'électricité, destruction des infrastructures, mauvaise couverture réseau) (Taylor et al. 2007 ; Whittaker, Taylor, et Bearman 2020).

### Comportements des individus face à l'alerte

**Réduire l'incertitude doit constituer l'objectif central des politiques d'alerte**. Lorsqu'elles sont effectivement reçues, les alertes officielles sont les signaux les plus efficaces pour déclencher l'évacuation, que ce soit aux États-Unis, en France ou en Australie (Paveglio et al. 2014 ; Vaiciulyte et al. 2022). Leur effet dépend toutefois fortement de leur qualité informationnelle. **Les messages les plus utiles fournissent des informations précises sur la nature du danger, sa localisation, les consignes à suivre, la temporalité du risque, ainsi que la source de l'information** (Sorensen 2000), **voire sur les itinéraires d'évacuation et les lieux sûrs** (Strahan et Gilbert 2021b).

L'efficacité des alertes repose également sur leur spécificité locale, à l'échelle des rues et des quartiers, en mobilisant par exemple des systèmes d'information géographique ou des images satellitaires (Cohn et al. 2006), ainsi que sur leur clarté et leur cohérence (Sorensen 2000 ; Strahan et Gilbert 2021b). Des terminologies hétérogènes, des acronymes ou des classifications peu lisibles compliquent leur interprétation, en particulier pour les publics socialement ou linguistiquement plus vulnérables. À l'inverse, **des systèmes gradués, des codes couleur et des supports visuels actualisés peuvent en améliorer la compréhension**.

**Les alertes gagnent à ne pas être pensées isolément, mais comme un système multi-canaux articulant des dimensions techniques, organisationnelles et sociales** (voir Zoom sur un protocole générique de communication). Si les SMS maximisent la rapidité de diffusion et le nombre de destinataires (Fang et al. 2025), la répétition des messages sur plusieurs canaux, lorsqu'ils émanent de sources officielles jugées fiables et sont confirmés par d'autres relais, peut éviter que les résidents ne s'engagent dans une recherche d'informations supplémentaire, parfois auprès de sources peu fiables (Taylor et al. 2007 ; Taylor et al. 2005). Les risques de phénomène de « *cry wolf* » (crier au loup) (Sorensen 2000) ou de « *warning fatigue* » (fatigue des avertissements), associés à une répétition trop importante des alertes (McLennan et al. 2019), ne font toutefois pas consensus dans la littérature.

### Zoom sur un protocole générique de communication entre pompiers et citoyens en situation d'incendie (Balogh et al. 2023)

Balogh et al. (2023) proposent un protocole générique visant une communication efficace entre les pompiers et un grand nombre de citoyens présents sur le site de l'incident ou dans les zones environnantes. Ce protocole repose sur la formalisation d'un flux structuré de données et d'informations, articulé autour de plusieurs composantes :

- une application mobile destinée à impliquer les citoyens dans la gestion des incendies de végétation, leur permettant de recevoir des alertes et de communiquer avec les pompiers présents sur le terrain ;
- un outil permettant de traiter, d'extraire et de diffuser des informations depuis et vers les réseaux sociaux ;
- un centre de données partagé entre les centres de commandement en charge de la crise ;
- une infrastructure de communication sans fil, potentiellement embarquée sur des drones, destinée à garantir la connectivité IP ainsi que la transmission en temps réel de données vidéo et sensorielles ;
- un tableau de bord intégrant, au sein d'un portail unique, les données issues de différents services.

Au moment de la crise, la décision d'évacuer ou de rester constitue un processus complexe, influencé par des facteurs individuels et sociaux, par la confiance accordée aux autorités et aux médias, ainsi que par des contraintes logistiques concrètes, telles que le trafic ou l'état des routes (Taylor et al. 2015 ; Cohn et al. 2006). Elle résulte d'un ensemble de facteurs imbriqués. À l'échelle collective, la littérature montre que les dynamiques sociales, relations interpersonnelles, accès aux connaissances techniques, expérience locale du feu, caractéristiques structurelles des territoires, façonnent les stratégies de préparation et de réponse des populations (Paveglio et Edgeley 2017). À l'échelle individuelle, les recherches menées après les incendies du *Black Saturday* de 2009 en Australie montrent que, **contrairement aux hypothèses opérationnelles, les individus n'évacuent pas immédiatement. Leur premier réflexe consiste à rechercher des informations précises, locales et actualisées, quitte à ce qu'elles soient inexactes, afin de réduire l'incertitude liée au risque, en particulier lorsque les informations officielles sont insuffisantes ou qu'ils ne disposent pas d'expérience antérieure** (McLennan, Elliott, Elliott, et al. 2012 ; Whittaker et al. 2013). Les signaux environnementaux, tels que les flammes ou les braises, jouent un rôle majeur dans la prise de conscience du danger, tandis que les signaux officiels, lorsqu'ils sont reçus, apparaissent comme les plus efficaces pour déclencher l'évacuation (Paveglio et al. 2014 ; Vaiciulyte et al. 2022).

À l'inverse, **l'attachement à la propriété, la présence d'animaux domestiques ou une forte auto-efficacité perçue dans la défense de l'habitation, c'est-à-dire la croyance dans sa capacité à la défendre seul, augmentent la probabilité de rester** (Cote et McGee 2014 ; Stasiewicz et Paveglio 2021).

**Enfin, la littérature met en évidence des comportements différenciés selon les caractéristiques sociodémographiques**. Les hommes, les personnes à revenu élevé, plus isolées de leurs voisins ou travaillant dans la filière bois ou l'assurance sont plus susceptibles de rester et de défendre, alors que les résidents secondaires et les femmes tendent, de façon statistiquement significative, à davantage évacuer (Whittaker et al. 2013 ; Stasiewicz et Paveglio 2021). En matière de caractéristiques sociodémographiques, Folk et al. (2019) ajoutent que les individus présentant un haut niveau d'éducation, s'étant installés récemment ou ayant déjà fait l'expérience du feu, voire d'une destruction, sont plus susceptibles d'évacuer. Finalement, les personnes immigrées récemment installées sont plus susceptibles de ne pas évacuer, en raison d'une incompréhension linguistique des alertes et d'une préférence pour rester dans un endroit familier (Strahan et Gilbert 2021b).

En conclusion, la décision d'évacuer est donc dynamique et contextuelle : elle dépend des signaux perçus (officiels, environnementaux, sociaux), de l'efficacité perçue des options (évacuer *versus* rester), et de facteurs émotionnels et situationnels, plus que de caractéristiques individuelles stables, ce qui explique un fort écart entre intentions et comportements réels (Adam et al. 2016). **De nombreux ménages changent de stratégie en situation de crise, passant de l'attente à la défense puis à une évacuation tardive, ce qui accroît fortement le risque, notamment en cas de préparation insuffisante** (Johnson et al. 2012 ; Whittaker et al. 2020).

## Outils et cadres d'aide à la décision pour la gestion de crise

Les outils susceptibles d'appuyer la prise de décision au moment de la crise incendie sont ceux mobilisables quand un aléa fort est établi, puis en cas de départ de feu éventuel et jusqu'au retour d'expérience. **Il ne s'agit pas seulement de technologies au sens strict, mais plutôt d'un ensemble de moyens, humains et techniques, intervenant à différents moments d'un cycle « observation, orientation/analyse, décision et action »** (Penney et al. 2022). La Figure 20 en donne une représentation synthétique avec les éléments constitutifs de chaque élément du cycle.

**La détection de l'incendie** repose sur différents dispositifs d'observation (e.g., observation humaine, dispositifs optiques, capteurs au sol, satellites), aux performances hétérogènes (Alkhatib 2014), les systèmes automatisés étant souvent limités par les fausses alertes et par des délais de détection parfois peu compatibles avec l'intervention. La télédétection satellitaire occupe une place à part : les satellites États-Uniens MODIS et VIIRS fournissent des données centrales pour repérer les feux actifs, estimer leur puissance et cartographier les surfaces brûlées (Sobrino 2024 ; Wooster et al. 2021). **Leur limite principale reste la discontinuité temporelle, qui réduit leur intérêt pour l'alerte immédiate** (Chuvieco et al. 2020. **Les évolutions récentes, notamment la fusion multi-satellites et l'arrivée de Meteosat de troisième génération, offrent cependant désormais un suivi quasi continu à l'échelle européenne** (Xu et al. 2026 ; Yang, Huang, et Yu 2024).

D'autres dispositifs complètent ce tableau. Les radars météorologiques, peu utilisés en Europe dans le cadre des incendies, sont surtout utiles pour suivre l'intensité et la dynamique des feux (McCarthy et al. 2019). Les réseaux de capteurs et objets connectés restent encore limités par les fausses alertes et par un manque de validation en conditions réelles (Sairi et al. 2023). **Les drones paraissent aujourd'hui plus adaptés au suivi opérationnel et à la recherche de points chauds qu'à la détection initiale** (Liu et al. 2023). **Enfin, les réseaux sociaux et des plateformes susceptibles d'agréger différentes informations peuvent aussi contribuer** au suivi de la crise (Shenyue Jia et al. 2020) et jouer un rôle de capteurs d'urgence complémentaires, en donnant un accès rapide aux perceptions, aux besoins et aux réactions des populations exposées

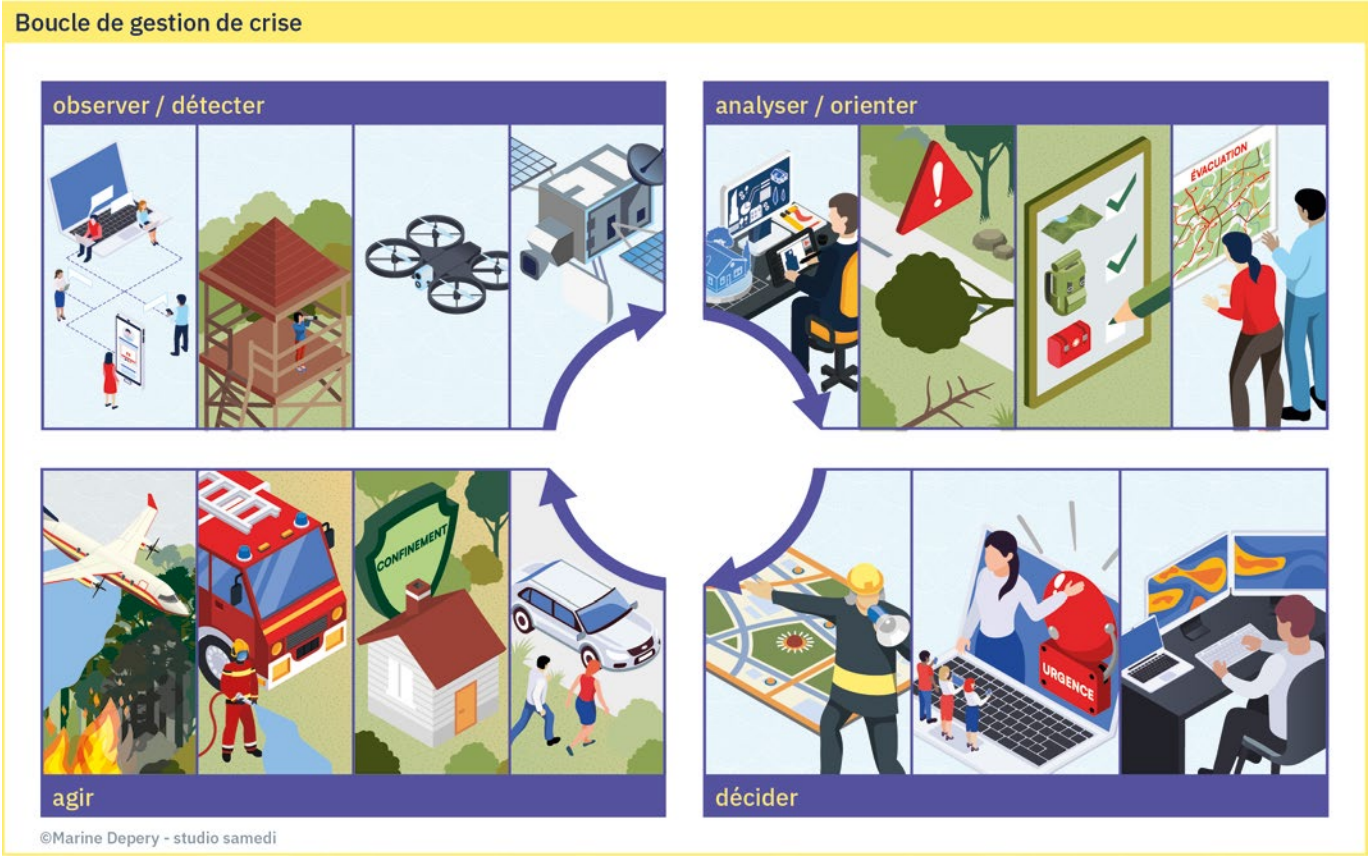



**Figure 20 :** Boucle et phases de gestion de crise.

(Karimiziarani, Foroumandi, et Moradkhani 2025). Ce champ de recherche récent montre que ces dispositifs peuvent aider à suivre la dynamique sociale de la crise, à repérer des relais d'information influents et à appuyer la communication ou la priorisation de certaines actions (Gong, Dimitrov, et Bartolacci 2024 ; Sherritt, Nejadgholi, et Amini 2025). Leur usage reste toutefois limité par la qualité variable des données et par les risques de désinformation (Dmitry et Erokhin 2025).

**L'orientation et l'analyse,** à la suite de la détection, comportent plusieurs dimensions. Elles concernent notamment l'anticipation de l'évacuation, le choix du moment de son déclenchement, mais aussi l'estimation de sa difficulté en fonction de la dynamique attendue du feu, des routes disponibles pour l'évacuation ou l'action, et de la vulnérabilité des populations (Khorasani et al. 2023). Les approches développées dans la littérature traitent ce problème en proposant de **définir à l'avance des seuils de déclenchement appuyés sur des repères géographiques** : **lorsque ces seuils sont franchis, l'alerte est émise afin d'activer des actions prédéterminées. Des travaux récents couplent modèles de propagation et simulation du trafic afin d'estimer plus explicitement les temps d'évacuation et de déterminer des seuils plus robustes** (Li, Cova, et Dennison 2019 ; Ronchi et al. 2019). Ces approches permettent aussi d'identifier les zones où l'évacuation risque d'être la plus difficile, en raison de la faible capacité de sortie, de la saturation possible du réseau ou des caractéristiques sociales des populations exposées (Cova et al. 2013 ; Nunes et al. 2024).

L'anticipation du comportement de l'incendie repose, elle, sur des **simulateurs de propagation dont l'usage en crise dépend à la fois du cadre de modélisation retenu, de la qualité des données d'entrée et de la manière d'intégrer l'incertitude**. Ces outils reposent sur des modèles de propagation de natures différentes. Certains sont fondés sur une représentation physique plus explicite des processus et peuvent aller jusqu'à intégrer finement la combustion et les interactions locales, mais restent souvent trop coûteux pour une conduite opérationnelle en temps réel ; d'autres se concentrent davantage sur la dynamique du front de flammes et permettent une anticipation très rapide, voire quasi instantanée, de l'enveloppe potentielle de l'incendie (Sullivan 2009b, 2009a). Ce sont principalement ces derniers qui alimentent l'analyse opérationnelle de la situation et qui sont mobilisés, par exemple, à travers des plateformes de simulation accessibles en ligne. Ils s'appuient, aux États-Unis, sur des outils diffusés de longue date, comme FARSITE (Finney 1998), et en Europe, sur des initiatives fondées sur des codes de propagation comparables, déployés dans des chaînes opérationnelles ou des plateformes nationales

## Zoom sur les indices et signaux précurseurs du basculement pouvant mener à un incendie extrême

La littérature ne met pas en évidence un indicateur unique permettant d'orienter seul la prise de décision face à un événement qui pourrait basculer. Elle décrit plutôt un ensemble d'indices complémentaires, développés pour compléter le IFM (indice forêt-météo) en situation de crise, en caractérisant la spécificité de la météorologie, certaines métriques du comportement du feu et la difficulté de suppression. La littérature sur le sujet est particulièrement riche aux Etats-Unis et en Australie où les incendies du type convectifs sont fréquents, référencés et souvent très sévères.

| Indice | Ce qu'il renseigne | Intérêt et limitations |
|---|---|---|
| **Continuous Haines (Haines)** (Mills et McCaw 2010) | Version continue de l'indice de Haines (Haines DA 1988). Lecture souvent par percentile local. | Repère les contextes favorables à des comportements erratiques ou pyro-convectifs ; Surtout Australien (Dowdy et al. 2019). |
| **HDW (Hot-Dry-Windy Index)** (Srock et al. 2018) | Combine vent, sécheresse de l'air et VPD ; lecture souvent par percentile | Repère des journées propices à un basculement ; ne renseigne pas directement l'état des combustibles. |
| **PFT (Pyrocumulonimbus Firepower Threshold)** (Tory et Kepert 2021) | Seuil minimal de puissance de feu requis, dans une atmosphère donnée, pour initier une pyroconvection profonde ; exprimé en GW. | Intéressant pour repérer des situations de rupture majeure ; encore très expérimental. |
| **EFBI (Extreme Fire Behaviour Index)** (Artés et al. 2022) | Indice de couplage feu-atmosphère fondé sur les profils verticaux ; pas de seuil universel. | Anticipe une dynamique de transition vers un incendie convectif ; encore peu standardisé mais Européen. |
| **Vapor Pressure Deficit (VPD)** (Burton et al. 2023) | Déficit de pression de vapeur de l'air en kPa : sécheresse atmosphérique. Des valeurs de 4-7 kPa, combinées à une humidité du combustible fin très faible <10 %, sont associées à des comportements extrêmes. | Indicateur complémentaire d'un basculement vers un feu plus intense ; pas de seuil universel. |
| **Longueur de flamme / intensité de ligne** (Andrews, Heinsch, et Schelvan 2011) | Usage tactique direct pour l'aide à la lutte. Longueur > 3.4 m et > 3500 kW/m = sautes de feu, feu de cimes et forte convection. | Indicateurs tactiques directs du comportement du feu. Parfois difficile d'estimer une longueur /puissance de flamme. |
| **SDI (Suppression Difficulty Index)** (Rodríguez Y Silva et al. 2020) | Indice composite de difficulté de suppression intégrant terrain, combustibles, accès et moyens | Utile pour le pré-positionnement et la priorisation ; indice relatif, dépendant du contexte opérationnel. |

et européennes (Filippi et al. 2025). **En pratique, la paramétrisation des données de distribution et des caractéristiques des combustibles, notamment en contexte européen, reste un verrou important (Dimitrakopoulos 2002), et l'intérêt opérationnel de ces outils tient surtout à leur capacité à mettre à jour les prévisions, à raisonner en scénarios et à expliciter les incertitudes, plutôt qu'à produire une trajectoire unique** (González-Olabarría et al. 2023 ; Singh et al. 2025).

Du côté des habitants, **les cartes constituent un outil pertinent pour les alertes précoces, car elles permettent de communiquer efficacement des informations spatiales complexes, malgré une réticence des agences liée à la crainte d'une mauvaise compréhension par le public**. Les travaux de Cao, Boruff, et McNeill (2016) confirment que des cartes bien conçues surpassent les messages textuels en améliorant la compréhension du risque et son appropriation. Leur efficacité repose sur une combinaison avec des consignes textuelles claires et une conception visuelle simple, intuitive et centrée sur l'expérience des usagers.

**La prise de décision** en matière de lutte repose sur des systèmes qui cherchent à structurer l'allocation des moyens, le pré-positionnement des ressources et, plus largement, le choix de l'action tactique en fonction de la situation attendue ou en cours. Ces approches restent toutefois limitées par la **qualité des données disponibles sur l'engagement effectif des moyens en intervention, par l'hétérogénéité des contextes opérationnels, ainsi que par les difficultés d'évaluation, dans un contexte où la littérature européenne demeure encore limitée**. Aux États-Unis, Duff et Tolhurst (2015) et Noonan-Wright et al. (2011) montrent que certains dispositifs, comme le *Wildland Fire Decision Support System* (WFDSS, Système d'aide à la décision en matière d'incendies), permettent de rendre la décision plus traçable et d'intégrer également des logiques d'anticipation avant même le départ du feu**. Ces approches se heurtent néanmoins à de fortes contraintes structurelles** : **rôle ambivalent des infrastructures électriques et ferroviaires, à la fois sources possibles d'ignition et leviers de réduction du risque via l'interruption préventive du service** (Babrauskas 2024 ; Nezval, Andrášik, et Bíl 2022), mais aussi **limites d'efficacité de la suppression face aux feux extrêmes**, pour lesquels l'enjeu devient moins l'extinction que la protection des personnes et des biens, la priorisation des actions et l'adaptation de l'organisation opérationnelle (Fernandes et al. 2016 ; Nicolas 2025).

**L'action et l'évaluation de l'action** sont difficiles à dissocier dans la littérature. **L'efficacité tactique ne dépend jamais des seuls moyens engagés,** mais aussi du type de feu, du moment de l'intervention, des enjeux à protéger, des conditions d'accès, de la coordination et du cadre dans lequel la menace est interprétée et traduite en décision (Penney et al. 2022). Les choix de suppression, totale ou partielle, relèvent ainsi **autant de contraintes techniques que de facteurs sociaux, environnementaux et organisationnels** (Daniels et al. 2024 ; McLennan et Eburn 2014). Cette difficulté est particulièrement visible pour les moyens aériens, dont l'efficacité dépend fortement du contexte précis d'engagement et de leur articulation avec les moyens au sol (Calkin et al. 2014 ; Stonesifer et al. 2016 ; Thompson et al. 2013). **Dans les feux extrêmes, les limites structurelles de la lutte deviennent plus nettes, et l'enjeu se déplace alors vers la priorisation, l'adaptation de l'organisation opérationnelle et la résilience** (Fernandes et al. 2016 ; Nicolas 202 ; Tedim et al. 2018) (voir Zoom sur les indices d'incendie extrême).

## Ruptures de modèles et limites opérationnelles face aux feux extrêmes

**Les feux extrêmes posent un problème particulier, car ils ne correspondent pas seulement à une intensification du feu, mais à un changement d'échelle et parfois de régime de propagation qui peut rendre toute tentative de suppression inefficace** (Kreider et al. 2024). La littérature souligne que ces situations (rencontrées dans les feux à forts impacts humains mentionnés notamment dans le Chapitre 4, Conséquences, comme Mati (Grèce), Palisades ou *Camp Fire* (Californie)) combinent des phénomènes tels que les interactions feu-atmosphère, la pyro-convection, les vents induits, la dynamique de panache ou encore les transports de brandons, qui compliquent à la fois la lecture de la situation, les comportements de mise en sécurité et l'action des secours. Lorsque le feu interagit fortement avec l'atmosphère, ces mécanismes deviennent centraux et **peuvent engendrer des propagations et des impacts que les outils standards décrivent mal**, notamment lorsqu'ils dissocient le feu de son environnement atmosphérique (Bakhshaii et Johnson 2019 ; Filippi et al. 2018). **Les sautes de feu constituent alors un aléa tactique majeur, en créant des foyers secondaires qui compliquent fortement la protection des enjeux** (Wang 2011).

Les situations à l'interface ville - espace naturel conduisent aussi à rapprocher l'anticipation de la propagation en milieu naturel de celle développée pour le milieu urbain, car l'**enjeu n'est plus seulement de suivre un front de feu, mais aussi de représenter la transmission du dommage et de l'incendie au bâti.** Ces approches nécessitent de modéliser les mécanismes de destruction des structures (Purnomo et al. 2024 ; Zamanialaei et al. 2025) et s'appuient en partie sur des modélisations physiques initialement développées pour les incendies strictement urbains, comme celle proposée par Himoto et Tanaka (2008).

Cette évolution suppose aussi de disposer d'outils de détection mieux adaptés aux situations extrêmes, ou susceptibles de signaler qu'un incendie peut basculer vers un comportement extrême. La littérature propose ainsi des indices visant à qualifier la probabilité de tels

comportements et à repérer les transitions potentielles (Artés et al. 2022 ; Werth et al. 2016). Elle montre également que certains outils de simulation du comportement du feu peuvent contribuer à cette anticipation, en particulier lorsqu'ils intègrent explicitement les interactions entre le feu et l'atmosphère ou permettent d'explorer rapidement des scénarios de propagation dans des configurations complexes (Filippi et al. 2018 ; Mandel et al. 2014). Ces travaux invitent à identifier des signaux précurseurs et à relier plus directement la météorologie, le comportement du feu et la sécurité des intervenants. Ils convergent fortement vers l'idée que lorsque certains seuils sont franchis, l'efficacité de la lutte décroît très fortement, jusqu'à rendre l'extinction directe localement impossible (voir Zoom sur les indices et les signaux précurseurs du basculement pouvant mener à un incendie extrême). Cette limite n'est pas seulement liée au manque de moyens ; elle traduit un changement de régime de contexte d'intervention, comme le documentent les retours d'expérience associés à des feux extrêmes (Athanasiou et al. 2025 ; Kreider et al. 2024).

## Lacunes de connaissance et controverses

Les **lacunes et controverses portent sur la transférabilité des résultats (souvent australiens/états-uniens) vers l'Europe et la France, car doctrines, infrastructures et niveaux de préparation diffèrent.** Le débat demeure sur la part de responsabilité individuelle pour décider d'évacuer ou non *versus* un encadrement plus prescriptif (voir Chap. 8, Urbanisme et gouvernance). L'« attendre et voir » et les évacuations tardives restent fréquents, alimentés par l'incertitude, la qualité et le timing des alertes (Handmer et O'Neill 2016 ; McLennan, Elliott, et Elliott 2012 ; Strahan et Gilbert 2021b ; Vaiciulyte et al. 2022 ; Whittaker et al. 2013).

Il existe aussi des lacunes d'analyse scientifiques des doctrines opérationnelles et sur l'usage des outils de simulation et des moyens (pré-positionnement, allocation, aviation, logistique) en Europe : quelles sorties sont réellement actionnables, comment gérer l'incertitude (scénarios/enveloppes), et comment intégrer modèles, observations et contraintes de terrain dans la décision. Les preuves restent incomplètes pour valider ces chaînes socio-techniques (données d'engagement, attribution d'efficacité, modèles de décision), d'où des recommandations souvent contextuelles et difficiles à standardiser (Calkin et al. 2014 ; Duff et Tolhurst 2015 ; Fernandes et al. 2016 ; Noonan-Wright et al. 2011 ; Thompson et al. 2013).

## Conclusion

En conclusion, la littérature montre que les dispositifs de gestion de crise incendie visent principalement à réduire l'incertitude associée aux incendies « classiques » : mieux détecter les départs de feu, anticiper leur propagation, qualifier les conditions de lutte, alerter les populations et soutenir la décision opérationnelle. **Les outils existants, i.e., observation humaine, capteurs, satellites, simulateurs, cartes, systèmes d'aide à la décision ou canaux d'alerte, permettent ainsi d'actualiser la situation, de raisonner en scénarios et d'organiser plus efficacement la réponse.** De même, les connaissances sur les comportements individuels soulignent l'importance de la préparation, de la clarté des alertes et des plans d'action préétablis pour favoriser une évacuation précoce et limiter les décisions tardives.

Cependant, **l'avènement de feux extrêmes introduit une rupture encore insuffisamment documentée. Lorsque les incendies changent d'échelle ou de régime, les repères habituels de la gestion de crise deviennent moins robustes.** La littérature répond encore imparfaitement à plusieurs questions centrales sur l'alerte face à un basculement rapide et incertain, sur l'interprétation de ces signaux extrêmes par les populations, sur la préparation de ces dernières à des scénarios extrêmes et sur les outils mobilisables pour piloter la crise lorsque l'extinction directe n'est plus l'objectif principal.

# II. 3 Urbanisme et gouvernance du risque incendie dans les interfaces urbaines

## Essentiels

L'urbanisme et l'aménagement face au risque incendie sont des leviers sous-exploités. Ils peuvent réguler l'urbanisation des zones à risques et adapter les normes de construction et d'urbanisme pour réduire les impacts et optimiser l'intervention des secours. Cependant, la mise en œuvre varie fortement selon les pays, allant de régulations strictes (Australie) à des recommandations peu contraignantes (Chili), avec la France dans une position intermédiaire.

Partout, un diagnostic mitigé constate la poursuite de l'urbanisation en dépit du risque. Les mesures de planification urbaine existantes sont principalement centrées sur le bâtiment et le quartier, ce qui est nécessaire mais insuffisant pour intégrer la vulnérabilité sociale et les dynamiques socio-écologiques. En outre, ces mesures n'ont pas été conçues pour prendre en compte le changement climatique et nécessitent d'être adaptées. Il en va de même des infrastructures critiques (réseaux électriques, eau).

**Les outils existants, tels que les Plans de Prévention des Risques Incendie de Forêt (PPRIF) en France, se heurtent à des obstacles majeurs : coûts élevés, lenteurs des processus administratifs et rigidité face à l'évolution des territoires. En 2025, seulement 286 PPRIF étaient approuvés pour plus de 7000 communes exposées.**

Après un incendie, les stratégies de reconstruction varient entre *statu quo*, adaptation et transformation (changement de modèle), cette dernière étant rarement mise en œuvre. Les exemples grecs et américains montrent que les reconstructions s'attaquent rarement aux causes profondes des catastrophes, faute de volonté institutionnelle ou de moyens.

Face à l'inévitabilité des incendies **et pour une véritable résilience, la littérature recommande une approche systémique articulant gestion du risque, lutte contre le changement climatique et aménagement du territoire**, pour éviter des solutions court-termistes aggravant les risques futurs. Cela implique la coordination entre acteurs à toutes les échelles dans une logique d'apprentissage et de flexibilité.

Ces solutions n'ont pas vocation à se substituer à la doctrine actuelle mais à la compléter avec des approches ajustées aux contextes locaux. Elles supposent d'intégrer le risque dans les choix de développement et d'organisation collective à toutes les échelles car la protection de la ville ne peut se faire sans coordination avec la gestion des zones environnantes.

Des initiatives comme les « communautés adaptées au feu » prouvent que cette voie est possible, à condition de bénéficier d'un réel portage politique. Cela nécessite donc de former les décideurs et de construire l'adhésion de la population autour d'une responsabilité partagée, mais différenciée, pour apprendre à vivre avec le risque.

La multiplication des incendies destructeurs observés ces dernières années dans les interfaces met en évidence les difficultés croissantes des pouvoirs publics à faire face à des incendies se développant à proximité immédiate des zones urbaines, y compris dans des territoires densément peuplés et soumis à des dispositifs d'urbanisme et de prévention stricts. Ce constat conduit la littérature scientifique à interroger les formes d'urbanisation, les choix d'aménagement et les cadres de gouvernance, considérés comme des déterminants structurels majeurs de l'exposition et de la vulnérabilité des territoires face aux incendies de végétation. L'urbanisme et ses procédures sont également considérés comme des leviers majeurs de la réduction des vulnérabilités territoriales.

Ce chapitre analyse la manière dont le risque incendie est pris en compte dans l'aménagement du territoire, l'urbanisme et les dispositifs de gouvernance, en mettant en évidence les limites des approches actuelles, les tensions entre objectifs visés par les pouvoirs publics et les pistes d'évolution

identifiées dans la littérature. Il s'appuie sur un corpus pluridisciplinaire (urbanisme, géographie, sciences politiques), combinant travaux quantitatifs, analyses qualitatives et approches comparatives. Si les structures institutionnelles sont très différentes selon les pays, certaines dynamiques politiques et sociales clés présentent de nombreuses similitudes.

## Le risque incendie dans la planification urbaine

L'aménagement et l'urbanisme, entendus comme un continuum d'actions allant de la planification au design urbain, interviennent face au risque incendie selon deux registres principaux. D'une part, ils visent à réduire les impacts des incendies par la réglementation des formes bâties et de leur implantation dans les zones identifiées comme les plus exposées. D'autre part, ils conditionnent la capacité des services de lutte à protéger les vies humaines, les biens et les infrastructures, en organisant l'espace de manière à faciliter l'accès, l'intervention des équipes de secours et la gestion de la population (Gonzalez-Mathiesen et March 2018 ; Penney et al. 2024) (voir Tabl. 5).

**La littérature souligne ainsi que l'intégration du risque incendie dans l'urbanisme et l'aménagement du territoire est indispensable à la sécurisation des personnes et des biens** (Galiana-Martín 2017 ; Moritz et al. 2014).

Les deux principales manières de réguler l'urbanisation dans les zones à risque sont **le zonage pour interdire la construction dans les zones à plus haut risque** ; d'autre part, **les règles locales d'urbanisme visant l'adaptation des bâtiments et des formes urbaines pour réduire leur vulnérabilité à l'incendie**, par exemple en privilégiant les configurations qui réduisent l'étendue de l'interface, en créant des zones tampons et en prévoyant des équipements destinés à faciliter l'intervention des secours. Ces deux formes de régulation ne sont pas exclusives l'une de l'autre et peuvent se combiner (Galiana-Martín 2017). La réduction de la vulnérabilité peut intervenir à deux moments : soit des mesures *ex ante* en laissant les zones les plus exposées non urbanisées et, d'une manière générale, en limitant les modes d'urbanisation dans les zones à risque ; soit par des mesures *ex post*, visant à adapter la situation existante afin de réduire la vulnérabilité de ces zones, en agissant sur la charge combustible de la végétation et des matériaux de construction (Galiana-Martín 2017) (ce que l'on appelle en réalité couramment la prévention (voir Chap. 6, Prévention)).

**Cependant, les travaux convergent également pour montrer que cette prise en compte du risque dans l'aménagement et l'urbanisme demeure insuffisante.** Elle est très hétérogène d'un pays, voire d'une région à l'autre. **Le pays le plus strict et normatif est l'Australie qui intègre le risque à la fois dans le code de la construction** (comment et avec quels matériaux il faut construire) **et dans l'urbanisme** (les règles de constructibilité qui définissent l'organisation spatiale, les types d'activités autorisées et l'équipement des quartiers) **selon un zonage basé sur des critères quantitatifs d'exposition au feu** (le niveau de flux de chaleur radiative ne doit dépasser 29 kW/m² pour l'habitation, et 12,5 kW/m² pour les usages vulnérables tels que les écoles, les hôpitaux et

| Réduire la sensibilité | Améliorer la capacité de réponse |
|---|---|
| • Prise en compte de l'exposition à l'aléa en fonction du paysage et du comportement probable du feu<br>• Gestion de la densité, de l'emplacement et de la conception des bâtiments, y compris la réduction de leur vulnérabilité aux brandons, par l'intégration de normes de construction et d'urbanisme adaptées au contexte local<br>• Séparation adéquate entre les bâtiments et les sources de chaleur et de flammes, en tenant compte de la topographie, de la végétation, des conditions météorologiques probables et de tout autre facteur pertinent<br>• Gestion ou modification de la végétation, de l'aménagement paysager ou d'autres sources de combustible (dépendances, citernes, etc.)<br>• Protection des infrastructures et activités les plus vulnérables (écoles, campings, etc.) | • Prise en compte de la disponibilité, de la capacité, de la localisation et des temps d'intervention des services de secours<br>• Facilitation de l'accès et de l'intervention des services de secours, y compris par l'intégration de coupures de combustible comme zones de défense active ou d'évacuation<br>• Garantir la disponibilité de l'eau pour la lutte contre l'incendie : emplacement des points d'eau, disponibilité de la ressource, connectivité du réseau et signalisation appropriées<br>• Gestion de la diversité des réponses de la population, notamment la recherche d'un refuge, l'évacuation ou la défense active |

**Tableau 5 :** Les 9 principes de réduction de la vulnérabilité par la planification urbaine selon (Gonzalez-Mathiesen et March 2018).

les maisons de retraite). En Californie, les éléments relatifs à l'espace défendable autour des constructions n'ont fait l'objet que très récemment d'un durcissement des normes (voir Chap. 6 Prévention) suite à la loi AB 3074 appliquée à partir de 2024. **A l'autre bout du spectre figurent des pays dont l'approche repose quasi uniquement sur des recommandations et des guides pratiques (Canada)**, voire caractérisés par une faible prise en compte (Chili). **La France est considérée comme dans une situation intermédiaire** puisqu'elle mise surtout sur une combinaison de règles ou de recommandations d'urbanisme et sur la gestion de la végétation et des distances de sécurité via les obligations légales de débroussaillement, moins sur les règles constructives de durcissement des bâtiments (Penney et al. 2024).

### Les pistes d'amélioration des outils de planification et de leur mobilisation

Dans le cas français, la littérature reconnaît la pertinence d'outils tels que les plans locaux d'urbanisme (PLU) et les plans de prévention des risques d'incendie de forêt (PPRIF) pour encadrer l'urbanisation et réduire l'exposition future. Ces instruments constituent des leviers importants pour introduire le risque incendie dans les décisions d'aménagement (Kocher et Butsic 2017). Néanmoins, **alors que le dispositif existe depuis 1995, seuls 286 PPRIF avaient été approuvés en 2025 pour 7130 communes considérées comme exposées aux incendies** (source : base GASPAR). Cela s'explique par de fortes oppositions locales, par leur coût d'élaboration et de mise en œuvre (Bouisset et Vanneufville 2018 ; Sanseverino-Godfrin et Le Goff 2003). Leur caractère statique face à l'évolution rapide de l'occupation du sol et de la végétation (plusieurs années pour les adopter et pour les réviser quand un bâtiment se construit en quelques mois ou qu'une forêt peut disparaître en quelques heures) tend également à les rendre rapidement obsolètes (Zhang et al. 2025), ce qui nuit à la crédibilité et à l'acceptation de ce type de plan (Tedim et al. 2023). Les auteurs soulignent alors la **nécessité d'approches de planification plus précises sur les diagnostics territoriaux à l'origine des plans, mais aussi plus dynamiques et adaptatives**. C'est pourquoi une des rares études sur le sujet suggère aussi qu'il pourrait être moins coûteux d'intégrer les mesures de réduction du risque dans les plans locaux d'urbanisme plutôt que de recourir à des plans spécialisés lourds à élaborer et difficiles à généraliser à tous les territoires à risque (Kocher et Butsic 2017). Ainsi, **la littérature souligne moins le besoin de créer de nouveaux instruments que de mieux mobiliser l'existant, y compris en articulant mieux les plans de différents niveaux entre eux (quartier, agglomération, région, etc.)** (voir Zoom sur l'alignement des plans en Californie).

Plusieurs travaux mettent aussi en évidence **le besoin d'évaluer l'efficacité et de valider scientifiquement les règles de construction et d'urbanisme** (Penney et al. 2024), y compris en France. C'est le cas par exemple de la **conception de la voirie, très centrée sur l'accès des engins de secours mais moins sur la question de l'affluence en situation de crise et des divers comportements possibles du feu pour éviter que des personnes tentant d'évacuer soient piégées par le front de flammes** (Cova 2005). Il en va de même de la **robustesse des réseaux d'eau qui ne sont pas dimensionnés pour faire face à des conditions extrêmes** (Pastor et al. 2020). Or la gestion des incendies passe aussi par une prise en compte des dispositifs de gestion des infrastructures critiques, telles que les lignes électriques (Kalapodis et al. 2025) (voir Zoom sur l'enjeu des infrastructures critiques).

À ces difficultés techniques s'ajoutent fréquemment des arbitrages économiques et politiques favorables à la poursuite de l'urbanisation dans les zones à risque. **Partout, les autorités préfèrent jouer sur la gestion du combustible plutôt que sur l'éviction de l'habitat, ce qui contribue à accroître les populations et les biens exposés**

### Zoom sur l'enjeu des infrastructures critiques

Les zones d'interface péri-urbaines accueillent des infrastructures essentielles. Cette dimension du risque est souvent sous-évaluée et nécessite la mise en œuvre de stratégies de prévention et de contrôle susceptibles d'améliorer la résilience globale du système. Kalapodis et al. (2025) soulignent que l**es systèmes d'infrastructure, vitaux pour le fonctionnement social, sont mal préparés aux perturbations en cascade causées par les incendies**. Les auteurs citent plusieurs incendies extrêmes qui ont produit des effets destructeurs : pannes d'électricité, rupture des télécommunications, interruption des transports, interruption de la distribution d'eau, destruction d'équipements urbains comme l'éclairage. L'analyse des modalités de gestion des infrastructures critiques montre l'importance de ces éléments matériels des paysages urbains (lignes électriques, conduites d'eau, etc.) qui attirent moins l'attention que l'habitat. Si les mécanismes d'expansion des zones périurbaines peuvent échapper, au moins partiellement, à la décision publique via des initiatives privées difficiles à contrôler, il sera attendu que les autorités assurent la sécurité des installations essentielles à la survie de la population et au maintien des activités économiques.

(Galiana-Martín 2017). Pour les pouvoirs publics de ces zones, faire évoluer le modèle d'urbanisation demanderait des changements structurels difficiles à mettre en œuvre car coûteux et complexes : les décisions passées en matière d'urbanisation sont difficilement réversibles, ce qui crée une dépendance au sentier[23] et rend difficile l'adoption d'autres voies (Papadopoulou et al. 2025). Les suites des incendies meurtriers de 2018 en Grèce illustrent ce phénomène (voir Zoom sur la Grèce). C'est pourquoi, le besoin de formation des professionnels de la construction et de l'urbanisme et des décideurs locaux sur le risque incendie et les moyens de l'atténuer, est mis aussi en évidence (Mockrin, Fishler, et Stewart 2020).

### Gestion post-crise : reconstruire, adapter ou transformer ?

La littérature montre que **trois types de stratégies de réduction du risque post-crise sont théoriquement possibles : (1) résistance** (préservation du statu quo) ; **(2) adaptation** (amélioration de l'existant) ; (**3) transformation** (capacité à créer de nouveaux modèles lorsque les modèles existants ont montré leur inefficacité). Ces niveaux d'intervention déterminent le degré de résilience du nouveau système. Le maintien du statu quo initial signifie que le degré de vulnérabilité reste inchangé. En pratique, **l'adaptation et plus encore la transformation, sont souvent rendues difficile par une pluralité de facteurs et de contraintes techniques, administratives, économiques** (Mockrin et al. 2015), voire de divergences sur les choix à opérer, par exemple entre urbanistes et services de secours.

La comparaison de deux cas de reconstruction post-incendie en Californie et Caroline du Nord (Mockrin et al. 2022) montre que la rapidité de la reconstruction dépend d'une pluralité de facteurs propres aux territoires étudiés : existence ou pas d'une régulation forte en termes de normes de reconstruction sur les matériaux employés, les délais à respecter, etc., donnant des situations réglementaires très différentes entre Californie et Caroline du Nord ; dynamique immobilière du secteur dépendant directement de la localisation, suburbaine ou exurbaine, du quartier concerné ; domination de l'acteur « pompier » sur les services d'urbanisme qui bloque la reconstruction quand il faudrait déroger aux normes incendie pour reconstruire rapidement… **Les études de cas états-uniens montrent pour l'essentiel une reproduction des formes urbaines existantes** (Kramer et al. 2021 ; Mockrin et al. 2022), **qui s'accompagne d'adaptations visant à mieux intégrer le risque dans le bâti (matériaux de construction par exemple). Celles-ci sont toutefois bien moins contraignantes que dans les zones nouvellement urbanisées** (Kramer et al. 2021). Dans

### Zoom sur la reconstruction après les incendies de 2018 en Grèce

La manière dont le gouvernement grec a réagi à l'évènement extrême des feux de Mati (Attique, 2018, 102 morts) est révélatrice des difficultés à opérer des changements structurels dans une zone périurbaine connue pour être l'une des plus risquées d'Europe (Oikonomou, Avramidou, et Psomiadis 2025 ; Pellas 2021). Après l'incendie et la grave crise politique qui s'en est suivie, un plan urbain spécial a vu le jour en 2020, le premier du genre à intégrer mesures de protection, enjeux climatiques et conditions météorologiques extrêmes. Ce plan s'articule autour de deux axes :

- amélioration des conditions de résidence urbaine ;
- restauration rapide de la végétation.

Onze objectifs prioritaires sont définis qui portent sur la régulation des usages et activités, la résilience face aux effets du changement climatique, l'amélioration du cadre de vie des citadins, l'accessibilité et la planification du trafic, l'amélioration du réseau routier, etc.

Mais ces interventions techniques à l'aval du désastre ne traitent pas réellement de ses causes, à savoir les cloisonnements administratifs entre gestion du risque et planification urbaine qui ont laissé se développer pendant des décennies une urbanisation non réglementée dans les zones à haut risque. Ainsi, l'organisation du territoire qui prévalait avant l'incendie, n'est pas véritablement modifiée après. En termes de gouvernance, Papadopoulou (2025) décrit la « dépendance au sentier » qui amène les institutions à reproduire des décisions passées du fait de pratiques administratives bien ancrées et de l'absence de mécanismes de responsabilisation. Pour contrer ces effets indésirables, les auteurs proposent des changements stratégiques, dans un agenda de réforme partagé : établissement de règles de zonage rendant obligatoires des exercices annuels, adaptés au profil du risque local ; amélioration de l'interopérabilité entre services grâce à des entraînements mutualisés et des plateformes de communication partagées ; création d'un système de commandement d'incident ; mécanismes de responsabilisation renforcés. (Papadopoulou et al. 2025).

[23] La dépendance au sentier est un terme initialement utilisé en économie de l'innovation pour désigner la difficulté à changer de trajectoire du fait des contraintes liées aux choix passés.

quelques rares cas dépendant autant des dynamiques des fronts d'urbanisation que des contraintes posées par la réglementation locale, **une sortie d'urbanisation peut toutefois se produire** (Mockrin et al. 2022).

Enfin, plusieurs travaux mettent en évidence que **ces processus de reconstruction peuvent accentuer des inégalités sociales et territoriales**, notamment lorsque cette reconstruction s'accompagne de transformations des usages et des populations, d'une hausse des coûts fonciers et immobiliers ou d'un renchérissement des coûts de construction du fait de nouvelles normes de sécurité. Dans les faits, **l'adaptation et l'urbanisme résilient peuvent poser des questions d'équité envers les sinistrés** (Lambrou et al. 2023).

## Trajectoires territoriales et aménagement

Comme le montre l'exemple grec (voir Zoom sur la Grèce), les incendies s'inscrivent dans des trajectoires territoriales et temporelles plus larges que le seul moment de la crise, incluant les processus d'urbanisation et de requalification des espaces touchés. Si les efforts de régulation cherchent à éviter l'urbanisation dans les zones les plus à risque et à privilégier des formes urbaines moins vulnérables en réduisant le linéaire de contact entre le bâti et la végétation, **le modèle de l'habitat pavillonnaire lui-même est peu remis en question** (Galiana-Martín 2017). De même, **l'adaptation du bâti et des infrastructures existants demeure rare** car parfois techniquement difficile (voir Chap. 6, Prévention) et surtout coûteuse. Thomas J. Cova (2005) montre, à propos du cas des États-Unis, que si un nouveau lotissement doit répondre à certaines normes d'accessibilité, l'extension progressive des zones urbanisées et l'augmentation de la population en découlant donnent rarement lieu à un re-calibrage du réseau viaire existant alors que celui-ci n'a pas forcément été conçu pour absorber l'augmentation du trafic générée, en particulier en cas de crise. Par conséquent, il devient nécessaire de **penser la question du risque non seulement à l'échelle de la propriété et du quartier, mais également en pensant à long terme les dynamiques d'urbanisation et en prenant en compte les besoins liés à l'avancée future des fronts d'urbanisation et aux conséquences de l'arrivée de nouvelles populations.** L'intégration des interfaces dans le processus d'urbanisme et leur conception en tant qu'espaces dont l'entretien est assuré de façon pérenne grâce à d'autres activités (agriculture urbaine, parcs de loisirs, terrains de golf, etc.) permettrait d'ailleurs de les sécuriser (Galiana-Martín 2017).

**Un résultat robuste de la littérature est donc la nécessité d'une approche multiscalaire du risque incendie** (Charnley et al. 2015) **car les interfaces urbaines ne peuvent pas être sécurisées efficacement par des mesures mises en œuvre uniquement à l'échelle du bâtiment ou du quartier** ; cela suppose de prendre en compte :

- les dynamiques urbaines,
- l'avancée de l'urbanisation et les formes de développement résidentiel à faible densité — y compris informelles.
- le problème dépasse clairement les limites municipales et nécessite une approche supra-locale.

Néanmoins, cette dernière se heurte souvent au cadre réglementaire de l'aménagement du territoire, dont le champ d'application préférentiel (et parfois exclusif) pour les réglementations contraignantes se situe à l'échelle locale/municipale. Or, **une politique de prévention efficace exige une intégration globale des zones naturelles et des zones urbaines concernées afin d'assurer une cohérence qui ne peut résulter d'une approche purement municipale** (Galiana-Martín 2017). Les enjeux dépassent donc les frontières de la ville et nécessitent une réelle planification territoriale régionale puisque les dynamiques socio-écologiques des espaces naturels, forestiers et agricoles environnants conditionnent la disponibilité en combustible et les modalités de propagation du feu. **Les évaluations des effets de répartition et d'allocation des mesures de gestion du combustible montrent ainsi clairement que la gestion de la végétation dans les zones urbanisées est indispensable mais ne suffit pas si elle ne s'accompagne pas d'une sécurisation des bâtiments par les résidents d'un côté et de la gestion du combustible dans les zones naturelles et rurales environnantes par les pouvoirs publics et les propriétaires fonciers de l'autre** (Busenberg 2004 ; Essen et al. 2023).

À cet égard, de rares travaux soulignent la nécessité d'articuler le traitement des différentes problématiques environnementales : Syphard et al. (2016) montrent que les choix d'aménagements (zones à préserver ou à urbaniser) peinent à **prendre en compte à la fois la prévention de l'incendie et la conservation de la biodiversité mais qu'un compromis est possible en empêchant l'urbanisation, particulièrement dans les zones qui ont à la fois un fort enjeu sur la biodiversité et qui présentent un aléa feu important**. Escobedo et al. (2024) évoquent pour leur part l'**importance des services écosystémiques des forêts urbaines et de la perte de ces services à cause des incendies** (comme l'a montré en France l'incendie de la forêt urbaine du Pignada à Anglet en 2020, avec 70 ha brûlés et la destruction de plusieurs maisons et d'équipements récréatifs). Ils évoquent aussi les dis-services (inconvénients) liés aux arbres en ville, notamment leur sensibilité au feu. Les auteurs soulignent que **la notion d'interface est conçue pour rendre compte de la configuration des périphéries urbaines et que les effets des incendies sur les forêts urbaines, les paysages et les arbres en milieu urbain (jardins, espaces verts, etc.) restent mal documentés**.

## Gouvernance du risque incendie dans les interfaces : donner davantage de place aux citoyens

La littérature expose que les dispositifs de gouvernance du risque incendie dominants en Europe sont encore largement structurés autour de **cadres institutionnels descendants qui intègrent peu la complexité des dynamiques sociales, les acteurs locaux, les usages du territoire et qui peinent à associer les populations à la prise de décision** (Mockrin et al. 2020 ; Smith et al. 2016). Or le changement climatique (voir Chap. 5, Changements globaux) contribue fortement à en questionner l'efficacité et la soutenabilité (Calkin et al. 2014 ; Tàbara, Saurí , et Cerdan 2003). **Dans ce contexte, il y a un consensus scientifique de la littérature sur la gouvernance pour appeler à un changement de paradigme.** Selon Moritz et al. (2014), il est peu probable qu'un régime de planification ou de gestion puisse exclure complètement les incendies des zones vulnérables. **La capacité des populations à faire face à l'inévitabilité des incendies, ainsi qu'à leurs effets à plusieurs échelles, sera donc essentielle.**

Les recherches montrent que les choix de doctrine et de répartition des responsabilités ne sont pas uniquement techniques, mais reflètent également des contraintes sociales, des enjeux politiques et des contextes environnementaux spécifiques (Daniels et al. 2024). **La question du partage des responsabilités entre institutions et citoyens est un enjeu de gouvernance crucial.** La protection des interfaces suppose l'acceptation et la mise en œuvre par les résidents de mesures contraignantes imposées ou recommandées par les autorités. **La confiance des citoyens dans les institutions** renforce l'impact de l'information sur la perception qu'ils ont du risque et favorise l'acceptation de ces mesures (Asfaw, Christianson, et Watson 2022 ; Jakes, Burns, et al. 2007). Deux profils d'individus se distinguent : les individualistes avec une confiance limitée dans les institutions, et ceux qui, au contraire, attendent une responsabilité partagée ou exclusive de ces dernières (Bright, Newman, et Carroll 2007). Si le sentiment de responsabilité personnelle incite à l'adoption de comportements de réduction des risques (Faulkner, McFarlane, et McGee 2009), **une confiance excessive dans les services de secours peut créer un sentiment de fausse sécurité** et réduire la préparation individuelle (Hamilton et al. 2018). **À l'inverse, la responsabilisation excessive des citoyens peut aboutir à la mise en danger des plus vulnérables** comme les pouvoirs publics australiens ont dû le reconnaître après le *Black Saturday* de 2009 (Buxton et al. 2011).

**La confiance sociale repose sur la similarité perçue entre les valeurs des citoyens et celles des institutions. Elle influence davantage la coopération que des éléments purement rationnels, ce qui explique que les dispositifs d'information basés sur des informations techniques ne sont pas toujours efficaces.** Alors qu'un manque de transparence ou des processus administratifs lourds peuvent nuire à la confiance (Fischer et Charnley 2012 ; McCaffrey 2015 ; Toman et al. 2013), **l'implication des services en charge de la gestion du risque dans les réseaux et la vie locale renforce la confiance réciproque** (Everett et Fuller 2011 ; Jakes, Kruger, et al. 2007) (voir Zoom sur Montecito).

### Zoom sur Montecito, un modèle de gouvernance réussie face au Thomas Fire (Californie, 2017) (Kolden et Henson 2019)

Le cas de Montecito peut être cité comme un exemple de gouvernance collaborative réussie, entraînant une minimisation des dégâts et une absence de décès lors d'un des plus importants incendies en Californie (seulement 7 maisons détruites alors que des centaines étaient directement menacées). Même si des facteurs biophysiques ont également contribué à une situation favorable, il apparaît que la stratégie de protection, mise en place pendant deux décennies, a facilité la mise en protection des habitats et l'intervention des pompiers. Cette stratégie a impliqué une collaboration non seulement entre les agences gouvernementales et les résidents (dialogue direct, accompagnement vers des solutions adaptées, soutien en cas de besoin pour mettre en œuvre la protection des habitations, etc.), mais aussi inter-agences et entre résidents grâce au *Fire Safe Council* créé en 1997, puis un CWPP en 2016 (voir Chap. 6 Prévention). L'embauche de spécialistes du risque d'incendie, qui passent la majorité de leur temps sur le terrain à établir des relations directes avec les propriétaires pour trouver des solutions personnalisées, a permis d'instaurer la confiance entre acteurs tout au long de ces années de collaboration et de lever les obstacles limitant la réduction de la vulnérabilité : les barrières linguistiques (communication adaptée aux populations hispaniques), culturelles (levée de la méfiance envers les institutions et meilleur respect des consignes d'évacuation), liées au handicap (élaboration de plans d'évacuation pour les personnes dépendantes) et économiques (adoption de solutions accessibles ou subventionnées pour les ménages et lotissements).

## Les modes de gouvernance alternatifs

**La littérature appelle ainsi à une évolution conjointe des pratiques d'aménagement et des modes de gouvernance** (Moritz et al. 2014 ; Tedim, Leone, et Xanthopoulos 2016) en soulignant **l'intérêt d'approches plus flexibles, plus participatives et mieux adaptées aux dynamiques socio-écologiques locales.** L'article de revue de Alvis, Mendoza, et Sossa (2025) montre ainsi la nécessité de faire évoluer les politiques publiques face à l'augmentation des feux extrêmes. Cette littérature se concentre sur l'optimisation opérationnelle (mieux gérer les évènements), l'amélioration

### Zoom sur 5 principes d'une approche de la gouvernance par la complexité (Essen et al. 2023)

- Accepter la pluralité des connaissances et intégrer délibérément des perspectives autres que l'expertise technique (comme les savoirs vernaculaires) ;
- Utiliser des stratégies d'engagement inclusives et transparentes qui intègrent des processus d'apprentissage collaboratif, même si les processus participatifs sont plus longs à mettre en place ;
- Inclure les groupes sous-représentés dans les réseaux de gouvernance des risques liés aux incendies de végétation ;
- Tenir compte des répartitions potentiellement inégales des risques et des ressources pour faire face ;

Moins concentrer les investissements sur la réduction des combustibles, la préparation et l'intervention et les répartir sur différentes échelles temporelles en allouant plus de ressources à un éventail plus large de mesures en amont des incendies, comme l'adaptation des constructions.

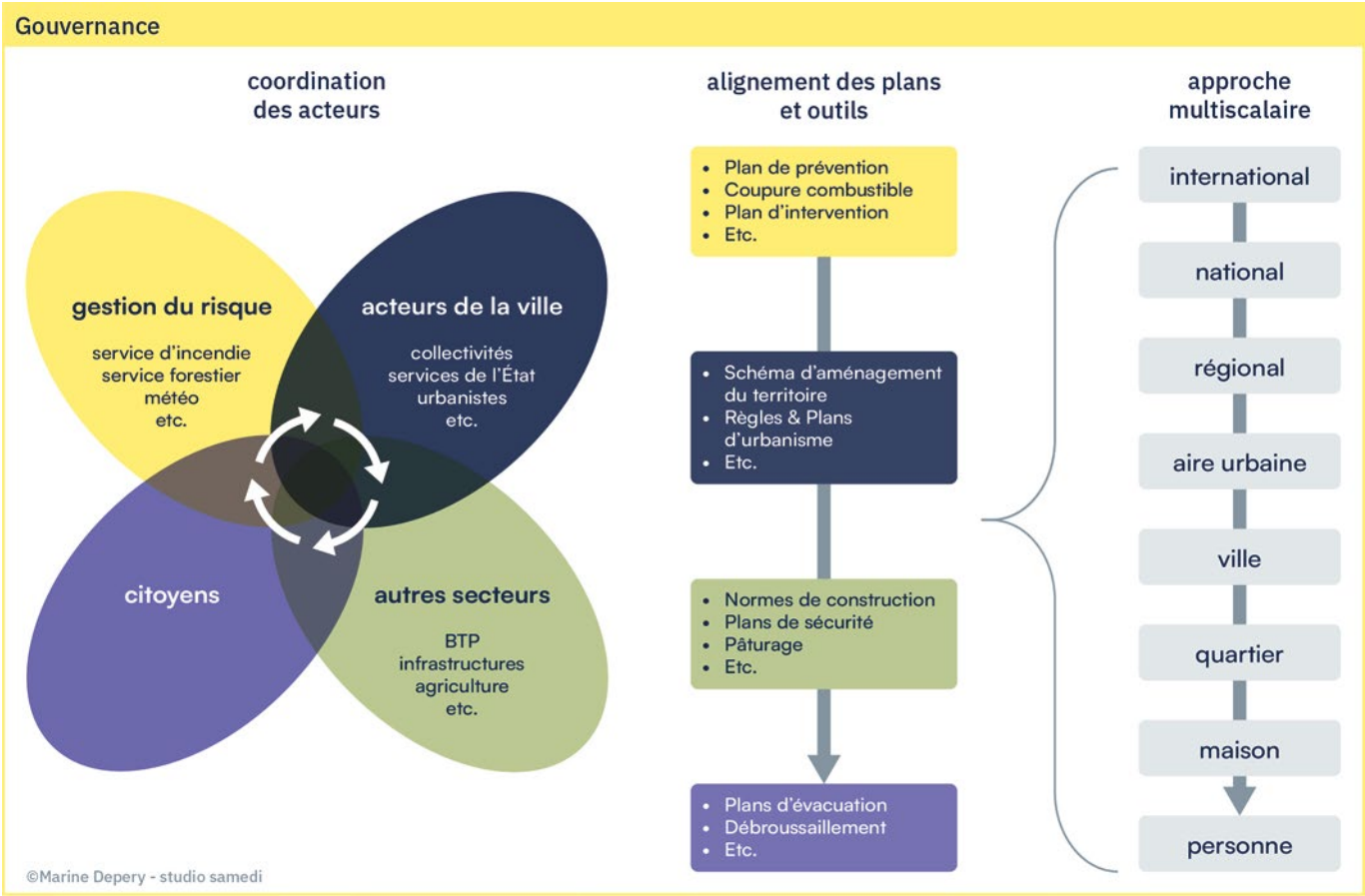



**Figure 21 :** L'articulation des acteurs et des échelles dans la gouvernance du risque

des systèmes de diagnostic territorial et d'alerte (mieux connaître les quartiers pour mieux prévoir), la gouvernance multi-échelle (mieux se coordonner), la cohérence réglementaire et le respect des normes légales (mieux appliquer les mesures), et l'implication des populations locales dans la gestion du risque (Burton et al. 2024).

Ces travaux convergent pour plaider en faveur **d'une approche globale du risque incendie** (voir Fig. 21 qui en synthétique les principes) :

- intégrant prévention, résilience et adaptation déclinées sur différents horizons temporels (et pas seulement sur le temps court) ;
- reposant sur l'anticipation à l'horizon de plusieurs années et décennies et non sur une approche historique du risque (basée sur des aléas de référence et des évènements passés), rendue obsolète par les changements climatiques et environnementaux ;
- permettant de mettre en cohérence les politiques climatiques, de protection contre les incendies et de gestion des catastrophes autour d'une vision partagée de la résilience territoriale.

**Ces propositions, qui n'ont pas pour vocation de remplacer les mesures actuelles mais de les compléter, reposent notamment sur la notion de complexité**. Cette complexité considère la relation entre les humains et les milieux naturels **sous l'angle de systèmes humains et naturels couplés** et la définit comme un ensemble diversifié de sous-systèmes dont les interactions génèrent des équilibres multiples, de l'imprévisibilité et des effets contingents. Ainsi, **il est possible que des actions initiées pour réduire des risques de court terme génèrent une élévation du risque sur le long terme**. Certaines décisions peuvent donc catalyser des effets déstabilisateurs non désirés. **Inversement, des décisions adaptées peuvent produire des effets de stabilisation**. La notion de complexité remet donc en cause les notions traditionnelles de stabilité et de prévisibilité qui ont fondé quantité de décisions en matière de gestion des risques (Spies et al. 2014) (on parle par exemple en France de « plans de prévention des risques naturels prévisibles »).

**Comme le risque d'incendie a peu de chances d'être éliminé, et qu'il évoluera au fil du temps, cela supposera que les approches soient révisées de manière itérative, en s'appuyant sur des occasions fréquentes et régulières d'apprentissage** (Moritz et al. 2014). Cela implique, en France comme ailleurs, d'**investir** dans les systèmes de gouvernance des incendies, c'est-à-dire **dans l'architecture sociale qui soutiendra l'action collective et l'innovation** de manière à mieux répondre à l'évolution des risques sur le terrain (Essen et al. 2023).

### La mise en cohérence des instruments et la mobilisation des acteurs

Quels que soient les choix de gouvernance, des auteurs soulignent la nécessité de penser non une accumulation mais un renforcement mutuel des différents dispositifs mis en place entre planification, urbanisme et gouvernance partagée, entre les différents niveaux de décision mais aussi entre acteurs du risque incendie et autres secteurs d'activités (construction, infrastructures critiques, etc.). Par exemple, aux États-Unis l'horizon d'action des zones gouvernées par des *Fire Safe Councils* est de proposer à court terme, pour s'y articuler, des Plans de prévention (CWPPs) (Everett et Fuller 2011) (voir Zoom sur l'alignement des plans de gestion du risque incendie).

**Ainsi, les Plans Généraux fixent les orientations globales en matière d'aménagement - urbanisme, les Plans de réduction des aléas naturels les déclinent en mesures techniques, et les Plans communautaires de protection contre les incendies les ancrent dans les pratiques**

### Zoom sur l'alignement des plans de gestion du risque incendie

En Californie, trois types de plans sont supposés s'articuler pour aborder les incendies :

Les Plans Généraux (GPs) servent de cadre stratégique pour l'urbanisme, intégrant les risques d'incendie dans les politiques d'aménagement (densité, localisation des constructions, normes de sécurité).
Les Plans de réduction des aléas naturels (*Hazard Mitigation Plans* - HMPs) concernent tous les types de risques. Pour les incendies, ils se concentrent sur la réduction des vulnérabilités techniques (gestion des combustibles, renforcement des bâtiments) et organisationnelles (coordination des secours).

Les Plans communautaires de protection contre les incendies (*Community Wildfire Protection Plans* - CWPPs) (voir Chap. 6, Prévention) sont spécialisés dans la prévention et la préparation communautaire aux échelles locales. Ils sont souvent élaborés dans le cadre des conseils *Fire Safe*.

**locales**. Leur efficacité dépend cependant de leur coordination et de leur adaptation aux contextes locaux. C'est pourquoi le Bureau du gouverneur de Californie pour la planification et la recherche a publié des boîtes à outils d'alignement des plans (*Plan Alignment Toolkits*), dont un Guide d'alignement des plans de résilience aux incendies (*Wildfire Resilience Plan Alignment*). Ces **outils offrent des méthodes de coopération pour coordonner et harmoniser une série de plans aux périmètres et objectifs variés à l'échelle locale et régionale, afin d'établir des objectifs communs, un langage partagé, des stratégies de réduction du risque cohérentes et des processus collaboratifs**. Malgré ces efforts, Zhang et al. (2025) montrent cependant que les plans sont bien alignés sur l'identification et l'objectif de réduction des risques mais pas encore sur les stratégies et les mesures mises en œuvre, la reconnaissance et l'évaluation des vulnérabilités sociales, l'implication du public, ainsi que le suivi et l'évaluation des plans.

D'autres travaux américains sur l'adhésion ou la résistance des populations aux mesures de prévention, montrent que l'inadaptation de certains plans de prévention aux publics et aux contextes locaux explique une partie de leurs difficultés d'application (Paveglio et Shriner-Beaton 2024). C'est pourquoi, ils ont développé **des typologies de communautés locales** (« quartier périurbain planifié », « quartier à haut niveau d'agrément et de ressources » — c'est-à-dire riche et avec résidences secondaires —, etc.) **qui montrent la diversité, selon les contextes, des comportements face au risque et aux outils de prévention**. Ces typologies peuvent permettre de **doter les acteurs de clés de compréhension des dynamiques sociales locales et de proposer des solutions adaptées** à chaque contexte (Billings, Carroll, et Paveglio 2020 ; Paveglio et al. 2015). Les chercheurs concernés traduisent leurs travaux académiques en propositions opérationnelles : par exemple, le *Fire Adapted Communities Learning Network* (FAC Net)[24] (Paveglio, Schmidt, et Medley-Daniel 2024), financé par des agences fédérales, regroupant professionnels locaux, résidents et d'autres parties prenantes, promeut une approche complexe de la gestion des risques basée sur les apprentissages et le partage d'outils collaboratifs (Essen et al. 2023). **Les travaux de recherche appliquée qui promeuvent ces solutions s'affinent désormais en mettant en évidence la nécessité de davantage prendre en compte la diversité interne des communautés locales** et les inégalités sociales qui peuvent y exister (Lambrou et al. 2023 ; Paveglio et Shriner-Beaton 2024).

**Quelques démarches de recherche action sur la gouvernance du risque sont également recensées en Europe,** notamment dans la péninsule ibérique (Tàbara et al. 2003 ; Tedim et al. 2016), mais elles concernent davantage les zones rurales que les interfaces ville - espace naturel. On peut mentionner cependant le **test par** Greiving et al. (2012) **d'une « gouvernance paramétrique »**, centrée sur les résultats (A quoi veut-on aboutir ? Que faut-il faire pour y arriver ?) et la collaboration, en rupture avec les modèles traditionnels, descendants et axés sur les moyens. Cette méthode participative (incluant un diagnostic initial via une analyse SWOT[25]), s'adapte aux spécificités territoriales des risques, en intégrant les acteurs locaux. Testée dans des contextes variés — crues soudaines à Dortmund (Allemagne) et incendies en Attique (Grèce) et dans le Latium (Italie) —, elle **démontre l'efficacité d'un dialogue triangulaire entre experts, parties prenantes et décideurs, permettant de concilier des intérêts parfois divergents. Cependant, sa mise en œuvre à l'échelle locale se heurte à la résistance au changement des administrations de niveau supérieur,** soulignant des enjeux de légitimité du portage, de divergences d'intérêts et de réalité des rapports de pouvoirs.

Ces publications mettent donc en évidence l'**importance d'une transformation culturelle des institutions elles-mêmes (règles juridiques et organisationnelles, habitudes, croyances)** (Steelman et McCaffrey 2011), tout comme les limites d'un portage académique : **la généralisation et la diffusion de démarches expérimentales portées par des scientifiques nécessite une prise en charge par les acteurs politiques** pour surmonter les contraintes réglementaires et institutionnelles (Otero et al. 2018).

## Lacunes de connaissance et controverses

En matière de gouvernance, les démarches alternatives sont encore peu développées en dehors des pays de tradition participative comme les États-Unis. Leur mise en œuvre reste largement expérimentale et fortement dépendante des contextes locaux. Préconiser le recours aux savoirs et aux solutions locales pour gérer au mieux le problème des incendies est une voie prometteuse, mais il faut pouvoir pour cela s'appuyer sur des « communautés » existantes, ce qui n'est pas toujours chose facile en milieu périurbain français où les liens sociaux de voisinage sont parfois distendus.

La recherche comme l'aménagement du territoire demeurent cloisonnés : il n'existe à ce jour que peu de croisements des littératures consacrées à l'articulation entre risque incendie, lutte contre le changement climatique et gouvernance urbaine.

[24] https://fireadaptednetwork.org/

[25] *Strenghs - Weaknesses - Opportunites - Threats* (Forces, faiblesses, opportunités, menaces).

## Conclusion

La résilience des interfaces ville - espace naturel aux incendies ne peut donc être réduite à une gestion techno-centrée de la crise à court terme (Paschen et Beilin 2017). Elle repose sur une culture locale de long terme intégrant mémoire collective, identité du lieu, capital social, responsabilité partagée, capacité d'auto-organisation et d'anticipation (Reid, Beilin, et McLennan 2020 ; Reimer et al. 2013). Dans le contexte du changement climatique, la littérature montre que mieux préparer les populations à vivre dans un contexte de risque accru suppose de les associer aux décisions et de mieux comprendre et prendre en compte leurs rationalités, leurs vulnérabilités différenciées et leurs capacités à être associées aux dispositifs de lutte et de prévention. Il s'agit également de mieux coordonner les interventions, de les penser à divers pas de temps et à diverses échelles, et donc de mieux prendre en compte la complexité du risque incendie.

# Conclusion générale et perspectives : coexister avec le feu dans les territoires de demain

## Les principaux constats de l'expertise

Cette expertise s'appuie sur l'analyse d'une littérature scientifique pluridisciplinaire consacrée au risque d'incendie de végétation aux interfaces ville - espace naturel. Elle permet de dresser **un bilan des connaissances** tout en faisant apparaître **plusieurs perspectives d'action** pour l'adaptation des territoires.

Au niveau mondial, les incendies de végétation touchent chaque année des centaines de millions d'hectares, avec des saisons de feu de plus en plus longues et destructrices sous l'effet du changement climatique. En France comme ailleurs, l'interface ville - espace naturel où la ville et les zones de végétation naturelle ou sub-naturelle se rencontrent ou se mélangent, est en forte expansion du fait de dynamiques conjuguées d'étalement urbain, de développement de l'habitat individuel, de la déprise agricole et de la fermeture des milieux qui en résulte. Or les interfaces sont des zones à forts enjeux pour le risque d'incendie de végétation, car elles concentrent à la fois les sources d'ignitions ainsi que les personnes et les biens exposés. **En France, en moyenne, les deux tiers des incendies éclosent aux interfaces ville - espace naturel.**

L'incendie de végétation est un risque qui dépend à la fois de la météorologie, des dynamiques de végétation disponible pour brûler et des transformations des usages et de l'occupation des sols. La très grande majorité des incendies sont de petite taille et font partie intégrante du socio-écosystème dans lequel ce risque existe. **L'incendie de végétation n'est pas une anomalie**, mais il devient un problème majeur lorsqu'il menace directement des enjeux humains, matériels, environnementaux ou paysagers. **Le changement climatique n'engendre pas à lui seul ce risque, mais il est démontré qu'il l'accroît nettement, allonge les saisons de susceptibilité et augmente la probabilité d'événements rares mais sévères : les incendies extrêmes.**

À titre d'illustration, les projections climatiques indiquent que la France pourrait connaître, dans la majeure partie du territoire, une augmentation de plus de 20 jours par an à danger d'incendie fort, y compris dans des zones où ce niveau de danger est aujourd'hui inférieur à 5 jours par an. Cette évolution s'accompagne d'une hausse de la volatilité hydroclimatique : la fréquence des transitions soudaines entre des conditions très humides (accélérant la croissance de la biomasse) et des sécheresses intenses (l'asséchant rapidement) augmente elle aussi rapidement.

Les feux extrêmes se caractérisent par un régime différent, dans lequel la logique d'extinction atteint ses limites et doit céder la place à d'autres stratégies, notamment **l'anticipation du basculement vers l'impossibilité d'extinction, l'évacuation et la mise en sécurité des populations et des biens**. Dès lors, prendre en compte la question de la vulnérabilité aux incendies et des moyens de la réduire, est essentiel. Cette vulnérabilité est multifactorielle, multi-échelles — de l'individu au bâtiment, du quartier à l'agglomération — et évolutive.

**La question n'est donc pas seulement celle de l'aléa, mais aussi celle de la vulnérabilité construite par les formes d'habitat, l'organisation urbaine et sociale**. C'est pourquoi la résilience des interfaces ville - espace naturel aux incendies ne peut être réduite à une gestion techno-centrée de la crise à court terme mais repose sur une combinaison de mesures à différents pas de temps. Face à l'inévitabilité des incendies, notamment extrêmes, et pour construire une véritable résilience, les publications recommandent **une approche systémique articulant prévention, préparation, gestion du risque, adaptation au changement climatique et aménagement du territoire**, afin d'éviter des solutions de court terme susceptibles d'aggraver les risques futurs.

Dans le cas français, ce constat doit être mis en regard d'**une doctrine de lutte qui a montré son efficacité**. Depuis les années 1990, la stratégie d'attaque rapide des feux naissants a permis de limiter fortement le nombre d'incendies de grande ampleur. Cette efficacité ne doit pas être minimisée mais ne suffit toutefois pas à empêcher tous les événements extrêmes, en particulier lorsque se combinent conditions météorologiques très défavorables, simultanéité des départs

de feu, forte disponibilité de combustibles et multiplication des personnes et des biens exposés. L'efficacité constatée de la gestion de crise **entretient une attente de protection très forte chez la population et certains décideurs locaux. Mais la lutte ne cible pas les causes** sous-jacentes du problème et **ne peut pas compenser la hausse de l'exposition et de la vulnérabilité** dans le contexte de l'aggravation du risque et de l'extension des zones géographiques concernées. Dans ces situations extrêmes, les interactions entre le feu et l'atmosphère, la convection intense, les sautes de feu et le transport de brandons peuvent générer de nouveaux foyers à distance, parfois au contact des espaces urbanisés. Ces dynamiques renforcent le besoin d'outils d'anticipation capables d'éclairer les décisions de mise en sécurité, d'évacuation et d'organisation de la réponse opérationnelle.

D'autant que **la forte mutualisation publique des coûts de protection agit aussi comme une subvention implicite à l'exposition au risque**, dès lors qu'elle permet le maintien d'habitats très vulnérables dans des zones où le coût complet du risque n'est ni perçu ni assumé à l'échelle locale par ceux qui autorisent ou bénéficient de l'urbanisation. Or l'exemple des pays comme les États-Unis et l'Australie, déjà confrontés à un risque plus sévère, montre que **le risque peut rapidement rendre des mécanismes de mutualisation inopérants** et que **des zones peuvent devenir inassurables** par les régimes assurantiels classiques.

## Des connaissances incomplètes

Cette expertise met aussi en évidence le rôle structurant des interfaces dans le risque incendie et la nécessité d'une approche systémique de la prévention et de la résilience. Pour autant, **les travaux scientifiques demeurent inégalement consolidées selon les champs disciplinaires, les échelles ou encore les contextes** nationaux/continentaux. **La portée opérationnelle de plusieurs résultats reste ainsi conditionnée par des incertitudes et une disparité de données et des difficultés de transposition.**

Les ambiguïtés sémantiques, la diversité des définitions et des cadres réglementaires selon les pays constituent des sources importantes de variabilité dans l'évaluation du risque. Les lacunes et controverses portent aussi sur la transférabilité de résultats souvent australiens ou nord-américains vers l'Europe et la France.

L'évolution des régimes de feu, l'analyse des mécanismes et de leurs conséquences, dans un contexte de changement climatique et de transformation des territoires aux échelles locales, constituent encore un domaine actif de recherche. D'autant que la rareté et la complexité d'observation d'événements extrêmes limitent encore fortement les généralisations.

L'efficacité des stratégies de gestion des combustibles, des dispositifs de protection, des doctrines et moyens opérationnels et des outils d'anticipation en Europe demeure encore peu étudiée. Même si les dynamiques sociales et économiques et les leviers d'action mis en évidence dans cette synthèse sont ceux qui peuvent être globalement transposés, des travaux en sciences humaines et sociales plus fins sur la France sont nécessaires.

Enfin, la recherche (comme l'aménagement du territoire) fonctionne en silos et ne relie pas suffisamment la question des incendies aux autres dynamiques socio-environnementales (risques en cascade, enjeux de biodiversité urbaine, adaptation de la ville au changement climatique, etc.).

## Perspectives : apprendre à s'adapter ?

**Les connaissances disponibles apportent des éléments solides, mais les lacunes qui persistent conduisent à envisager l'adaptation face à un risque accru et étendu d'incendies extrêmes aux interfaces ville - espace naturel avec une part d'expérimentation sur le terrain et d'apprentissage.**

Les perspectives qui se dégagent de cette synthèse sont toutefois assez nettes. **La prévention future** des catastrophes liées aux incendies en France ne pourra pas reposer uniquement sur l'augmentation des moyens de lutte. Elle **suppose d'agir simultanément selon trois registres complémentaires** :

**À l'échelle individuelle**, par la préparation des habitants, la réduction de la vulnérabilité des maisons, le débroussaillement, l'entretien des abords et une meilleure connaissance des conduites à tenir.

**À l'échelle du dispositif de lutte,** par l'amélioration de l'anticipation, de l'alerte, de l'évacuation, de la mise en sécurité et de l'aide à la décision dans les situations de dépassement des capacités opérationnelles.

**À l'échelle de la gouvernance et de l'aménagement**, par une meilleure prise en compte du risque dans l'urbanisme, dans l'organisation territoriale de la ville et des espaces naturels et ruraux environnants, ainsi que par la coordination entre acteurs publics et privés.

La question n'est plus seulement de savoir comment éteindre plus efficacement les incendies, mais comment rendre les territoires plus habitables, mieux préparés et moins vulnérables dans un contexte où le risque va continuer à évoluer. Des pistes pour une meilleure acculturation au risque, des éléments sur la préparation et le « durcissement » de la ville sont aussi développés dans la littérature et rassemblés dans cette expertise comme potentiels leviers pour une préparation encore meilleure. S'en saisir n'est pas seulement un problème technique mais relève de priorités politiques et de choix de société.

## *Pour aller plus loin*

**Le rapport complet :**
Résilience des interfaces urbaines face aux incendies de végétation en contexte de changement climatique. Une lecture pluridisciplinaire de la littérature scientifique pour accompagner l'action publique face au risque incendie des interfaces ville - espace naturel dans une France à + 4°C. Rapport de l'Expertise Scientifique Collective. 2026.

**Pour en savoir plus et consulter les autres livrables de l'ESCo Incendies :**
https://www.cnrs.fr/fr/la-recherche/expertise-scientifique/esco-incendies-de-foret-et-ville

**Consulter la synthèse de l'expertise sur HAL :**
https://doi.org/10.83257/zbmr-fb73

**Consulter le rapport complet de l'expertise sur HAL :**
https://doi.org/10.83257/5f4n-zv17

# Glossaire

**Aléa :** Phénomène potentiellement dommageable susceptible de se produire en un lieu donné (ici : incendie de végétation). Il se caractérise par une probabilité d'occurrence et des intensités possibles (comportement du feu). À distinguer du danger (conditions instantanées) et du risque (aléa × enjeux/vulnérabilité).

**Brandon :** Fragment incandescent (braise, débris en combustion, escarbille, aussi appelé béluge en Provence) transporté par le vent. Il peut provoquer des sautes de feu en allumant des foyers secondaires à distance.

**Brûlage dirigé/feu prescrit :** Feu allumé volontairement, planifié et contrôlé dans des conditions définies (météo, combustibles, moyens). Objectif : réduire les combustibles, restaurer certains écosystèmes, limiter la sévérité d'incendies futurs. Nécessite un cadre réglementaire et une doctrine. Peut être contesté et difficile à utiliser dans les interfaces en raison des risques associés (échappement, fumée).

**Combustible :** Matière susceptible de brûler et de libérer de l'énergie (végétation, litière, bois mort, mais aussi éléments anthropiques). Ses propriétés (charge, continuité, humidité, structure verticale) conditionnent l'intensité et la propagation. En interface, le combustible inclut aussi des éléments du bâti et des objets (clôtures, véhicules, etc.).

**Coupure de combustible/ pare-feu :** Aménagement visant à réduire la continuité des combustibles (réduction de charge, discontinuités, bandes traitées). But : ralentir la propagation du feu, faciliter l'action des secours et les manœuvre tactiques. Efficacité dépendante de la localisation, de l'entretien, du vent et des sautes de feu.

***Community Wildfire Protection Plan* (CWPP) :** Plan local (aux États-Unis) de protection contre les incendies, élaboré de façon collaborative (acteurs publics, services, communautés). Il priorise des zones de traitement des combustibles et des mesures pour réduire l'inflammabilité des structures. Il sert d'outil de planification, de coordination et, parfois, d'accès à des financements.

**Continuité des combustibles :** Degré de connexion spatiale des combustibles (horizontalement et verticalement). Détermine la capacité de propagation et les transitions de strate (de la surface du sol à la cime des arbres). Cible centrale des mesures de gestion (débroussaillement, éclaircie, coupures).

**Danger incendie (*fire danger*) :** État instantané de propension au feu (météo, humidité des combustibles), souvent résumé par des indices. Il guide vigilance, pré-positionnement et décisions opérationnelles. À distinguer de l'aléa structurel (lié au stock/ organisation des combustibles).

**Débroussaillement :** Gestion de la végétation autour des enjeux (habitations, infrastructures) pour réduire charge et continuités horizontales/verticales. Vise à diminuer l'intensité de l'incendie au voisinage du bâti et à limiter l'exposition aux flammes et au rayonnement. Efficace si correctement réalisé, maintenu dans le temps et cohérent à l'échelle du voisinage, c'est à dire si les parcelles voisines sont également entretenues.

**Défendabilité :** Capacité d'un enjeu (bâtiment/quartier) à être défendu efficacement et en sécurité par les secours (ou par actions locales). Dépend de l'accès, de l'eau, de la topographie, de la charge combustible, de l'espacement des structures et du contexte météo. Concept très opérationnel, souvent moins formalisé académiquement.

**Durcissement du bâti :** Mesures passives/actives réduisant l'allumage et la propagation du feu au sein d'un bâtiment (toiture, ouvertures, grilles, matériaux). Cible prioritaire : empêcher l'entrée de brandons et limiter les points faibles de l'enveloppe. Complémentaire, non substituable, à la gestion des combustibles proches.

**Éclosion/départ de feu :** Terme statistique désignant l'apparition d'un feu en un lieu donné, à la suite de la rencontre entre une source d'allumage, un combustible disponible et des conditions favorables. L'éclosion est l'événement observable pris en compte dans les bases de données d'incendies.

**Enjeu :** Élément exposé susceptible de subir des dommages : personnes, bâtiments, infrastructures, activités, services écosystémiques. La hiérarchisation des enjeux structure les priorités de prévention et d'intervention. En interface la densité d'enjeux et leur valeur augmentent fortement les impacts potentiels.

**Feu de surface/de cime :** Un feu de surface brûle les strates basses de la végétation (herbes, buissons) ; un feu de cimes brûle toutes les strates de végétation, y compris la cime des arbres.

***Home Ignition Zone* (HIZ) :** Zone autour d'une habitation où les conditions déterminent sa probabilité d'ignition (souvent en cercles : immédiate/intermédiaire/étendue). Cible prioritaire des mesures de prévention : propreté, matériaux, ouvertures, végétation et objets combustibles proches. Approche centrée sur l'allumage par brandons et l'exposition thermique.

**Hydrant :** Point de puisage d'eau sous pression (borne incendie) connecté à un réseau. Ressource critique pour la défense du bâti et les manœuvres en zone urbanisée. Sa disponibilité dépend du réseau (pression, redondance, accessibilité) et peut être compromise en crise.

**Ignition/allumage :** Terme physico-chimique désignant le déclenchement local de la combustion sous l'effet d'une source d'énergie suffisante. L'ignition dépend notamment de l'humidité, de la finesse, de la géométrie et de la composition du combustible.

**Incendie :** Feu non souhaité et non contrôlé (ici incluant feux de végétation : herbes, broussailles, maquis, forêts). Son comportement résulte de l'interaction combustibles, météorologie, topographie, allumage et des actions humaines. En interface, l'incendie peut impliquer à la fois végétation et structures.

**Intensité du feu :** Mesure de la puissance libérée par unité de longueur de front (ou métriques voisines), liée à charge, vent, pente, humidité. Conditionne l'atteignabilité des moyens et la destructivité (rayonnement, convection). Critère clé pour définir des seuils d'inefficacité de suppression.

**Prévention :** Ensemble des actions visant à réduire les dommages attendus (réduction du risque) avant l'événement. Inclut mesures techniques (combustibles, bâti), information/formation, planification, incitations et réglementation. Se distingue de la gestion de crise (pendant l'événement) et du relèvement (après).

**Obligation légale de débroussaillement (OLD) :** Obligation réglementaire imposant des travaux de débroussaillement/entretien autour des constructions en zone à risque en France. Objectif : réduire l'aléa d'éclosion, la vulnérabilité du bâti et faciliter l'intervention des secours. Elle pose des enjeux de faisabilité, de coût (financier mais aussi en termes d'effort nécessaire, d'impact esthétique, etc.), de contrôle et parfois nécessite des travaux au-delà de la parcelle selon les règles locales.

**Plan de prévention du risque incendie de forêt (PPRIF) :** Outil réglementaire français visant à encadrer l'urbanisation et imposer/recommander des prescriptions en zones exposées. Il s'appuie sur des zonages (interdictions, conditions de constructibilité) et des mesures de réduction de vulnérabilité. Limites souvent discutées : coût, couverture partielle, caractère statique vs dynamiques rapides du risque.

**Régime de feu :** Description statistique et fonctionnelle de l'activité du feu sur un territoire : fréquence, saisonnalité, tailles, sévérité, causes, intensités. Résulte d'un couplage climat—végétation—usages—politiques de gestion. Le changement climatique et les transformations d'usage peuvent modifier rapidement ces régimes.

**Sautes de feu *(spotting)* :** Propagation par brandons créant des foyers secondaires à distance du front principal. Augmente la vitesse apparente, rend la lutte plus difficile et menace directement le bâti. Amplifiée par le vent, la convection, certains types de végétaux et combustibles fins, cela constitue un mécanisme majeur d'embrasement du bâti en interface en apportant les sources d'ignition.

**Sévérité :** Degré d'impact écologique (et parfois matériel) du feu, souvent évalué via la consommation de biomasse et les effets sur sol/végétation. Dépend de l'intensité locale de la durée de chauffe et du type d'écosystème. À distinguer de la surface brûlée.

**Structure :** Terme opérationnel désignant une construction au sens large (habitation, dépendance, hangar, bâtiment d'activité, etc.). Important car la vulnérabilité et la propagation peuvent différer selon matériaux, géométrie, entretien et proximité. En interface, la propagation structure—structure peut devenir un facteur important.

**Volatilité hydroclimatique :** De soudaines et importantes transitions, qualifiées de « coup de fouet », entre des conditions très sèches et très humides, augmentant fortement la biomasse puis l'asséchant.

**Vulnérabilité :** Propension d'un enjeu (personne, bien, environnement) à subir des dommages compte tenu de son exposition, de sa sensibilité et de ses capacités de réponse. Peut être sociale (capacités/contraintes), structurelle (bâti), et territoriale (réseaux, accessibilité).

# Références


Abatzoglou, J. T., Williams, A. P., Barbero, R., 2019. Global Emergence of Anthropogenic Climate Change in Fire Weather Indices. Geophysical Research Letters. https://doi.org/10.1029/2018gl080959

Absher, J. D., Vaske, J. J., Peterson, C. L., 2017. Community Wildfire Protection Plans in Colorado. Journal of Forestry. https://doi.org/10.5849/jof.2016-053r3

Adam, C., Danet, G., Thangarajah, J., Dugdale, J., 2016. BDI Modelling and Simulation of Human Behaviours in Bushfires. https://doi.org/10.1007/978-3-319-47093-1_5

Affif, A. M., March, A., 2025. Exploring Informal Settlement Fires in Indonesia: A Study of Fire Risk Assessment and Fire Resilient Strategies in Medan. Resilient Cities and Structures. https://doi.org/10.1016/j.rcns.2025.11.001

Agbeshie, A. A., Abugre, S., Atta-Darkwa, T., Awuah, R., 2022. A Review of the Effects of Forest Fire on Soil Properties. J. For. Res. https://doi.org/10.1007/s11676-022-01475-4

Akter, S., Grafton, R. Q., 2021. Do Fires Discriminate? Socio-economic Disadvantage, Wildfire Hazard Exposure and the Australian 2019—20 'Black Summer' Fires. Climatic Change. https://doi.org/10.1007/s10584-021-03064-6

Alexandre, P. M., Stewart, S. I., Mockrin, M. H., Keuler, N. S., Syphard, A. D., Bar-Massada, A., Clayton, M. K., Radeloff, V. C., 2016. The Relative Impacts of Vegetation, Topography and Spatial Arrangement on Building Loss to Wildfires in Case Studies of California and Colorado. Landscape Ecology. https://doi.org/10.1007/s10980-015-0257-6

Alkhatib, A., 2014. A Review on Forest Fire Detection Techniques. International Journal of Distributed Sensor Networks. https://doi.org/10.1155/2014/597368

Allaire, F., Filippi, J. B., Mallet, V., Vaysse, F., 2022. Simulation-Based High-Resolution Fire Danger Mapping Using Deep Learning. International Journal of Wildland Fire. https://doi.org/10.1071/WF21143

Alló, M., Loureiro, M. L., 2020. Assessing Preferences for Wildfire Prevention Policies in Spain. Forest Policy and Economics. https://doi.org/10.1016/j.forpol.2020.102145

Almeida, M., Azinheira, J. R., Barata, J., Bousson, K., Ervilha, R., Martins, M., Moutinho, A., Pereira, J. C., Pinto, J. C., Ribeiro, L. M., Silva, J., Viegas, D. X., 2017. Analysis of Fire Hazard in Campsite Areas. Fire Technol. https://doi.org/10.1007/s10694-016-0591-5

Alvis, J. M., Mendoza, G. L. O., Sossa, J. W. Z., 2025. Extreme Fire Events in Wildland—Urban Interface Areas: A Review of the Literature Concerning Determinants for Risk Governance. Sustainability. https://doi.org/10.3390/su17104505

Amato, F., Tonini, M., Murgante, B., Kanevski, M., 2018. Fuzzy Definition of Rural Urban Interface: An Application Based on Land Use Change Scenarios in Portugal. Environmental Modelling et Software. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.03.016

Andrews, P. L., Heinsch, F. A., Schelvan, L., 2011. How to Generate and Interpret Fire Characteristics Charts for Surface and Crown Fire Behavior. RMRS-GTR-253, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. https://doi.org/10.2737/RMRS-GTR-253

Anton, C. E., Lawrence, C., 2016. Does Place Attachment Predict Wildfire Mitigation and Preparedness? A Comparison of Wildland-Urban Interface and Rural Communities. Environmental Management. https://doi.org/10.1007/s00267-015-0597-7

Apostolidou, A., Seibel, W., 2026. The 2018 East Attica Wildfire. Natural Hazards and Public Management. https://doi.org/10.1007/978-3-031-98257-6_3

Arnan, X., Rodrigo, A., Retana, J., 2007. Post-fire Regeneration of Mediterranean Plant Communities at a Regional Scale Is Dependent on Vegetation Type and Dryness. J Vegetation Science. https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2007.tb02521.x

Artés, T., Castellnou, M., Houston Durrant, T., San-Miguel, J., 2022. Wildfire—Atmosphere Interaction Index for Extreme Fire Behaviour. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. https://doi.org/10.5194/nhess-22-509-2022

Asfaw, H. W., Christianson, A. C., Watson, D. O. T., 2022. Incentives and Barriers to Homeowners' Uptake of FireSmart® Canada's Recommended Wildfire Mitigation Activities in the City of Fort McMurray, Alberta. Fire. https://doi.org/10.3390/fire5030080

Athanasiou, M., Karadimitris, A., Xanthopoulos, G., Avramidou, E. V., 2025. Accidents and Incidents Related to Eruptive Fire Behavior in Greece. Fire. https://doi.org/10.3390/fire8020058

Babrauskas, V., 2024. Electricity-Caused Wildland Fires: Costs, Social Fairness, and Proposed Solution. Fire. https://doi.org/10.3390/fire7120442

Bakhshaii, A., Johnson, E. A., 2019. A Review of a New Generation of Wildfire—Atmosphere Modeling. Can. J. For. Res. https://doi.org/10.1139/cjfr-2018-0138

Balogh, Z., Gatial, E., Hassankhani-Dolatabadi, S., Dlugolinsky, S., Daltarella, M., Scipioni, M. P., Grunwald, D., Przybyszewski, M., Majlingova, A., Brodrechtova, Y., Mojir, K. Y., Olson, N., Levak, J., Chandramouli, K., 2023. Communication Protocol for Using Nontraditional Information Sources between First Responders and Citizens during Wildfires. Proceedings of the ... International ISCRAM Conference. https://doi.org/10.59297/yijk9098

Barbero, R., Curt, T., Ganteaume, A., Maillé, E., Jappiot, M., Bellet, A., 2019. Simulating the Effects of Weather and Climate on Large Wildfires in France. Natural Hazards and Earth System Sciences. https://doi.org/10.5194/nhess-19-441-2019

Bartlett, A. I., Hadden, R. M., Bisby, L., 2019. A Review of Factors Affecting the Burning Behaviour of Wood for Application to Tall Timber Construction. Fire Technology. https://doi.org/10.1007/s10694-018-0787-y

Battesti, A., 1997. Vulcain Ou l'histoire d'une Tentative Pour Commencer à Changer Les Choses Dans Le Système "Feux de Forêts", Par La Transparence et La Convivialité. Forêt Méditerranéenne. https://hal.science/hal-03558006v1/document

Baylis, P., Boomhower, J. P., 2019. Moral Hazard, Wildfires, and the Economic Incidence of Natural Disasters. National Bureau of Economic Research. https://doi.org/10.3386/w26550

Bento-Gonçalves, A., Vieira, A., 2020. Wildfires in the Wildland-Urban Interface: Key Concepts and Evaluation Methodologies. Science of The Total Environment. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135592

Beverly, J. L., Bothwell, P. M., Conner, J. C. R., Herd, E. P. K., 2010. Assessing the Exposure of the Built Environment to Potential Ignition Sources Generated from Vegetative Fuel. International Journal of Wildland Fire. https://doi.org/10.1071/wf09071

Billings, M., Carroll, M. S., Paveglio, T. B., 2020. The "Strings Attached" to Community Difference and Potential Pathways to Fire Adaptiveness in the Wildland Urban Interface. Journal of Forestry. https://doi.org/10.1093/jofore/fvaa042

Billings, M., Carroll, M. S., Paveglio, T. B., Whitman, K. M., 2021. "Us versus Them;" Local Social Fragmentation and Its Potential Effects on Building Pathways to Adapting to Wildfire. https://doi.org/10.3390/fire4040096

Blanchi, R., Leonard, J., Leicester, R. H., 2006. Lessons Learnt from Post-Bushfire Surveys at the Urban Interface in Australia. Forest Ecology and Management. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.08.184

Boin, A., 'T Hart, P., McConnell, A., 2009. Crisis Exploitation: Political and Policy Impacts of Framing Contests. Journal of European Public Policy. https://doi.org/10.1080/13501760802453221

Borraz, O., 2008. Les Politiques Du Risque:. Presses de Sciences Po. https://doi.org/10.3917/scpo.borra.2008.02

Bouillon, C., Fernandez Ramiro, g. M. g. i. M., Sirca, C., Fierro Garcia, B., Casula, F., Vila, B., Long Fournel, M., Pellizzaro, G., Arca, B., Tedim, F., 2014. A Tool for Mapping Rural-Urban Interfaces on Different Scales, in Advances in Forest Fire Research. Advances in forest fire research.
Bouisset, C., 2011. PPR, Urbanisation et Risques d'incendie de Forêt Dans Les Pyrénées-Orientales : Méthodes, Enjeux, Débats. cybergeo. https://doi.org/10.4000/cybergeo.24658

Bouisset, C., Degrémont, I., 2013. Ils Sont Venus Chercher Le Soleil, Ils Ont Trouvé l'incendie. Itinéraires Individuels, Pratiques Spatiales et Enjeux Sociaux Dans Les Lotissements Périurbains Méditerranéens.
Bouisset, C., Vanneufville, S., 2018. Pourquoi Être Résilient Quand on Est Efficace ?: La Gestion Du Risque Incendie de Forêt Dans Les Landes de Gascogne Au Défi Des Changements Territoriaux. vertigo. https://doi.org/10.4000/vertigo.19152

Bowman, D. M. J. S., Kolden, C. A., Abatzoglou, J. T., Johnston, F. H., Werf, g. G. R. p. v. d. u. f., Flannigan, M. D., 2020. Vegetation Fires in the Anthropocene. https://doi.org/10.1038/s43017-020-0085-3

Braziunas, K. H., Seidl, R., Rammer, W., Turner, M. G., 2020. Can We Manage a Future with More Fire? Effectiveness of Defensible Space Treatment Depends on Housing Amount and Configuration. Landscape Ecology. https://doi.org/10.1007/s10980-020-01162-x

Brenkert-Smith, H., Champ, P. A., Flores, N. E., 2012. Trying Not to Get Burned: Understanding Homeowners' Wildfire Risk-Mitigation Behaviors. Environmental Management. https://doi.org/10.1007/s00267-012-9949-8

Bright, A. D., Newman, P., Carroll, J., 2007. Context, Beliefs, and Attitudes toward Wildland Fire Management: An Examination of Residents of the Wildland-Urban Interface. Human Ecology Review. http://www.jstor.org/stable/24707707

Bruno, B., Sandra, O., Mário, C., Jorge, R., 2024. Mapping the Wildland-Urban Interface at Municipal Level for Wildfire Exposure Analysis in Mainland Portugal. Journal of Environmental Management. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122098

Burton, J. E., Penman, T. D., Filkov, A. I., Cawson, J. G., 2023. Multi-Scale Investigation of Factors Influencing Moisture Thresholds for Litter Bed Flammability. Agricultural and Forest Meteorology. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109514

Burton, K., Becker, D., Hovardas, T., Wardropper, C. B., Maas, A., 2024. Assessing Policy Preferences for Preventing and Managing Wildfire in Greece. Forest Policy and Economics.
Busenberg, G. J., 2004. Wildfire Management in the United States: The Evolution of a Policy Failure. Review of Policy Research. https://doi.org/10.1111/j.1541-1338.2004.00066.x

Butsic, V., Kelly, M., Moritz, M., 2015. Land Use and Wildfire: A Review of Local Interactions and Teleconnections. Land. https://doi.org/10.3390/land4010140

Buxton, M., Haynes, R., Mercer, D., Butt, A., 2011. Vulnerability to Bushfire Risk at Melbourne's Urban Fringe: The Failure of Regulatory Land Use Planning. Geographical Research. https://doi.org/10.1111/j.1745-5871.2010.00670.x

Calkin, D. E., Cohen, J. D., Finney, M. A., Thompson, M. P., 2014. How Risk Management Can Prevent Future Wildfire Disasters in the Wildland-Urban Interface. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. https://doi.org/10.1073/pnas.1315088111

Calkin, D. E., Stonesifer, C. S., Thompson, M. P., McHugh, C. W., 2014. Large Airtanker Use and Outcomes in Suppressing Wildland Fires in the United States. International Journal of Wildland Fire. https://doi.org/10.1071/wf13031

Calvet, L., Grislain-Letrémy, C., 2011. L'assurance Habitation Dans Les Départements d'Outre-mer : Une Faible Souscription. Economie Et Statistique. https://doi.org/10.3406/estat.2011.9709

Cao, Y., Boruff, B., McNeill, I. M., 2016. Is a Picture Worth a Thousand Words? Evaluating the Effectiveness of Maps for Delivering Wildfire Warning Information. International journal of disaster risk reduction. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2016.08.012

Carroll, M. S., Higgins, L. L., Cohn, P. J., Burchfield, J., 2006. Community Wildfire Events as a Source of Social Conflict*. Rural Sociology. https://doi.org/10.1526/003601106777789701

Certini, G., 2005. Effects of Fire on Properties of Forest Soils: A Review. Oecologia. https://doi.org/10.1007/s00442-004-1788-8

Champ, P. A., Brenkert—Smith, H., Flores, N. E., 2011. Living with Wildfire in Boulder County, Colorado, 2007. https://doi.org/10.2737/rmrs-rn-47

Champ, J. G., Brooks, J. J., Williams, D. R., 2012. Stakeholder Understandings of Wildfire Mitigation: A Case of Shared and Contested Meanings. Environmental Management. https://doi.org/10.1007/s00267-012-9914-6

Champ, P. A., Brenkert—Smith, H., 2016. Is Seeing Believing? Perceptions of Wildfire Risk over Time. Risk Analysis. https://doi.org/10.1111/risa.12465

Chappaz, F., Ganteaume, A., 2023. Role of Land-cover and WUI Types on Spatio-temporal Dynamics of Fires in the French Mediterranean Area. Risk Analysis. https://doi.org/10.1111/risa.13979

Charnley, S., Poe, M. R., Ager, A. A., Spies, T. A., Platt, E., Olsen, K. A., 2015. A Burning Problem: Social Dynamics of Disaster Risk Reduction through Wildfire Mitigation. Human Organization. https://doi.org/10.17730/0018-7259-74.4.329

Chas-Amil, M. L., Nogueira-Moure, E., Prestemon, J. P., Touza, J., 2022. Spatial Patterns of Social Vulnerability in Relation to Wildfire Risk and Wildland-Urban Interface Presence. Landscape and Urban Planning. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104577

Chuvieco, E., Aguado, I., Salas, J., Garcí a, M., Yebra, M., Oliva, P., 2020. Satellite Remote Sensing Contributions to Wildland Fire Science and Management. https://doi.org/10.1007/s40725-020-00116-5

Chuvieco, E., Pettinari, M. L., Koutsias, N., Forkel, M., Hantson, S., Turco, M., 2021. Human and Climate Drivers of Global Biomass Burning Variability. Science of The Total Environment. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146361

Cicione, A., Walls, R. S., Kahanji, C., 2019. Experimental Study of Fire Spread between Multiple Full Scale Informal Settlement Dwellings. Fire Safety Journal. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2019.02.001

Cillis, G., Lanorte, A., Nolè, G., Santarsiero, V., Ronco, F. V., 2022. FIRE PLANNING OF URBAN-RURAL INTERFACE IN OPEN SOURCE GIS ENVIRONMENT: CASE STUDY OF THE APULIA REGION (SOUTHERN ITALY). The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlviii-4-w1-2022-97-2022

Cohen, J. D., 2000. Preventing Disaster: Home Ignitability in the Wildland-Urban Interface. Journal of Forestry. https://doi.org/10.1093/jof/98.3.15

Cohn, P. J., Carroll, M. S., Kumagai, Y., 2006. Evacuation Behavior during Wildfires: Results of Three Case Studies. Western Journal of Applied Forestry. https://doi.org/10.1093/wjaf/21.1.39

Collins, T. W., Bolin, B., 2009. Situating Hazard Vulnerability: People's Negotiations with Wildfire Environments in the U.S. Southwest. Environmental Management. https://doi.org/10.1007/s00267-009-9333-5

Collins, T. W., 2012. Spatial Scale and Hazard Perception: An Exploratory Analysis. Society et Natural Resources. https://doi.org/10.1080/08941920.2012.665985

Consalès, J. N., 2019. Urbanisation, Espaces Naturels et Incendies: Une Analyse Multiscalaire En France Méditerranéenne. Forêt Méditerranéenne.
Copes-Gerbitz, K., Dickson-Hoyle, S., Ravensbergen, S. L., Hagerman, S. M., Daniels, L. D., Coutu, J., 2022. Community Engagement With Proactive Wildfire Management in British Columbia, Canada: Perceptions, Preferences, and Barriers to Action. Frontiers in forests and global change. https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.829125

Cote, D. W., McGee, T. K., 2014. An Exploration of Residents' Intended Wildfire Evacuation Responses in Mt. Lorne, Yukon, Canada. Forestry Chronicle. https://doi.org/10.5558/tfc2014-100

Cova, T. J., 2005. Public Safety in the Urban—Wildland Interface: Should Fire-Prone Communities Have a Maximum Occupancy?. Natural Hazards Review. https://doi.org/10.1061/(asce)1527-6988(2005)6:3(99)

Cova, T. J., Drews, F. A., Siebeneck, L. K., Musters, A., 2009. Protective Actions in Wildfires: Evacuate or Shelter-in-Place?. Natural Hazards Review. https://doi.org/10.1061/(asce)1527-6988(2009)10:4(151)

Cova, T. J., Theobald, D. M., Norman, J. B., Siebeneck, L. K., 2013. Mapping Wildfire Evacuation Vulnerability in the Western US: The Limits of Infrastructure. GeoJournal. https://doi.org/10.1007/s10708-011-9419-5

Crow, D. A., Lawhon, L. A., Albright, E. A., Koebele, E. A., Kroepsch, A., Schild, R., Huda, J., 2015. Information, Resources, and Management Priorities: Agency Outreach and Mitigation of Wildfire Risk in the Western United States. Risk, Hazards et Crisis in Public Policy. https://doi.org/10.1002/rhc3.12073

Cummins, J. D., Weiss, M. A., 2009. Convergence of Insurance and Financial Markets: Hybrid and Securitized Risk-Transfer Solutions. Journal of Risk and Insurance. https://doi.org/10.1111/j.1539-6975.2009.01311.x

Cunningham, C. X., Williamson, G. J., Bowman, D. M. J. S., 2024. Increasing Frequency and Intensity of the Most Extreme Wildfires on Earth. Nat Ecol Evol. https://doi.org/10.1038/s41559-024-02452-2

Curt, T., Borgniet, L., Bouillon, C., 2013. Wildfire Frequency Varies with the Size and Shape of Fuel Types in Southeastern France: Implications for Environmental Management. Journal of Environmental Management. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.12.006

Curt, T., Frejaville, T., 2018. Wildfire Policy in Mediterranean France: How Far Is It Efficient and Sustainable?. Risk Analysis. https://doi.org/10.1111/risa.12855

DA, H., 1988. A Lower Atmospheric Severity Index for Wildland Fires. National Weather Digest.
Daniels, M. C., Braziunas, K. H., Turner, M. G., Ma, T. F., Short, K. C., Rissman, A. R., 2024. Multiple Social and Environmental Factors Affect Wildland Fire Response of Full or Less-than-Full Suppression. Journal of Environmental Management. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119731

Davies, I. P., Haugo, R. D., Robertson, J. C., Levin, P. S., 2018. The Unequal Vulnerability of Communities of Color to Wildfire. PLOS ONE. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205825

Delforge, D., Wathelet, V., Below, R., Sofia, C. L., Tonnelier, M., Van Loenhout, J. A. F., Speybroeck, N., 2025. EM-DAT: The Emergency Events Database. International Journal of Disaster Risk Reduction. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2025.105509

Di Giuseppe, F., Pappenberger, F., Wetterhall, F., Krzeminski, B., Camia, A., Libertá, G., San Miguel, J., 2016. The Potential Predictability of Fire Danger Provided by Numerical Weather Prediction. Journal of Applied Meteorology and Climatology. https://doi.org/10.1175/JAMC-D-15-0297.1

Dillon, R. L., Tinsley, C. H., 2016. Near-Miss Events, Risk Messages, and Decision Making. Environment Systems and Decisions. https://doi.org/10.1007/s10669-015-9578-x

Dimitrakopoulos, A. P., 2002. Mediterranean Fuel Models and Potential Fire Behaviour in Greece. International Journal of Wildland Fire. https://doi.org/10.1071/wf02018

Dmitry, E., 2025. Public Discourse Surrounding the 2025 California Wildfires: A Sentiment and Topic Analysis of High-Engagement YouTube Comments. Geosciences. https://doi.org/10.3390/geosciences15030100

Dong, H., 2024. Climate Change and Real Estate Markets: An Empirical Study of the Impacts of Wildfires on Home Values in California. Landscape and Urban Planning. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2024.105062

Dowdy, A. J., Ye, H., Pepler, A., Thatcher, M., Osbrough, S. L., Evans, J. P., Di Virgilio, G., McCarthy, N., 2019. Future Changes in Extreme Weather and Pyroconvection Risk Factors for Australian Wildfires. Sci Rep. https://doi.org/10.1038/s41598-019-46362-x

Duane, A., Castellnou, M., Brotóns, L., 2021. Towards a Comprehensive Look at Global Drivers of Novel Extreme Wildfire Events. Climatic Change. https://doi.org/10.1007/s10584-021-03066-4

Duane, A., Moghli, A., Coll, L., Vega, C., 2025. On the Evidence of Contextually Large Fires in Europe Based on Return Period Functions. Applied Geography. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2025.103539

Duff, T. J., Tolhurst, K. G., 2015. Operational Wildfire Suppression Modelling: A Review Evaluating Development, State of the Art and Future Directions. International Journal of Wildland Fire. https://doi.org/10.1071/wf15018

Dupuy, J. l., Fargeon, H., Martin-StPaul, N., Pimont, F., Ruffault, J., Guijarro, M., Hernando, C., Madrigal, J., Fernandes, P., 2020. Climate Change Impact on Future Wildfire Danger and Activity in Southern Europe: A Review. Annals of Forest Science. https://doi.org/10.1007/s13595-020-00933-5

El Garroussi, S., Di Giuseppe, F., Barnard, C., Wetterhall, F., 2024. Europe Faces up to Tenfold Increase in Extreme Fires in a Warming Climate. npj Clim Atmos Sci. https://doi.org/10.1038/s41612-024-00575-8

Ergibi, M., Hesseln, H., 2018. Awareness and Adoption of FireSmart Canada: Barriers and Incentives. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389934118305379

Eriksen, C., Prior, T. J., 2013. Defining the Importance of Mental Preparedness for Risk Communication and Residents Well-Prepared for Wildfire. International journal of disaster risk reduction. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2013.09.006

Escobedo, F. J., Yadav, K., Ossola, A., Klein, R., Drury, S., 2024. Urban Forest Cover and Ecosystem Service Response to Fire Varies across California Communities. Urban Forestry et Urban Greening. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128547

Essen, M., McCaffrey, S., Abrams, J., Paveglio, T., 2023. Improving Wildfire Management Outcomes: Shifting the Paradigm of Wildfire from Simple to Complex Risk. Journal of Environmental Planning and Management. https://doi.org/10.1080/09640568.2021.2007861

Everett, Y., Fuller, M., 2011. Fire Safe Councils in the Interface. Society et Natural Resources. https://doi.org/10.1080/08941920903313835

Evin, G., Curt, T., Eckert, N., 2018. Has Fire Policy Decreased the Return Period of the Largest Wildfire Events in France? A Bayesian Assessment Based on Extreme Value Theory. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. https://doi.org/10.5194/nhess-18-2641-2018

Ezz, A. A. E., Boucher, J., Cotton-Gagnon, A., Godbout, A., 2022. Framework for Spatial Incident-Level Wildfire Risk Modelling to Residential Structures at the Wildland Urban Interface. Fire Safety Journal. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2022.103625

Perpinyà, A. B., Pallarès-Barberà, M., 2006. Spatial Distribution of Ignitions in Mediterranean Periurban and Rural Areas: The Case of Catalonia. International Journal of Wildland Fire. https://doi.org/10.1071/wf04008

Fang, Z., Meng, D., Hu, J., Wu, J., 2025. Multi-Scenarios Simulation and Analysis of Wildfire Information Dissemination Through Different Media. Proceedings of the ... International ISCRAM Conference. https://doi.org/10.59297/gt832w75

Fargeon, H., Pimont, F., Martin-StPaul, N., Cáceres, M. D., Ruffault, J., Barbero, R., Dupuy, J. L., 2020. Projections of Fire Danger under Climate Change over France: Where Do the Greatest Uncertainties Lie?. Climatic Change. https://doi.org/10.1007/s10584-019-02629-w

Faulkner, H., McFarlane, B. L., McGee, T. K., 2009. Comparison of Homeowner Response to Wildfire Risk among Towns with and without Wildfire Management. Environmental Hazards. https://doi.org/10.3763/ehaz.2009.0006

Feng, Z., González, V. A., Amor, R., Lovreglio, R., Cabrera-Guerrero, G., 2018. Immersive Virtual Reality Serious Games for Evacuation Training and Research: A Systematic Literature Review. Computers in Education. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.09.002

Feng, S., Zscheischler, J., Hao, Z., Bevacqua, E., 2025. Growing Human-Induced Climate Change Fingerprint in Regional Weekly Fire Extremes. npj Clim Atmos Sci. https://doi.org/10.1038/s41612-025-01021-z

Fernandes, P. M., Davies, G. M., Ascoli, D., Fernández, C., Moreira, F., Rigolot, E., Stoof, C. R., Vega, J. A., Molina, D., 2013. Prescribed Burning in Southern Europe: Developing Fire Management in a Dynamic Landscape. Frontiers in Ecol et Environ. https://doi.org/10.1890/120298

Fernandes, P. M., Monteiro-Henriques, T., Guiomar, N., Loureiro, C., Barros, A. M. G., 2016. Bottom-Up Variables Govern Large-Fire Size in Portugal. Ecosystems. https://doi.org/10.1007/s10021-016-0010-2

Fernandes, P. M., Pacheco, A. P., Almeida, R. M., Claro, J., 2016. The Role of Fire-Suppression Force in Limiting the Spread of Extremely Large Forest Fires in Portugal. European Journal of Forest Research. https://doi.org/10.1007/s10342-015-0933-8

Fernández-Guisuraga, J. M., Calvo, L., 2023. Fuel Build-up Promotes an Increase in Fire Severity of Reburned Areas in Fire-Prone Ecosystems of the Western Mediterranean Basin. Fire Ecology. https://doi.org/10.1186/s42408-023-00232-0

Filippi, J. B., Bosseur, F., Mari, C., Lac, C., 2018. Simulation of a Large Wildfire in a Coupled Fire-Atmosphere Model. Atmosphere. https://doi.org/10.3390/atmos9060218

Filippi, J. B., Baggio, R., Paugam, R., Bosseur, F., Leblanc, A., Alonso-Pinar, A., 2025. ForeFire: A Modular, Scriptable C++ Simulation Engine and Library for Wildland-Fire Spread. JOSS. https://doi.org/10.21105/joss.08680

Filkov, A., Tihay-Felicelli, V., Masoudvaziri, N., Rush, D., Valencia, A., Wang, Y., Blunck, D. L., Valero, M. M., Kempna, K., Smolka, J., Beer, J. D., Campbell-Lochrie, Z. J., Centeno, F. R., Ibrahim, M. A., Lemmertz, C. K., Tam, W. C., 2023. A Review of Thermal Exposure and Fire Spread Mechanisms in Large Outdoor Fires and the Built Environment. Fire Safety Journal. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103871

Finney, M. A., 1998. FARSITE: Fire Area Simulator-model Development and Evaluation. RMRS-RP-4, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. https://doi.org/10.2737/RMRS-RP-4

Finney, M. A., McHugh, C. W., Grenfell, I. C., Riley, K. L., Short, K. C., 2011. A Simulation of Probabilistic Wildfire Risk Components for the Continental United States. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment. https://doi.org/10.1007/s00477-011-0462-z

Fischer, A. P., Charnley, S., 2012. Risk and Cooperation: Managing Hazardous Fuel in Mixed Ownership Landscapes. Environmental Management. https://doi.org/10.1007/s00267-012-9848-z

Fischer, A. P., Kline, J. D., Ager, A. A., Charnley, S., Olsen, K. A., 2014. Objective and Perceived Wildfire Risk and Its Influence on Private Forest Landowners' Fuel Reduction Activities in Oregon's (USA) Ponderosa Pine Ecoregion. International Journal of Wildland Fire. https://doi.org/10.1071/wf12164

Flanagan, B. E., Gregory, E. W., Hallisey, E. J., Heitgerd, J. L., Lewis, B., 2011. A Social Vulnerability Index for Disaster Management. Journal of Homeland Security and Emergency Management. https://doi.org/10.2202/1547-7355.1792

Folk, L., Kuligowski, E. D., Gwynne, S. M. V., Gales, J., 2019. A Provisional Conceptual Model of Human Behavior in Response to Wildland-Urban Interface Fires. Fire Technology. https://doi.org/10.1007/s10694-019-00821-z

Fournier, T., Fèvre, J., Carcaillet, F., Carcaillet, C., 2020. For a Few Years More: Reductions in Plant Diversity 70 Years after the Last Fire in Mediterranean Forests. Plant Ecol. https://doi.org/10.1007/s11258-020-01034-z

Frankman, D., Webb, B. W., Butler, B. W., Jimenez, D., Forthofer, J. M., Sopko, P., Shannon, K. S., Hiers, J. K., Ottmar, R. D., 2013. Measurements of Convective and Radiative Heating in Wildland Fires. International Journal of Wildland Fire. https://doi.org/10.1071/WF11097

Galiana-Martín, L., 2017. Spatial Planning Experiences for Vulnerability Reduction in the Wildland-Urban Interface in Mediterranean European Countries. European Countryside. https://doi.org/10.1515/euco-2017-0034

Gan, J., Jarrett, A., Gaither, C. J., 2015. Landowner Response to Wildfire Risk: Adaptation, Mitigation or Doing Nothing. Journal of Environmental Management. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.06.014

Ganteaume, A., Lampin-Maillet, C., Guijarro, M., Hernando, C., Jappiot, M., Fontúrbel, T., Pérez-Gorostiaga, P., Vega, J. A., 2009. Spot Fires: Fuel Bed Flammability and Capability of Firebrands to Ignite Fuel Beds. International Journal of Wildland Fire. https://doi.org/10.1071/wf07111

Ganteaume, A., Camia, A., Jappiot, M., San-Miguel-Ayanz, J., Long-Fournel, M., Lampin, C., 2013. A Review of the Main Driving Factors of Forest Fire Ignition Over Europe. Environmental Management. https://doi.org/10.1007/s00267-012-9961-z

Ganteaume, A., Jappiot, M., 2013. What Causes Large Fires in Southern France. Forest Ecology and Management. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.06.055

Ganteaume, A., 2018. Does Plant Flammability Differ between Leaf and Litter Bed Scale? Role of Fuel Characteristics and Consequences for Flammability Assessment. International Journal of Wildland Fire. https://doi.org/10.1071/wf17001

Ganteaume, A., Barbero, R., 2019. Contrasting Large Fire Activity in the French Mediterranean. Natural Hazards and Earth System Sciences. https://doi.org/10.5194/nhess-19-1055-2019

Gelabert, P., Jiménez-Ruano, A., Ribalaygua, J., Torres, L., Rodrigues, M., 2025. Human-Caused Ignition Pathways under Climate Change Scenarios in Eastern Spain. Geomatics Natural Hazards and Risk. https://doi.org/10.1080/19475705.2025.2472864

Gerberding, K., Schirpke, U., 2025. Mapping the Probability of Forest Fire Hazard across the European Alps under Climate Change Scenarios. Journal of Environmental Management. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.124600

Ghasemiazma, F., Tonini, M., Fiorucci, P., Turco, M., 2026. Megafires in Mediterranean Europe: The Compound Role of Fire Weather and Drought. npj Nat. Hazards. https://doi.org/10.1038/s44304-026-00197-5

Gibbons, P., Van Bommel, L., Gill, A. M., Cary, G. J., Driscoll, D. A., Bradstock, R. A., Knight, E., Moritz, M. A., Stephens, S. L., Lindenmayer, D. B., 2012. Land Management Practices Associated with House Loss in Wildfires. PLoS ONE. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029212

Gill, A. M., Stephens, S. L., 2009. Scientific and Social Challenges for the Management of Fire-Prone Wildland—Urban Interfaces. Environ. Res. Lett. https://doi.org/10.1088/1748-9326/4/3/034014

Gong, G., Dimitrov, S., Bartolacci, M. R., 2024. Digital Strategies in Wildfire Management: Social Media Analytics and Web 3.0 Integration. Discov Sustain. https://doi.org/10.1007/s43621-024-00274-7

Gonzalez-Mathiesen, C., March, A., 2018. Establishing Design Principles for Wildfire Resilient Urban Planning. Planning Practice et Research. https://doi.org/10.1080/02697459.2018.1429787

González-Olabarría, J. R., Carrasco, J., Pais, C., García-Gonzalo, J., Palacios-Meneses, D., Mahaluf-Recasens, R., Porkhum, O., Weintraub, A., 2023. A Fire Spread Simulator to Support Tactical Management Decisions for Mediterranean Landscapes. Frontiers in Forests and Global Change. https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1071484

Götze, T., Gürtler, M., 2022. Risk Transfer beyond Reinsurance: The Added Value of CAT Bonds. Geneva Pap Risk Insur Issues Pract. https://doi.org/10.1057/s41288-021-00234-6

Grayzeck-Souter, S. A., Nelson, K. C., Brummel, R. F., Jakes, P. J., Williams, D. R., 2009. Interpreting Federal Policy at the Local Level: The Wildland- Urban Interface Concept in Wildfire Protection Planning in the Eastern United States. International Journal of Wildland Fire. https://doi.org/10.1071/wf08081

Greiving, S., Pratzler-Wanczura, S., Sapountzaki, K., Ferri, F., Grifoni, P., Firus, K., Xanthopoulos, G., 2012. Linking the Actors and Policies throughout the Disaster Management Cycle by "Agreement on Objectives" - a New Output-Oriented Management Approach. Natural Hazards and Earth System Sciences. https://doi.org/10.5194/nhess-12-1085-2012

Grislain-Letrémy, C., 2018. Natural Disasters: Exposure and Underinsurance. Annals of economics and statistics. https://doi.org/10.15609/annaeconstat2009.129.0053

Grootemaat, S., Wright, I. J., Bodegom, g. P. M. p. v. u. f., Cornelissen, J. H. C., 2017. Scaling up Flammability from Individual Leaves to Fuel Beds. Oikos. https://doi.org/10.1111/oik.03886

Gude, P. H., Jones, K., Rasker, R., Greenwood, M. C., 2013. Evidence for the Effect of Homes on Wildfire Suppression Costs. International Journal of Wildland Fire. https://doi.org/10.1071/wf11095

Hamilton, M., Fischer, A. P., Guikema, S. D., Keppel-Aleks, G., 2018. Behavioral Adaptation to Climate Change in Wildfire-Prone Forests. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change. https://doi.org/10.1002/wcc.553

Handmer, J., O'Neill, S., 2016. Examining Bushfire Policy in Action: Preparedness and Behaviour in the 2009 Black Saturday Fires. Environmental Science et Policy. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.05.011

Hantson, S., Pueyo, S., Chuvieco, E., 2016. Global Fire Size Distribution: From Power Law to Log-Normal. International Journal of Wildland Fire. https://doi.org/10.1071/WF15108

Hantson, S., Kelley, D. I., Arneth, A., Harrison, S. P., Archibald, S., Bachelet, D., Forrest, M. S., Hickler, T., Lasslop, G., Li, F., Mangeon, S., Melton, J. R., Nieradzik, L., Rabin, S., Prentice, I. C., Sheehan, T., Sitch, S., Teckentrup, L., Voulgarakis, A., Yue, C., 2020. Quantitative Assessment of Fire and Vegetation Properties in Simulations with Fire-Enabled Vegetation Models from the Fire Model Intercomparison Project. Geoscientific Model Development Discussions. https://doi.org/10.5194/gmd-2019-261

Hardy, C. C., 2005. Wildland Fire Hazard and Risk: Problems, Definitions, and Context. Forest Ecology and Management. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.01.029

Haynes, K., Short, K., Xanthopoulos, G., Viegas, D., Ribeiro, L. M., Blanchi, R., 2020. Wildfires and WUI Fire Fatalities. Encyclopedia of Wildfires and Wildland-Urban Interface (WUI) Fires. http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-51727-8_92-1

Hazra, D., Gallagher, P., 2022. Role of Insurance in Wildfire Risk Mitigation. Economic Modelling. https://doi.org/10.1016/j.econmod.2022.105768

Hennighausen, H., James, A., 2024. Catastrophic Fires, Human Displacement, and Real Estate Prices in California. Journal of Housing Economics. https://doi.org/10.1016/j.jhe.2024.102023

Himoto, K., Tanaka, T., 2008. Development and Validation of a Physics-Based Urban Fire Spread Model. Fire Safety Journal. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2007.12.008

Hino, M., Field, C., 2023. Fire Frequency and Vulnerability in California. https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000087

Hood, C., 2011. The Blame Game: Spin, Bureaucracy, and Self-Preservation in Government. Princeton University Press. https://doi.org/10.1515/9781400836819

Houston, D., Pérez Figueroa, O., Jong-Levinger, A., Schubert, J. E., Sanders, B. F., 2024. Spatial Optimism and Cross-Over Effects in the Perceptions of Interconnected Wildfire, Flood, and Mudslide Hazards. Environment and Behavior. https://doi.org/10.1177/00139165241275482

Howe, P. D. L., Boldero, J., McNeill, I. M., Vargas-Sáenz, A., Handmer, J., 2018. Increasing Preparedness for Wildfires by Informing Residents of Their Community's Social Norms. Natural Hazards Review. https://doi.org/10.1061/(asce)nh.1527-6996.0000279

Hubert, M. M., Schweitzer, J. A., Giam, X., Papeş, M., 2023. Contrasting Effects of Urbanization and Fire on Understory Plant Communities in the Natural and Wildland—Urban Interface. Ecosphere. https://doi.org/10.1002/ecs2.4520

Ireton, G., Iftekhar, A., Charlesworth, E., 2014. Reflections on Residential Rebuilding After the Victorian Black Saturday Bushfires.
Jakes, P. J., Burns, S., Cheng, A. S., Saeli, E., Brummel, K. N. R., Grayzeck, S., Sturtevant, V., Williams, D. R., 2007. Critical Elements in the Development and Implementation of Community Wildfire Protection Plans (CWPPs).
Jakes, P. J., Kruger, L. E., Monroe, M. C., Nelson, K. C., Sturtevant, V., 2007. Improving Wildfire Preparedness: Lessons from Communities across the U.S.. Human Ecology Review.
Jakes, P. J., Sturtevant, V., 2013. Trial by Fire: Community Wildfire Protection Plans Put to the Test. International Journal of Wildland Fire. https://doi.org/10.1071/wf12156

Jametti, M., Ungern-Sternberg, g. T. p. v. u. f., 2010. Risk Selection in Natural-Disaster Insurance. Journal of Institutional and Theoretical Economics-zeitschrift Fur Die Gesamte Staatswissenschaft. https://doi.org/10.1628/093245610791343021

Janin, C., Andres, L., 2008. Les Friches : Espaces En Marge Ou Marges de Manœuvre Pour l'aménagement Des Territoires ?:. Annales de géographie. https://doi.org/10.3917/ag.663.0062

Jia, S., Kim, S. H., Nghiem, S. V., Doherty, P., Kafatos, M., Kafatos, M., 2020. Patterns of Population Displacement during Mega-Fires in California Detected Using Facebook Disaster Maps. arXiv: Computers and Society.
Jia, R., Lin, J., Powers, M. R., Wang, H., 2025. Catastrophe Risk Sharing among Individuals, Private Insurance, and Government. J of Risk et Insurance. https://doi.org/10.1111/jori.12506

Johnson, P. F., Johnson, C., Sutherland, C. E., 2012. Stay or Go? Human Behavior and Decision Making in Bushfires and Other Emergencies. Fire Technology. https://doi.org/10.1007/s10694-011-0213-1

Jones, M. W., Abatzoglou, J. T., Veraverbeke, S., Andela, N., Lasslop, G., Forkel, M., Smith, A. J. P., Burton, C., Betts, R. A., Van Der Werf, G. R., Sitch, S., Canadell, J. G., Santín, C., Kolden, C., Doerr, S. H., Le Quéré, C., 2022. Global and Regional Trends and Drivers of Fire Under Climate Change. Reviews of Geophysics. https://doi.org/10.1029/2020RG000726

Kahanji, C., Walls, R. S., Cicione, A., 2019. Fire Spread Analysis for the 2017 Imizamo Yethu Informal Settlement Conflagration in South Africa. International Journal of Disaster Risk Reduction. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101146

Kalapodis, N., Sakkas, G., Kazantzidou-Firtinidou, D., Alcasena, F., Cardarilli, M., Eftychidis, G., Koerner, C., Moore-Merrell, L., Gugliandolo, E., Demestichas, K., 2025. Towards Resilient Critical Infrastructure in the Face of Extreme Wildfire Events: Lessons and Policy Pathways from the US and EU. Infrastructures.
Karimiziarani, M., Foroumandi, E., Moradkhani, H., 2025. Natural Language Processing Insights from Twitter (X): An AI-Powered Analysis of Public Sentiment and Humanitarian Concerns during the California Fire. Environmental Modelling et Software. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2025.106545

Keeley, J. E., Fotheringham, C. J., Baer-Keeley, M., 2005. Factors Affecting Plant Diversity during Post-Fire Recovery and Succession of Mediterranean-Climate Shrublands in California, USA. Diversity and Distributions. https://doi.org/10.1111/j.1366-9516.2005.00200.x

Kelly, L. T., Fletcher, M. S., Menor, I. O., Pellegrini, A. F. A., Plumanns-Pouton, E., Pons, P., Williamson, G. J., Bowman, D. M. J. S., 2023. Understanding Fire Regimes for a Better Anthropocene. Annual Review of Environment and Resources. https://doi.org/10.1146/annurev-environ-120220-055357

Khorasani, N. E., Kinateder, M., Lemiale, V., Manzello, S. L., Marom, I., Marquez, L., Suzuki, S., Theodori, M., Wang, Y., Wong, S. D., 2023. Review of Research on Human Behavior in Large Outdoor Fires. Fire Technology. https://doi.org/10.1007/s10694-023-01388-6

Kiel, K. A., Matheson, V. A., 2018. The Effect of Natural Disasters on Housing Prices: An Examination of the Fourmile Canyon Fire. JFE. https://doi.org/10.1016/j.jfe.2018.09.002

Kirchmeier-Young, M. C., Malinina, E., Barber, Q. E., Garcia Perdomo, K., Curasi, S. R., Liang, Y., Jain, P., Gillett, N. P., Parisien, M. A., Cannon, A. J., Lima, A. R., Arora, V. K., Boulanger, Y., Melton, J. R., Van Vliet, L., Zhang, X., 2024. Human Driven Climate Change Increased the Likelihood of the 2023 Record Area Burned in Canada. npj Clim Atmos Sci. https://doi.org/10.1038/s41612-024-00841-9

Kitzberger, T., Brown, P. M., Heyerdahl, E. K., Swetnam, T. W., Veblen, T. T., 2007. Contingent Pacific-Atlantic Ocean Influence on Multicentury Wildfire Synchrony over Western North America. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. https://doi.org/10.1073/pnas.0606078104

Kocher, S. D., Butsic, V., 2017. Governance of Land Use Planning to Reduce Fire Risk to Homes Mediterranean France and California. Land. https://doi.org/10.3390/land6020024

Kolden, C. A., Henson, C., 2019. A Socio-Ecological Approach to Mitigating Wildfire Vulnerability in the Wildland Urban Interface: A Case Study from the 2017 Thomas Fire. https://doi.org/10.3390/fire2010009

Koutsias, N., Xanthopoulos, G., Founda, D., Xystrakis, F., Nioti, F., Pleniou, M., Mallinis, G., Arianoutsou, M., 2013. On the Relationships between Forest Fires and Weather Conditions in Greece from Long-Term National Observations (1894—2010). Int. J. Wildland Fire. https://doi.org/10.1071/WF12003

Kramer, H. A., Mockrin, M. H., Alexandre, P. M., Stewart, S. I., Radeloff, V. C., 2018. Where Wildfires Destroy Buildings in the US Relative to the Wildland—Urban Interface and National Fire Outreach Programs. International Journal of Wildland Fire. https://doi.org/10.1071/wf17135

Kramer, H. A., Butsic, V., Mockrin, M. H., Ramirez-Reyes, C., Alexandre, P. M., Radeloff, V. C., 2021. Post-Wildfire Rebuilding and New Development in California Indicates Minimal Adaptation to Fire Risk. Land Use Policy. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105502

Kreider, M. R., Higuera, P. E., Parks, S. A., Rice, W. L., White, N., Larson, A. J., 2024. Fire Suppression Makes Wildfires More Severe and Accentuates Impacts of Climate Change and Fuel Accumulation. Nat Commun. https://doi.org/10.1038/s41467-024-46702-0

Kunreuther, H., 2018. All-Hazards Homeowners Insurance: Challenges and Opportunities. Risk management and insurance review. https://doi.org/10.1111/rmir.12091

Lahaye, S., Curt, T., Fréjaville, T., Sharples, J. J., Paradis, L., Hély, C., 2018. What Are the Drivers of Dangerous Fires in Mediterranean France. International Journal of Wildland Fire. https://doi.org/10.1071/wf17087

Lahaye, S., Curt, T., Fréjaville, T., Sharples, J., Paradis, L., Hély, C., 2018. What Are the Drivers of Dangerous Fires in Mediterranean France?. International Journal of Wildland Fire. https://doi.org/10.1071/WF17087

Lambrou, N., Kolden, C. A., Loukaitou-Sideris, A., Anjum, E., Acey, C., 2023. Social Drivers of Vulnerability to Wildfire Disasters: A Review of the Literature. null. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104797

Lambrou, N., Kolden, C., Loukaitou-Sideris, A., 2025. Disaster Recovery Gentrification in Post-Wildfire Landscapes: The Case of Paradise, CA. International Journal of Disaster Risk Reduction. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2025.105235

Lampin-Maillet, C., Jappiot, M., Long, M., Morge, D., Ferrier, J. P., 2009. Characterization and Mapping of Dwelling Types for Forest Fire Prevention. Computers, Environment and Urban Systems. https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2008.07.003

Lampin-Maillet, C., Bouillon, C., Long-Fournel, M., Morge, D., Jappiot, M., 2010. Guide de Cartographie et Caractérisation Des Interfaces Habitat-Forêt. Convention n°2008 11 9 071 U du ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer.
Lampin-Maillet, C., Jappiot, M., Long, M., Bouillon, C., Morge, D., Ferrier, J. P., 2010. Mapping Wildland-Urban Interfaces at Large Scales Integrating Housing Density and Vegetation Aggregation for Fire Prevention in the South of France. Journal of Environmental Management. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.10.001

Lampin-Maillet, C., Long-Fournel, M., Ganteaume, A., Jappiot, M., Ferrier, J. P., 2011. Land Cover Analysis in Wildland—Urban Interfaces According to Wildfire Risk: A Case Study in the South of France. Forest Ecology and Management. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.11.022

Lanet, M., Li, L., Ehret, A., Turquety, S., Le Treut, H., 2024. Attribution of Summer 2022 Extreme Wildfire Season in Southwest France to Anthropogenic Climate Change. npj Clim Atmos Sci. https://doi.org/10.1038/s41612-024-00821-z

Lanet, M., 2025. Substantial Increase in Wildfire Risk Projected under Anthropogenic Climate Change in Southwest France. Npj Natural Hasards (in revision). https://doi.org/10.1038/s44304-025-00124-0

Laranjeira, J. P. d. S., Cruz, H., 2014. Building Vulnerabilities to Fires at the Wildland Urban Interface. null. https://doi.org/10.14195/978-989-26-0884-6_76

Lazarina, M., Devalez, J., Neokosmidis, L., Sgardelis, S. P., Kallimanis, A. S., Tscheulin, T., Tsalkatis, P., Kourtidou, M., Mizerakis, V., Nakas, G., Palaiologou, P., Kalabokidis, K., Vujic, A., Petanidou, T., 2019. Moderate Fire Severity Is Best for the Diversity of Most of the Pollinator Guilds in Mediterranean Pine Forests. Ecology. https://doi.org/10.1002/ecy.2615

Le Fur, O., Savazzi, R., Maillé, E., Reymond, B., Kizirian, L., 2024. Classification Des Zones Bâties Vulnérables Aux Incendies Dans l'interface Bâtiments-Végétation : Démarche, Méthodologie et Utilisation. Ministère de la Transition Écologique, Direction Gestion et de la Prévention des Risque Naturels (DGPR).
Le Goix, R., Vacchiani-Marcuzzo, C., 2025. Fire Storms in Los Angeles: Davis' 'Ecology of Fear' Re-Read in the 21st Century. Cybergeo conversation. https://cybergeo.hypotheses.org/2344

Lee, J. Y., Ma, F., Li, Y., 2022. Understanding Homeowner Proactive Actions for Managing Wildfire Risks. Natural Hazards. https://doi.org/10.1007/s11069-022-05436-2

Li, D., Cova, T. J., Dennison, P. E., 2019. Setting Wildfire Evacuation Triggers by Coupling Fire and Traffic Simulation Models: A Spatiotemporal GIS Approach. Fire Technology. https://doi.org/10.1007/s10694-018-0771-6

Li, S., Banerjee, T., 2021. Spatial and Temporal Pattern of Wildfires in California from 2000 to 2019. Sci Rep. https://doi.org/10.1038/s41598-021-88131-9

Li, H., Su, J., 2024. Mitigating Wildfire Losses via Insurance-linked Securities: Modeling and Risk Management Perspectives. J of Risk et Insurance. https://doi.org/10.1111/jori.12449

Liu, F., Baijnath-Rodino, J. A., Chang, T. C., Banerjee, T., Venkatasubramanian, N., 2023. DOME: Drone-assisted Monitoring of Emergent Events For Wildland Fire Resilience. Acm/Ieee Iccps '23, May 9-12, 2023, San Antonio, Tx, Usa. https://doi.org/10.1145/3576841.3585929

Long-Fournel, M., MORGE, D., BOUILLON, C., JAPPIOT, M., 2013. La Cartographie Des Interfaces Habitat-Forêt : Un Outil de Diagnostic Territorial Dans La Prévention Du Risque d'incendie de Forêt Dans Le Sud de La France. Irstea. https://doi.org/10.14758/SET-REVUE.2013.HS.05

Lopes, L. F., Fernandes, P. M., Rego, F., Acácio, V., 2022. Public Funding Constrains Effective Postfire Emergency Restoration in Portugal. Restoration Ecology. https://doi.org/10.1111/rec.13769

Lopes, R. F. R., Rodrigues, J. P. C., Camargo, A. L., Tadeu, A. J. B., 2022. Resilience of Industrial Buildings to Wildland-Urban Interface Fires. IOP conference series. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1101/2/022034

Malamud, B. D., Morein, G., Turcotte, D. L., 1998. Forest Fires: An Example of Self-Organized Critical Behavior. Science. https://doi.org/10.1126/science.281.5384.1840

Mandel, J., Amram, S., Beezley, J. D., Kelman, G., Kochanski, A. K., Kondratenko, V. Y., Lynn, B. H., Regev, B., Vejmelka, M., 2014. Recent Advances and Applications of WRF—SFIRE. Nat. Hazards Earth Syst. Sci.. https://doi.org/10.5194/nhess-14-2829-2014

Manzello, S. L., Park, S. H., Suzuki, S., Shields, J. R., Hayashi, Y., 2011. Experimental Investigation of Structure Vulnerabilities to Firebrand Showers. Fire Safety Journal. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2011.09.003

Manzello, S. L., 2014. Enabling the Investigation of Structure Vulnerabilities to Wind- Driven Firebrand Showers in Wildland-Urban Interface (WUI) Fires. Fire Safety Science.
Manzello, S. L., Almand, 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. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2018.07.003

Manzello, S. L., Blanchi, R., Gollner, M. J., Gorham, D., McAllister, S., Pastor, E., Planas, E., Reszka, P., Suzuki, S., 2018. Summary of Workshop Large Outdoor Fires and the Built Environment. Fire Safety Journal. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2018.07.002

Marino, E., Madrigal, J., Guijarro, M., Hernando, C., Díez, C., Fernández, C., 2010. Flammability Descriptors of Fine Dead Fuels Resulting from Two Mechanical Treatments in Shrubland: A Comparative Laboratory Study. International Journal of Wildland Fire. https://doi.org/10.1071/wf08123

Marney, D., Russell, L. J., 2008. Combined Fire Retardant and Wood Preservative Treatments for Outdoor Wood Applications — A Review of the Literature. Fire Technology. https://doi.org/10.1007/s10694-007-0016-6

Marques, S., Borges, J. G., García-Gonzalo, J., Moreira, F., Carreiras, J. M. B., Oliveira, M. M., Cantarinha, A., Botequim, B., Pereira, J. M. C., 2011. Characterization of Wildfires in Portugal. European Journal of Forest Research. https://doi.org/10.1007/s10342-010-0470-4

Martin, I. M., Bender, H. W., Raish, C., 2007. Making the Decision to Mitigate Risk.
Martin, I. M., Bender, H. W., Raish, C., 2007. What Motivates Individuals to Protect Themselves from Risks: The Case of Wildland Fires. Risk Analysis. https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2007.00930.x

Masri, S., Scaduto, E., Jin, Y., Wu, J., 2021. Disproportionate Impacts of Wildfires among Elderly and Low-Income Communities in California from 2000—2020. IJERPH. https://doi.org/10.3390/ijerph18083921

McCaffrey, S., Stidham, M., Toman, E., Shindler, B., 2011. Outreach Programs, Peer Pressure, and Common Sense: What Motivates Homeowners to Mitigate Wildfire Risk?. Environmental Management. https://doi.org/10.1007/s00267-011-9704-6

McCaffrey, S., 2015. Community Wildfire Preparedness: A Global State-of-the-Knowledge Summary of Social Science Research. https://doi.org/10.1007/s40725-015-0015-7

McCarthy, N., Guyot, A., Dowdy, A., McGowan, H., 2019. Wildfire and Weather Radar: A Review. JGR Atmospheres. https://doi.org/10.1029/2018JD029285

McLennan, J., Elliott, G. A., Elliott, g. G. g. i. G., 2012. "Wait and See" : The Elephant in the Community Bushfire Safety Room?.
McLennan, J., Elliott, G. A., Elliott, g. G. g. i. G., Omodei, M. M., 2012. Householder Decision-Making under Imminent Wildfire Threat: Stay and Defend or Leave?. International Journal of Wildland Fire. https://doi.org/10.1071/wf11061

McLennan, B., Eburn, M., 2014. Exposing Hidden-Value Trade-Offs: Sharing Wildfire Management Responsibility between Government and Citizens. International Journal of Wildland Fire. https://doi.org/10.1071/wf12201

McLennan, J., Ryan, B., Bearman, C., Toh, K., 2019. Should We Leave Now? Behavioral Factors in Evacuation under Wildfire Threat. Fire Technology. https://doi.org/10.1007/s10694-018-0753-8

McNeill, I. M., Dunlop, P. D., Skinner, T., Morrison, D., 2015. Predicting Delay in Residents' Decisions on Defending v. Evacuating through Antecedents of Decision Avoidance. International Journal of Wildland Fire. https://doi.org/10.1071/wf12213

McNeill, I. M., Ronan, K. R., 2017. Children in Disasters: The Role of Household Preparedness. Natural Hazards. https://doi.org/10.1007/s11069-017-3019-8

Meldrum, J. R., Brenkert-Smith, H., Champ, P. A., Gomez, J., Byerly, H., Falk, L. C., Barth, C. M., 2021. Would You like to Know More? The Effect of Personalized Wildfire Risk Information and Social Comparisons on Information-Seeking Behavior in the Wildland—Urban Interface. Natural Hazards. https://doi.org/10.1007/s11069-021-04534-x

Méndez, M., Flores-Haro, G., Zucker, L., 2020. The (in) Visible Victims of Disaster: Understanding the Vulnerability of Undocumented Latino/a and Indigenous Immigrants. Geoforum. https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2020.07.007

Mills, G. A., McCaw, L., 2010. Atmospheric Stability Environments and Fire Weather in Australia — Extending the Haines Index. 20, CAWCR. Miraglia, S. G. E. K., Debone, D., Ribeiro, C., Barbosa, R. M., Tavella, R. A., Júnior, F. M. R. d. S., da Silva, Freitas, M., 2025. A Population under Smoke: Fire Events Trigger Severe Air Pollution in Portugal. Environmental Science and Pollution Research. https://doi.org/10.1007/s11356-025-36481-6

Mockrin, M. H., Stewart, S. I., Radeloff, V. C., Hammer, R. B., Alexandre, P. M., 2015. Adapting to Wildfire: Rebuilding After Home Loss. Society et Natural Resources. https://doi.org/10.1080/08941920.2015.1014596

Mockrin, M. H., Fishler, H. K., Stewart, S. I., 2018. Does Wildfire Open a Policy Window? Local Government and Community Adaptation After Fire in the United States. Environmental Management. https://doi.org/10.1007/s00267-018-1030-9

Mockrin, M. H., Fishler, H. K., Stewart, S. I., 2020. After the Fire: Perceptions of Land Use Planning to Reduce Wildfire Risk in Eight Communities across the United States. International journal of disaster risk reduction. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101444

Mockrin, M. H., Fishler, H. K., Kramer, H. A., Radeloff, V. C., Stewart, S. I., 2022. A Tale of Two Fires: Retreat and Rebound a Decade After Wildfires in California and South Carolina. Society et Natural Resources. https://doi.org/10.1080/08941920.2022.2081895

Monroe, M. C., Ballard, H. L., Oxarart, A., Sturtevant, V., Jakes, P. J., Evans, E., 2016. Agencies, Educators, Communities and Wildfire: Partnerships to Enhance Environmental Education for Youth. Environmental Education Research. https://doi.org/10.1080/13504622.2015.1057555

Morehouse, B. J., Henderson, M. L., Kalabokidis, K., Iosifides, T., 2011. Wildland Fire Governance: Perspectives from Greece. Journal of Environmental Policy et Planning. https://doi.org/10.1080/1523908x.2011.611678

Moreira, F., Viedma, O., Arianoutsou, M., Curt, T., Koutsias, N., Rigolot, E., Barbati, A., Corona, P., Vaz, P., Xanthopoulos, G., Mouillot, F., Bilgili, E., 2011. Landscape — Wildfire Interactions in Southern Europe: Implications for Landscape Management. Journal of Environmental Management. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.028

Moreira, F., Ascoli, D., Safford, H., Adams, M. A., Moreno, J. M., Pereira, J. M. C., Catry, F. X., Armesto, J., Bond, W., González, M. E., Curt, T., Koutsias, N., McCaw, L., Price, O., Pausas, J. G., Rigolot, E., Stephens, S., Tavsanoglu, C., Vallejo, V. R., Van Wilgen, B. W., Xanthopoulos, G., Fernandes, P. M., 2020. Wildfire Management in Mediterranean-type Regions: Paradigm Change Needed. Environ. Res. Lett.. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab541e

Moreno, J. M., Viedma, O., Zavala, G., Luna, B., 2011. Landscape Variables Influencing Forest Fires in Central Spain. International Journal of Wildland Fire. https://doi.org/10.1071/wf10005

Moritz, M. A., Batllori, E., Bradstock, R. A., Gill, A. M., Handmer, J., Hessburg, P. F., Leonard, J., McCaffrey, S., Odion, D. C., Schoennagel, T., Syphard, A. D., 2014. Learning to Coexist with Wildfire. Nature. https://doi.org/10.1038/nature13946

Morvan, N., Burel, F., Baudry, J., Tréhen, P., Bellido, A., Delettre, Y. R., Cluzeau, D., 1995. Landscape and Fire in Brittany Heathlands. Landscape and Urban Planning. https://doi.org/10.1016/0169-2046(94)01037-9

Mouillot, F., Rambal, S., Joffre, R., 2002. Simulating Climate Change Impacts on Fire Frequency and Vegetation Dynamics in a Mediterranean-type Ecosystem. Global Change Biology. https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2002.00494.x

Mouillot, F., Rambal, S., Joffre, R., 2002. Simulating Climate Change Impacts on Fire Frequency and Vegetation Dynamics in a Mediterranean-type Ecosystem. Global Change Biology. https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2002.00494.x

Nezval, V. c., Andrášik, R., Bíl, M., 2022. Vegetation Fires along the Czech Rail Network. fire ecol. https://doi.org/10.1186/s42408-022-00141-8

Nicolas, A., 2025. La résilience des opérations de secours face aux crises majeures. Le cas des feux de forêts et d'espaces naturels. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10078.14401

Nolan, R. H., Battaglia, M., Bowman, D. M. J. S., Clarke, H., Haynes, K., Ooi, M. K. J., Price, O., Williamson, G. J., Whittaker, J., Bedward, M., Boer, M. M., Cavanagh, V. I., Collins, L., Gibson, R. K., Griebel, A., Jenkins, M. E., Keith, D. A., Mcilwee, A. P., Penman, T. D., Samson, S., Tozer, M. G., Bradstock, R. A., 2021. What Do the Australian Black Summer Fires Signify for the Global Fire Crisis?. https://doi.org/10.3390/fire4040097

Noonan-Wright, E. K., Opperman, T. S., Finney, M. A., Zimmerman, G. T., Seli, R. C., Elenz, L. M., Calkin, D. E., Fiedler, J. R., 2011. Developing the US Wildland Fire Decision Support System. Journal of Combustion. https://doi.org/10.1155/2011/168473

Nunes, A., Pinto, C., Figueiredo, A., Lourenço, L., 2024. Planning Wildfire Evacuation in the Wildland—Urban Interfaces of Central Portugal. Fire. https://doi.org/10.3390/fire7060199

Oikonomou, A., Avramidou, M., Psomiadis, E., 2025. Earth Observation and Geospatial Analysis for Fire Risk Assessment in Wildland—Urban Interfaces: The Case of the Highly Dense Urban Area of Attica, Greece. Remote Sensing.
Oliveira, S., Oehler, F., San-Miguel-Ayanz, J., Camia, A., Pereira, J. M. C., 2012. Modeling Spatial Patterns of Fire Occurrence in Mediterranean Europe Using Multiple Regression and Random Forest. Forest Ecology and Management. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.03.003

Oliveira, T., Barros, A. M. G., Ager, A. A., Fernandes, P. M., 2016. Assessing the Effect of a Fuel Break Network to Reduce Burnt Area and Wildfire Risk Transmission. International Journal of Wildland Fire. https://doi.org/10.1071/wf15146

Ondei, S., Price, O. F., Bowman, D. M. J. S., 2024. Garden Design Can Reduce Wildfire Risk and Drive More Sustainable Co-Existence with Wildfire. npj Nat. Hazards. https://doi.org/10.1038/s44304-024-00012-z

Otero, I., Castellnou, M., González, I., Arilla, E., Castell, L., Castellví, J., Sánchez, F., Nielsen, J. Ø., 2018. Democratizing Wildfire Strategies. Do You Realize What It Means? Insights from a Participatory Process in the Montseny Region (Catalonia, Spain). PLOS ONE. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204806

Palsa, E., Bauer, M., Evers, C., Hamilton, M., Nielsen-Pincus, M., 2022. Engagement in Local and Collaborative Wildfire Risk Mitigation Planning across the Western U.S.—Evaluating Participation and Diversity in Community Wildfire Protection Plans. PLOS ONE. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263757

Papadopoulou, C. I., Kalogiannidis, S., Kalfas, D., Konteos, G., Kapageridis, I., 2025. Civil Protection in Greece's Cities and Regions: Multi-Hazard Performance, Systemic Gaps, and a Roadmap to Integrated Urban Resilience. Urban Science.
Parente, J., Tonini, M., Stamou, Z., Koutsias, N., Pereira, M., 2023. Quantitative Assessment of the Relationship between Land Use/Land Cover Changes and Wildfires in Southern Europe. Fire. https://doi.org/10.3390/fire6050198

Pärtel, M., Tamme, R., Carmona, C. P., Riibak, K., Moora, M., Bennett, J. A., Chiarucci, A., Chytrý, M., De Bello, F., Eriksson, O., Harrison, S., Lewis, R. J., Moles, A. T., Öpik, M., Price, J. N., Amputu, V., Askarizadeh, D., Atashgahi, Z., Aubin, I., Azcárate, F. M., Barrett, M. D., Bashirzadeh, M., Bátori, Z., Beenaerts, N., Bergholz, K., Birkeli, K., Biurrun, I., Blanco-Moreno, J. M., Bloodworth, K. J., Boisvert-Marsh, L., Boldgiv, B., Brancalion, P. H. S., Brearley, F. Q., Brown, C., Bueno, C. G., Buffa, G., Cahill, J. F., Campos, J. A., Cangelmi, G., Carbognani, M., Carcaillet, C., Cerabolini, B. E. L., Chevalier, R., Clavel, J. S., Costa, J. M., Cousins, S. A. O., Čuda, J., Dairel, M., Dalle Fratte, M., Danilova, A., Davison, J., Deák, B., Del Vecchio, S., Dembicz, I., Dengler, J., Dolezal, J., Domene, X., Dvorsky, M., Ejtehadi, H., Enrico, L., Epikhin, D., Eskelinen, A., Essl, F., Fan, G., Fantinato, E., Fazlioglu, F., Fernández-Pascual, E., Ferrara, A., Fidelis, A., Fischer, M., Flagmeier, M., Forte, T. a. G. W., Fraser, L. H., Fujinuma, J., Furquim, F. F., Garris, B., Garris, H. W., Giorgis, M. A., Giusso Del Galdo, G., González-Robles, A., Good, M. K., Guardiola, M., Guarino, R., Guerrero, I., Guillemot, J., Güler, B., Guo, Y., Haesen, S., Hejda, M., Heleno, R. H., Høye, T. T., Hrivnák, R., Huang, Y., Hunter, J. T., Iakushenko, D., Ibáñez, R., Ingerpuu, N., Irl, S. D. H., Janíková, E., et al., 2025. Global Impoverishment of Natural Vegetation Revealed by Dark Diversity. Nature. https://doi.org/10.1038/s41586-025-08814-5

Paschen, J. A., Beilin, R., 2017. How a Risk Focus in Emergency Management Can Restrict Community Resilience — a Case Study from Victoria, Australia. International Journal of Wildland Fire. https://doi.org/10.1071/wf16064

Pastor, E., Muñoz, J. A., Caballero, D., Àgueda, A., Dalmau, F., Planas, E., 2020. Wildland—Urban Interface Fires in Spain: Summary of the Policy Framework and Recommendations for Improvement. Fire Technol. https://doi.org/10.1007/s10694-019-00883-z

Pausas, J. G., Paula, S., 2012. Fuel Shapes the Fire—Climate Relationship: Evidence from Mediterranean Ecosystems. Global Ecology and Biogeography. https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2012.00769.x

Pausas, J. G., Keeley, J. E., Schwilk, D. W., 2017. Flammability as an Ecological and Evolutionary Driver. Journal of Ecology. https://doi.org/10.1111/1365-2745.12691

Pausas, J. G., Keeley, J. E., 2021. Wildfires and Global Change. Frontiers in Ecology and the Environment. https://doi.org/10.1002/fee.2359

Paveglio, T. B., Boyd, A. D., Carroll, M. S., 2012. Wildfire Evacuation and Its Alternatives in a Post-Black Saturday Landscape: Catchy Slogans and Cautionary Tales. Environmental Hazards. https://doi.org/10.1080/17477891.2011.635185

Paveglio, T. B., Prato, T., Dalenberg, D., Venn, T. J., 2014. Understanding Evacuation Preferences and Wildfire Mitigations among Northwest Montana Residents. International Journal of Wildland Fire. https://doi.org/10.1071/wf13057

Paveglio, T. B., Moseley, C., Carroll, M. S., Williams, D. R., Davis, E. J., Fischer, A. P., 2015. Categorizing the Social Context of the Wildland Urban Interface: Adaptive Capacity for Wildfire and Community "Archetypes". Forest Science. https://doi.org/10.5849/forsci.14-036

Paveglio, T. B., Edgeley, C. M., 2017. Community Diversity and Hazard Events: Understanding the Evolution of Local Approaches to Wildfire. Natural Hazards. https://doi.org/10.1007/s11069-017-2810-x

Paveglio, T. B., Edgeley, C. M., Stasiewicz, A. M., 2018. Assessing Influences on Social Vulnerability to Wildfire Using Surveys, Spatial Data and Wildfire Simulations. Journal of Environmental Management. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.02.068

Paveglio, T. B., Shriner-Beaton, A. R., 2024. Exploring Support and Opposition to Regulatory Approaches for Wildfire Risk Management: Requirements, Voluntary Actions, and Tailored Local Action. Nat Hazards. https://doi.org/10.1007/s11069-024-06702-1

Paveglio, T. B., Schmidt, A., Medley-Daniel, M., 2024. The Fire Adapted Communities Pathways Tool: Facilitating Social Learning and a Science of Practice. Journal of Forestry. https://doi.org/10.1093/jofore/fvad044

Pechony, O., Shindell, D. T., 2010. Driving Forces of Global Wildfires over the Past Millennium and the Forthcoming Century. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. https://doi.org/10.1073/pnas.1003669107

Pellas, T.. Planning for the Wild—Urban Interface. Penney, G., Launder, D., Cuthbertson, J., Thompson, M. B., 2022. Threat Assessment, Sense Making, and Critical Decision-Making in Police, Military, Ambulance, and Fire Services. Cogn Tech Work. https://doi.org/10.1007/s10111-022-00694-3

Penney, G., Baker, G., Valencia, A., Gorham, D., 2024. Urban Design and Wildfire Engineering at the Wildland-Urban Interface: A Review of International Urban Planning and Building Requirements. AJEM. https://doi.org/10.47389/39.4.53

Pérez, B., Cruz, A., Fernández-González, F., Moreno, J. M., 2003. Effects of the Recent Land-Use History on the Postfire Vegetation of Uplands in Central Spain. Forest Ecology and Management. https://doi.org/10.1016/s0378-1127(03)00069-0

Pimont, F., Fargeon, H., Opitz, T., Ruffault, J., Barbero, R., Martin-StPaul, N., Rigolot, E., RiviÉre, M., Dupuy, J. L., 2021. Prediction of Regional Wildfire Activity in the Probabilistic Bayesian Framework of Firelihood. Ecological Applications. https://doi.org/10.1002/eap.2316

Potapov, P., Tyukavina, A., Turubanova, S., Hansen, M. C., Giglio, L., Hernandez-Serna, A., Lima, A., Harris, N., Stolle, F., 2025. Unprecedentedly High Global Forest Disturbance Due to Fire in 2023 and 2024. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.. https://doi.org/10.1073/pnas.2505418122

Preston, B. L., Brooke, C., Measham, T. G., Smith, T. F., Gorddard, R., 2009. Igniting Change in Local Government: Lessons Learned from a Bushfire Vulnerability Assessment. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. https://doi.org/10.1007/s11027-008-9163-4

Price, O., Bradstock, R. A., 2013. Landscape Scale Influences of Forest Area and Housing Density on House Loss in the 2009 Victorian Bushfires. PLOS ONE. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0073421

Price, O. F., Whittaker, J., Gibbons, P., Bradstock, R., 2021. Comprehensive Examination of the Determinants of Damage to Houses in Two Wildfires in Eastern Australia in 2013. Fire. https://doi.org/10.3390/fire4030044

Prowse, T. A. A., Collard, S. J., Blackwood, A., O'Connor, P. J., Delean, S., Barnes, M., Cassey, P., Possingham, H. P., 2017. Prescribed Burning Impacts Avian Diversity and Disadvantages Woodland-Specialist Birds Unless Long-Unburnt Habitat Is Retained. Biological Conservation. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.09.005

Purnomo, D. M. J., Qin, Y., Theodori, M., Zamanialaei, M., Lautenberger, C., Trouvé, A., Gollner, M., 2024. Reconstructing Modes of Destruction in Wildland—Urban Interface Fires Using a Semi-Physical Level-Set Model. Proceedings of the Combustion Institute. https://doi.org/10.1016/j.proci.2024.105755

Radeloff, V. C., Hammer, R. B., Stewart, S. I., Fried, J. S., Holcomb, S. S., McKeefry, J. F., 2005. The Wildland-Urban Interface in the United States. Ecological Applications. https://doi.org/10.1890/04-1413

Radeloff, V. C., Helmers, D. P., Kramer, H. A., Mockrin, M. H., Alexandre, P. M., Bar-Massada, A., Butsic, V., Hawbaker, T. J., Martinuzzi, S., Syphard, A. D., Stewart, S. I., 2018. Rapid Growth of the US Wildland-Urban Interface Raises Wildfire Risk. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.. https://doi.org/10.1073/pnas.1718850115

Ravoire, J., Szcrupak, J., Brun, M., Petit-Berghem, Y., 2024. Le Paysage Comme Outil de Planification Territoriale Du Risque Incendie : Le Cas Des Interfaces Habitat-Forêt (IHF) En Région Méditerranéenne. paysage. https://doi.org/10.4000/13fad

Reams, M. A., Haines, T. K., Renner, C. R., Wascom, M. W., Kingre, H., 2005. Goals, Obstacles and Effective Strategies of Wildfire Mitigation Programs in the Wildland—Urban Interface. Forest Policy and Economics. https://doi.org/10.1016/j.forpol.2005.03.006

Reed, W. J., McKelvey, K. S., 2002. Power-Law Behaviour and Parametric Models for the Size-Distribution of Forest Fires. Ecological Modelling. https://doi.org/10.1016/S0304-3800(01)00483-5

Reid, K., Beilin, R., McLennan, J., 2020. Communities and Responsibility: Narratives of Place-Identity in Australian Bushfire Landscapes. Geoforum. https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2019.12.015

Reimer, B., Kulig, J. C., Edge, D. S., Lightfoot, N., Townshend, I., 2013. The Lost Creek Fire: Managing Social Relations under Disaster Conditions. Disasters. https://doi.org/10.1111/j.1467-7717.2012.01298.x

Remenick, L., 2018. The Role of Communication in Preparation for Wildland Fire: A Literature Review. Environmental Communication. https://doi.org/10.1080/17524032.2017.1346519

Retana, J., Maria Espelta, J., Habrouk, A., Luis OrdoÑEz, J., De Solà-Morales, F., 2002. Regeneration Patterns of Three Mediterranean Pines and Forest Changes after a Large Wildfire in Northeastern Spain. Écoscience. https://doi.org/10.1080/11956860.2002.11682694

Rhodes, A., 2011. Opinion: Ready or Not?: Can Community Education Increase Householder Preparedness for Bushfire?. The Australian journal of emergency management.
Ricci, F., Scarponi, G. E., Pastor, E., Planas, E., Cozzani, V., 2021. Safety Distances for Storage Tanks to Prevent Fire Damage in Wildland-Industrial Interface. Process Safety and Environmental Protection. https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.01.002

Rivière, M., Lenglet, J., Noirault, A., Pimont, F., Dupuy, J. L., 2023. Mapping Territorial Vulnerability to Wildfires: A Participative Multi-Criteria Analysis. Forest Ecology and Management. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121014

Rodríguez Y Silva, F., O'Connor, C. D., Thompson, M. P., Molina Martínez, J. R., Calkin, D. E., 2020. Modelling Suppression Difficulty: Current and Future Applications. International Journal of Wildland Fire. https://doi.org/10.1071/WF19042

Ronchi, E., Gwynne, S. M. V., Rein, G., Intini, P., Wadhwani, R., 2019. An Open Multi-Physics Framework for Modelling Wildland-Urban Interface Fire Evacuations. Safety Science. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.06.009

Roshan, A., Biswas, A., 2023. Fire-Induced Geochemical Changes in Soil: Implication for the Element Cycling. Science of The Total Environment. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161714

Royé, D., Tedim, F., Martín-Vide, J., Salis, M., Vendrell, J., Lovreglio, R., Bouillon, C., Leone, V., 2020. Wildfire Burnt Area Patterns and Trends in Western Mediterranean Europe via the Application of a Concentration Index. Land Degradation et Development. https://doi.org/10.1002/ldr.3450

Ruffault, J., Mouillot, F., 2015. How a New Fire-Suppression Policy Can Abruptly Reshape the Fire-Weather Relationship. Ecosphere. https://doi.org/10.1890/es15-00182.1

Ruffault, J., Mouillot, F., 2017. Contribution of Human and Biophysical Factors to the Spatial Distribution of Forest Fire Ignitions and Large Wildfires in a French Mediterranean Region. International Journal of Wildland Fire. https://doi.org/10.1071/wf16181

Ruffault, J., Moron, V., Trigo, R. M., Curt, T., 2017. Daily Synoptic Conditions Associated with Large Fire Occurrence in Mediterranean France: Evidence for a Wind-driven Fire Regime. International Journal of Climatology. https://doi.org/10.1002/joc.4680

Ruffault, J., Curt, T., Martin-StPaul, N. K., Moron, V., Trigo, R. M., 2018. Extreme Wildfire Events Are Linked to Global-Change-Type Droughts in the Northern Mediterranean. Natural Hazards and Earth System Sciences. https://doi.org/10.5194/nhess-18-847-2018

Sairi, A., Labed, S., Miles, B., Kout, A., 2023. A Review on Early Forest Fire Detection Using IoT-enabled WSN. 2023 International Conference on Advances in Electronics, Control and. https://doi.org/10.1109/icaeccs56710.2023.10104887

Salis, M., Giudice, L. D., Jahdi, R., Alcasena, F. J., Scarpa, C., Pellizzaro, G., Bacciu, V., Schirru, M., Ventura, A., Casula, M., Pedes, F., Canu, A., Duce, P., Arca, B., 2022. Spatial Patterns and Intensity of Land Abandonment Drive Wildfire Hazard and Likelihood in Mediterranean Agropastoral Areas. Land. https://doi.org/10.3390/land11111942

Samora-Arvela, A., Aranha, J., Correia, F., Pinto, D. M., Magalhães, C., Tedim, F., 2023. Understanding Building Resistance to Wildfires: A Multi-Factor Approach. Fire. https://doi.org/10.3390/fire6010032

San-Miguel-Ayanz, J., Schulte, E., Schmuck, G., Camia, A., Strobl, P., Liberta, G., Giovando, C., Boca, R., Sedano, F., Kempeneers, P., McInerney, D., Withmore, C., De Oliveira, S. S., Rodrigues, M., Durrant, T., Corti, P., Oehler, F., Vilar, L., Amatulli, G., 2012. Comprehensive Monitoring of Wildfires in Europe: The European Forest Fire Information System (EFFIS). Approaches to Managing Disaster - Assessing Hazards, Emergencies and Disaster Impacts. https://doi.org/10.5772/28441

Sanseverino-Godfrin, V., Le Goff, E., 2003. Plans de Prévention Des Risques Incendie de Forêt et Acceptabilité Des Contraintes Eléments de Réflexions Juridiques. Forêt Méditerranéenne.
Scarponi, G. E., Pastor, E., Planas, E., Cozzani, V., 2020. Analysis of the Impact of Wildland-Urban-Interface Fires on LPG Domestic Tanks. Safety Science. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.104588

Schug, F., Bar-Massada, A., Carlson, A. R., Cox, H., Hawbaker, T. J., Helmers, D., Hostert, P., Kaim, D., Kasraee, N. K., Martinuzzi, S., Mockrin, M. H., Pfoch, K. A., Radeloff, V. C., 2023. The Global Wildland—Urban Interface. Nature. https://doi.org/10.1038/s41586-023-06320-0

Sherritt, B., Nejadgholi, I., Amini, M., 2025. Analysis of Canadian Wildfire Tweets Over Seven Years. the 38th Canadian Conference on Artificial Intelligence, 26-29 May 2025,.
Singh, H., Ang, L. M., Paudyal, D., Acuña, M., Srivastava, P. K., Srivastava, S. K., 2025. A Comprehensive Review of Empirical and Dynamic Wildfire Simulators and Machine Learning Techniques Used for the Prediction of Wildfire in Australia. Technology Knowledge and Learning. https://doi.org/10.1007/s10758-025-09839-5

Smith, A. M. S., Kolden, C. A., Paveglio, T. B., Cochrane, M. A., Bowman, D. M. J. S., Moritz, M. A., Kliskey, A., Alessa, L., Hudak, A. T., Hoffman, C. M., Lutz, J. A., Queen, L. P., Goetz, S. J., Higuera, P. E., Boschetti, L., Flannigan, M. D., Yedinak, K. M., Watts, A. C., Strand, E. K., Wagtendonk, g. J. W. p. v. u. f., Anderson, J. W., Stocks, B. J., Abatzoglou, J. T., 2016. The Science of Firescapes: Achieving Fire-Resilient Communities. BioScience. https://doi.org/10.1093/biosci/biv182

Sobrino, J. A., 2024. Methodology for Burned Areas Delimitation and Fire Severity Assessment Using Sentinel-2 Data. A Case Study of Forest Fires Occurred in Spain between 2018 and 2023. Recent advances in remote sensing. https://doi.org/10.62880/rars240002

Sorensen, J. H., 2000. Hazard Warning Systems: Review of 20 Years of Progress. Natural Hazards Review. https://doi.org/10.1061/(asce)1527-6988(2000)1:2(119)

Soto, M. E. C., Martínez, J. R. M., B, S. B., García, R. A. M., 2022. Calculating Minimum Safety Distance against Wildfires at the Wildland-Urban Interface in Chile and Spain. Heliyon. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11238

Spearing, L. A., Faust, K. M., 2020. Cascading System Impacts of the 2018 Camp Fire in California: The Interdependent Provision of Infrastructure Services to Displaced Populations. International journal of disaster risk reduction. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101822

Spies, T. A., White, E. M., Kline, J. D., Fischer, A. P., Ager, A. A., Bailey, J. D., Bolte, J. P., Koch, J., Platt, E., Olsen, C. S., Jacobs, D., Shindler, B., Steen-Adams, M. M., Hammer, R. B., 2014. Examining Fire-Prone Forest Landscapes as Coupled Human and Natural Systems. Ecology and Society. https://doi.org/10.5751/es-06584-190309

Srock, A. F., Charney, J. J., Potter, B. E., Goodrick, S. L., 2018. The Hot-Dry-Windy Index: A New Fire Weather Index. Atmosphere. https://doi.org/10.3390/atmos9070279

Stasiewicz, A. M., Paveglio, T. B., 2021. Preparing for Wildfire Evacuation and Alternatives: Exploring Influences on Residents' Intended Evacuation Behaviors and Mitigations. International journal of disaster risk reduction. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102177

Steelman, T. A., McCaffrey, S., 2011. What Is Limiting More Flexible Fire Management—Public or Agency Pressure?. Journal of Forestry. https://doi.org/10.1093/jof/109.8.454

Stephens, K. K., Powers, C. J., Robertson, B. W., Spearing, L. A., Collier, J. C., Tich, K. P., Smith, W. R., 2022. Building More Resilient Communities with a Wildfire Preparedness Drill in the U.S.: Individual and Community Influences and Communication Practices. Journal of Contingencies and Crisis Management. https://doi.org/10.1111/1468-5973.12402

Stonesifer, C. S., Calkin, D. E., Thompson, M. P., Stockmann, K. D., 2016. Fighting Fire in the Heat of the Day: An Analysis of Operational and Environmental Conditions of Use for Large Airtankers in United States Fire Suppression. International Journal of Wildland Fire. https://doi.org/10.1071/wf15149

Strahan, K., Gilbert, J., 2021. Protective Decision-Making in Bushfire Part 1: A Rapid Systematic Review of the 'Wait and See' Literature. Fire. https://doi.org/10.3390/fire4010004

Strahan, K. W., Gilbert, J. D., 2021. Protective Decision-Making in Bushfire Part 2: A Rapid Systematic Review of the 'Leave Early' Literature. https://doi.org/10.3390/fire4030042

Sullivan, A. L., 2009. A Review of Wildland Fire Spread Modelling, 1990-Present 2: Empirical and Quasi-Empirical Models. International Journal of Wildland Fire. https://doi.org/10.1071/wf06142

Sullivan, A. L., 2009. Wildland Surface Fire Spread Modelling, 1990 - 2007. 1: Physical and Quasi-Physical Models. Int. J. Wildland Fire. https://doi.org/10.1071/WF06143

Swain, D. L., Prein, A. F., Abatzoglou, J. T., Albano, C. M., Brunner, M., Diffenbaugh, N. S., Singh, D., Skinner, C. B., Touma, D., 2025. Hydroclimate Volatility on a Warming Earth. Nat Rev Earth Environ. https://doi.org/10.1038/s43017-024-00624-z

Syphard, A. D., Keeley, J. E., Massada, A. B., Brennan, T. J., Radeloff, V. C., 2012. Housing Arrangement and Location Determine the Likelihood of Housing Loss Due to Wildfire. PLOS ONE. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0033954

Syphard, A. D., Bar Massada, A., Butsic, V., Keeley, J. E., 2013. Land Use Planning and Wildfire: Development Policies Influence Future Probability of Housing Loss. PLoS ONE. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0071708

Syphard, A. D., Massada, A. B., Van Butsic, Keeley, J. E., 2013. Land Use Planning and Wildfire: Development Policies Influence Future Probability of Housing Loss. PLOS ONE. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0071708

Syphard, A. D., Brennan, T. J., Keeley, J. E., 2014. The Role of Defensible Space for Residential Structure Protection during Wildfires. International Journal of Wildland Fire. https://doi.org/10.1071/wf13158

Syphard, A. D., Butsic, V., Bar-Massada, A., Keeley, J. E., Tracey, J. A., Fisher, R. N., 2016. Setting Priorities for Private Land Conservation in Fire-Prone Landscapes: Are Fire Risk Reduction and Biodiversity Conservation Competing or Compatible Objectives?. EetS. https://doi.org/10.5751/ES-08410-210302

Syphard, A. D., Sheehan, T. H., Rustigian-Romsos, H., Ferschweiler, K., 2018. Mapping Future Fire Probability under Climate Change: Does Vegetation Matter?. PLOS ONE. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201680

Syphard, A. D., Keeley, J. E., 2019. Factors Associated with Structure Loss in the 2013—2018 California Wildfires. https://doi.org/10.3390/fire2030049

Tàbara, J. D., Saurí , D., Cerdan, R., 2003. Forest Fire Risk Management and Public Participation in Changing Socioenvironmental Conditions: A Case Study in a Mediterranean Region. Risk Analysis. https://doi.org/10.1111/1539-6924.00305

Taccaliti, F., Marzano, R., Bell, T. L., Lingua, E., 2023. Wildland—Urban Interface: Definition and Physical Fire Risk Mitigation Measures, a Systematic Review. Fire. https://doi.org/10.3390/fire6090343

Takahashi, F., 2019. Whole-House Fire Blanket Protection From Wildland-Urban Interface Fires. Frontiers in Mechanical Engineering. https://doi.org/10.3389/fmech.2019.00060

Taylor, J. G., Gillette, S. C., Hodgson, R. W., Downing, J. L., 2005. Communicating with Wildland Interface Communities during Wildfire. https://doi.org/10.3133/ofr20051061

Taylor, J. G., Gillette, S. C., Hodgson, R. W., Downing, J. L., Burns, M., Chavez, D. J., Hogan, J., 2007. Informing the Network: Improving Communication with Interface Communities during Wildland Fire. Human Ecology Review.
Taylor, M. R., Lynch, E., Burns, P., Eustace, G., 2015. The Preparedness and Evacuation Behaviour of Pet Owners in Emergencies and Natural Disasters. The Australian journal of emergency management. https://doi.org/10.3316/ielapa.176309304460819

Teckentrup, L., Harrison, S. P., Hantson, S., Heil, A., Melton, J. R., Forrest, M. S., Li, F., Yue, C., Arneth, A., Hickler, T., Sitch, S., Lasslop, G., 2019. Response of Simulated Burned Area to Historical Changes in Environmental and Anthropogenic Factors: A Comparison of Seven Fire Models. Biogeosciences. https://doi.org/10.5194/bg-16-3883-2019

Tedim, F., Leone, V., Xanthopoulos, G., 2016. A Wildfire Risk Management Concept Based on a Social-Ecological Approach in the European Union: Fire Smart Territory. International Journal of Disaster Risk Reduction. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2016.06.005

Tedim, F., Leone, V., Amraoui, M., Bouillon, C., Coughlan, M. R., Delogu, G. M., Fernandes, P. M., Ferreira, C., McCaffrey, S., McGee, T. K., 2018. Defining Extreme Wildfire Events: Difficulties, Challenges, and Impacts. Fire. https://doi.org/10.3390/fire1010009

Tedim, F., Samora-Arvela, A., Aranha, J., Coimbra, C., Correia, F., Pinto, D. M., 2023. Bridging Knowledge Gaps on the Role of Spatial Planning in Wildfire Risk Reduction: Insights from Portugal. International Journal of Wildland Fire. https://doi.org/10.1071/wf22131

Teymoor Seydi, S., Abatzoglou, J. T., Jones, M. W., Kolden, C. A., Filippelli, G., Hurteau, M. D., AghaKouchak, A., Luce, C. H., Miao, C., Sadegh, M., 2025. Increasing Global Human Exposure to Wildland Fires despite Declining Burned Area. Science. https://doi.org/10.1126/science.adu6408

Thomas, A. S., Escobedo, F. J., Sloggy, M. R., Sánchez, J. J., 2022. A Burning Issue: Reviewing the Socio-Demographic and Environmental Justice Aspects of the Wildfire Literature. PLoS ONE. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0271019

Thompson, M. P., Calkin, D. E., Herynk, J. M., McHugh, C. W., Short, K. C., 2013. Airtankers and Wildfire Management in the US Forest Service: Examining Data Availability and Exploring Usage and Cost Trends. International Journal of Wildland Fire. https://doi.org/10.1071/wf11041

Tihay-Felicelli, V., Barboni, T., Morandini, F., Santoni, P. A., Pieri, A., Luciani, C., Martinent, B., Graziani, A., Pérez-Ramirez, Y., Chiaramonti, N., Setti, M., 2023. Overview of the Platform for Experimentation and Awareness-Raising on Fire Risks at Wildland Urban Interfaces (EXPLORII Platform). International Journal of Disaster Risk Reduction. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2023.103980

Tihay-Felicelli, V., Meerpoel-Pietri, K., Santoni, P. A., Perez-Ramirez, Y., Graziani, A., Morandini, F., Luciani, C., Mell, W., Maranghides, A., 2025. Characterisation of Hedge Burning in the Context of Wildland Urban Interface. Fire and Materials. https://doi.org/10.1002/fam.3266

Toman, E., Stidham, M., McCaffrey, S., Shindler, B., 2013. Social Science at the Wildland-Urban Interface: A Compendium of Research Results to Create Fire-Adapted Communities. https://doi.org/10.2737/nrs-gtr-111

Toman, E., Shindler, B., McCaffrey, S., Bennett, J. B., 2014. Public Acceptance of Wildland Fire and Fuel Management: Panel Responses in Seven Locations. Environmental Management. https://doi.org/10.1007/s00267-014-0327-6

Tory, K. J., Kepert, J. D., 2021. Pyrocumulonimbus Firepower Threshold: Assessing the Atmospheric Potential for pyroCb. Weather and Forecasting. https://doi.org/10.1175/WAF-D-20-0027.1

Towers, B., 2015. Children's Knowledge of Bushfire Emergency Response. International Journal of Wildland Fire. https://doi.org/10.1071/wf13153

Toy-Opazo, O., Fuentes-Ramírez, A., Palma-Soto, V., García, R. A., Moloney, K. A., Demarco, R., Fuentes-Castillo, A., 2024. Flammability Features of Native and Non-Native Woody Species from the Southernmost Ecosystems: A Review. Fire Ecology. https://doi.org/10.1186/s42408-024-00250-6

Triantafillidou, A., Yannas, P., 2023. Coping with Natural Disasters: Political Leadership Framing of the 2018 Wildfires in Greece. Journal of Contingencies and Crisis Management.
Troy, A., Moghaddas, J. J., Schmidt, D. A., Romsos, J. S., Sapsis, D. B., Brewer, W. L., Moody, T., 2022. An Analysis of Factors Influencing Structure Loss Resulting from the 2018 Camp Fire. null. https://doi.org/10.1071/wf21176

Turco, M., Bedia, J., Liberto, F. D., Fiorucci, P., Hardenberg, g. J. p. v. u. f., Koutsias, N., Llasat, M. C., Xystrakis, F., Provenzale, A., 2016. Decreasing Fires in Mediterranean Europe. PLOS ONE. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150663

Turco, M., Rosa-Cánovas, J. J., Bedia, J., Jerez, S., Montávez, J. P., Llasat, M. C., Provenzale, A., 2018. Exacerbated Fires in Mediterranean Europe Due to Anthropogenic Warming Projected with Non-Stationary Climate-Fire Models. Nat Commun. https://doi.org/10.1038/s41467-018-06358-z

Tutan, M. N., 2025. Blame Games of Weather-Related Disasters: A Qualitative Research on Political Rhetoric of Government and Opposition in Türkiye. Review of Policy Research.
Urbieta, I. R., Zavala, G., Bedia, J., Gutiérrez, J. M., Gutiérrez, J. M., Miguel-Ayanz, J. S., Camia, A., Keeley, J. E., Moreno, J. M., 2015. Fire Activity as a Function of Fire-Weather Seasonal Severity and Antecedent Climate across Spatial Scales in Southern Europe and Pacific Western USA. Environmental Research Letters. https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/11/114013

Vaiciulyte, S., Hulse, L. M., Galea, E. R., Veeraswamy, A., 2022. Exploring 'Wait and See' Responses in French and Australian WUI Wildfire Emergencies. Safety Science. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.105866

Vázquez, A., Moreno, J. S. O., Moreno, J. M., 1998. Patterns of Lightning-, and People-Caused Fires in Peninsular Spain. International Journal of Wildland Fire. https://doi.org/10.1071/wf9980103

Vieira, F. N., Dias, M. F., Rodrigues, J. P. C., Lopes, R. F. R., 2022. Study of Building Vulnerabilities to Forest Fires in Portugal. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1101/2/022022

Vilar, L., Camia, A., San-Miguel-Ayanz, J., Martín, M. P., 2016. Modeling Temporal Changes in Human-Caused Wildfires in Mediterranean Europe Based on Land Use-Land Cover Interfaces. Forest Ecology and Management. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.07.020

Vukomanovic, J., Skrip, M. M., Meentemeyer, R. K., 2019. Making It Spatial Makes It Personal: Engaging Stakeholders with Geospatial Participatory Modeling. Land. https://doi.org/10.3390/land8020038

Wagner, C. E. V., 1987. Development and Structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System. Minister of Supply and Services Canada.
Walpole, H. D., Wilson, R. S., McCaffrey, S., 2020. If You Love It, Let It Go: The Role of Home Attachment in Wildfire Evacuation Decisions. Environment Systems and Decisions. https://doi.org/10.1007/s10669-019-09741-3

Wang, H. H., 2011. Analysis on Downwind Distribution of Firebrands Sourced from a Wildland Fire. Fire Technology. https://doi.org/10.1007/s10694-009-0134-4

Wang, D. P., Guan, D., Zhu, S., Kinnon, M. M., Geng, G., Zhang, Q., Meng, J., Zheng, H., Lei, T., Shao, S., Gong, P., Davis, S. J., 2020. Economic Footprint of California Wildfires in 2018. https://doi.org/10.1038/s41893-020-00646-7

Wang, Y., Gibson, L., Beshir, M., Rush, D., 2021. Determination of Critical Separation Distance Between Dwellings in Informal Settlements Fire. Fire Technol. https://doi.org/10.1007/s10694-020-01075-w

Werth, P., Potter, B. E., Alexander, M. E., Clements, C. B., Cruz, M. G., Finney, M. A., Forthofer, J., Goodrick, S. L., Hoffman, C. M., Jolly, W. M., McAllister, S., Ottmar, R. D., Parsons, R. A., 2016. Synthesis of Knowledge of Extreme Fire Behavior: Volume 2 for Fire Behavior Specialists, Researchers, and Meteorologists.
Whittaker, J., Haynes, K., Handmer, J., McLennan, J., 2013. Community Safety during the 2009 Australian 'Black Saturday' Bushfires: An Analysis of Household Preparedness and Response. Int. J. Wildland Fire. https://doi.org/10.1071/WF12010

Whittaker, J., Taylor, M. R., Bearman, C., 2020. Why Don't Bushfire Warnings Work as Intended? Responses to Official Warnings during Bushfires in New South Wales, Australia. International journal of disaster risk reduction. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101476

Wilkinson, C., Eriksen, C., Penman, T. D., 2016. Into the Firing Line: Civilian Ingress during the 2013 "Red October" Bushfires, Australia. Natural Hazards. https://doi.org/10.1007/s11069-015-1982-5

Williams, C. J., Pierson, F. B., Robichaud, P. R., Boll, J., 2014. Hydrologic and Erosion Responses to Wildfire along the Rangeland-Xeric Forest Continuum in the Western US: A Review and Model of Hydrologic Vulnerability. International Journal of Wildland Fire. https://doi.org/10.1071/wf12161

Wooster, M. J., Roberts, G., Giglio, L., Roy, D. P., Freeborn, P. H., Boschetti, L., Justice, C., Ichoku, C., Schroeder, W., Davies, D. K., Davies, D., Smith, A., Setzer, A., Csiszar, I., Strydom, T., Frost, P., Zhang, T., Xu, W., Jong, g. M. C. p. d. u. f., Johnston, J. M., Ellison, L., Vadrevu, K. P., McCarty, J. L., Tanpipat, V., Schmidt, C. C., San-Miguel, J. F., 2021. Satellite Remote Sensing of Active Fires: History and Current Status, Applications and Future Requirements. Remote Sensing of Environment. https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112694

Xu, J., Nair, D. J., Waller, S. T., 2025. Implementing Equitable Wildfire Response Plans. Science. https://doi.org/10.1126/science.adv8893

Xu, W., Wooster, M. J., He, J., Meraner, A., Gomez-Dans, J., Liu, Z., Trigo, I. F., Dutra, E., 2026. Major Improvements in Spaceborne Early Fire Detection and Small-Fire FRP Retrieval with the Meteosat Third Generation Flexible Combined Imager. Science of Remote Sensing. https://doi.org/10.1016/j.srs.2026.100366

Yang, S., Huang, Q., Yu, M., 2024. Advancements in Remote Sensing for Active Fire Detection: A Review of Datasets and Methods. Science of The Total Environment. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173273

Yıldız, D., Lucas, C., Davison, A., 2025. Firing the Imagination? A Visual Analysis of Bushfire Preparedness Videos from Australian Fire Agencies, 2015-2022. International Journal of Disaster Risk Reduction. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2025.105644

Zamanialaei, M., San Martin, D., Theodori, M., Purnomo, D. M. J., Tohidi, A., Lautenberger, C., Qin, Y., Trouvé, A., Gollner, M., 2025. Fire Risk to Structures in California's Wildland-Urban Interface. Nat Commun. https://doi.org/10.1038/s41467-025-63386-2

Zavala, M. A., Espelta, J. M., Retana, J., 2000. Constraints and Trade-Offs in Mediterranean Plant Communities: The Case of Holm Oak-Aleppo Pine Forests. Bot. Rev. https://doi.org/10.1007/BF02857785

Zhang, C., Lambrou, N., Kolden, C., Loukaitou-Sideris, A., 2025. Identifying Misalignments in Wildfire Management: Opportunities for Plan Integration and Stakeholder Collaboration. Journal of Environmental Management. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.126274

Zhuang, Y., Fu, R., Santer, B. D., Dickinson, R. E., Hall, A., 2021. Quantifying Contributions of Natural Variability and Anthropogenic Forcings on Increased Fire Weather Risk over the Western United States. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. https://doi.org/10.1073/pnas.2111875118

# Annexe 1 : Références des rapports et textes législatifs récents sur les incendies en France


Bacci, J., Loisier, A. C., Martin, P., Rietmann, O., 2022. Feux de forêt et de végétation : prévenir l'embrasement. Rapport d'information, 856 (2021-2022), Sénat.
https://www.senat.fr/rap/r21-856/r21-856.html

Chambre régionale des comptes Nouvelle-Aquitaine, 2024. Changement climatique, incendie et gestion des forêts dans les Landes de Gascogne : départements des Landes et de la Gironde. Rapport thématique régional, Cour des comptes.
https://www.ccomptes.fr/sites/default/files/2024-09/NAR2024-073.pdf

Cour des comptes, 2024. La gestion durable de la forêt métropolitaine, quelle adaptation au changement climatique ? Rapport public annuel 2024, Cour des comptes.
https://www.ccomptes.fr/sites/default/files/2024-03/20240312-RPA-2024-ENPA-gestion-durable-foret-metropolitaine.pdf

Durand, J. M., Piveteau, V., Cannard, P. Leuret, C., Mortier, F., 2023. Politique de prévention et de lutte contre l'incendie de forêt dans un contexte d'extension et d'intensification du risque dû au changement climatique. Tome 1 : « Faire face à court terme ». Rapport, 014386-01, 014362-01 ; 22032-R1, CGAAER, IGA et IGEDD.
https://igedd.documentation.developpement-durable.gouv.fr/documents/Affaires-0012744/014386-01_rapport-publie_tome_1.pdf

Durand, J. M., Piveteau, V., Cannard, P., Leuret, C., Mortier, F., 2023. Politique de prévention et de lutte contre l'incendie de forêt dans un contexte d'extension et d'intensification du risque dû au changement climatique. Tome 2 : « S'adapter au changement d'ère : apprendre à vivre avec le feu pour les moyen et long termes ». Rapport, 014386-02, 014362-02 ; 22032-R2, CGAAER, IGA et IGEDD.
https://igedd.documentation.developpement-durable.gouv.fr/documents/Affaires-0013313/014386-02_rapport-publie_tome_2.pdf

France, 2023. 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. JORF n°0159, texte n°2, Journal officiel de la République française.
https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000047805414

France, 2025. Stratégie nationale de défense des forêts et des surfaces non boisées contre les incendies. République française.
https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/2025.06.05-Strate%CC%81gie_d%C3%A9fense_forets.pdf

Ministère de la Transition écologique, 2024. Se préparer à l'augmentation attendue des incendies de forêts et de végétation. Fiche de planification écologique / mesure gouvernementale.
https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/Mesure07%20-%20Proteger%20-%20Incendies.pdf

Perea, A., Lambert, F. M., 2022. Mission « flash » sur la prévention des incendies de forêt et de végétation. Communication à la commission du développement durable et de l'aménagement du territoire, Assemblée nationale.
https://www2.assemblee-nationale.fr/static/15/commissions/CDD/COMMUNICATION_MI%20FLASH%20pr%C3%A9vention%20incendies.pdf

Vogel, J. P., 2019. Les feux de forêts : l'impérieuse nécessité de renforcer les moyens de lutte face à un risque susceptible de s'aggraver. Rapport d'information, 739 (2018-2019), Sénat
https://www.senat.fr/rap/r18-739/r18-739.html

# Annexe 2 : Références des jeux de données mobilisées et utiles sur la problématique des incendies à l'interface ville - espace naturel


CMIP6 / ISIMIP. WCRP CMIP6 ; ISIMIP.
https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip

Copernicus Climate Data Store / FWI. C3S / CDS.
https://cds.climate.copernicus.eu/

GBIF. Global Biodiversity Information Facility.
https://www.gbif.org/

EM-DAT. 1900. CRED, base internationale des catastrophes.
https://www.emdat.be/

NOAA Billion-Dollar Disasters. 1980. NOAA NCEI.
https://www.ncei.noaa.gov/access/billions/

Agreste / Teruti-Lucas. 1982. SSP-Agreste.
https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/disaron/Teruti-Lucas

EFFIS. 2000. JRC-Copernicus, European Forest Fire Information System.
https://forest-fire.emergency.copernicus.eu/

GWIS. 2000. JRC, Global Wildfire Information System.
https://gwis.jrc.ec.europa.eu/

MODIS burned area / active fire. 2000. Giglio et al. 2018 ; NASA MCD64A1 / FIRMS.
https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.08.005

Produits WUI États-Unis. 2000. Radeloff et al. 2005 ; mises à jour SILVIS/Carlson et al. 2022.
https://doi.org/10.1890/04-1413

IGN - BD Forêt / IFN. 2005. IGN.
https://inventaire-forestier.ign.fr/

BDIFF / BDIF fusionné. 2006. Ministère de l'Agriculture / IGN.
https://www.data.gouv.fr/datasets/base-de-donnees-sur-les-incendies-de-forets-en-france-bdiff

FirEUrisk Europe fuel map. 2020. Aragoneses et al. 2022 dataset ; article 2023.
https://doi.org/10.21950/YABYCN

Global WUI map. 2020. Schug et al. 2023 ; Zenodo
https://doi.org/10.1038/s41586-023-06320-0

WUI global risk / série temporelle WUI. 2020. Chen et al. 2024 ; HKU DataHub.
https://doi.org/10.1038/s41893-024-01291-0

ESA WorldCover. 2021. ESA WorldCover consortium.
https://esa-worldcover.org/

FLAMITS. 2023. Ocampo-Zuleta et al. 2024 ; Dryad.
https://doi.org/10.1111/geb.13799

CORINE Land Cover. 2024. Copernicus Land Monitoring Service.
https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover

# Annexe méthodologique

## Constitution du groupe d'experts

Une phase de préfiguration impliquant quatre directeurs adjoints scientifiques des Instituts du CNRS puis quatre chercheur.e.s a fait émerger plusieurs problématiques autour des incendies de forêt. Au regard des rapports préexistants, le besoin est apparu de centrer l'état des lieux scientifiques relatif aux incendies de végétation sur le point de vue de la ville et plus particulièrement sur l'interface ville-forêt (renommée ville-espace naturel), dans le contexte du changement climatique. Conformément à la charte de l'expertise du CNRS[1], pour répondre de manière systémique et pluridisciplinaire aux questions soulevées par la résilience urbaine face à ce risque, **2 pilotes scientifiques de deux champs disciplinaires différents, puis 11 autres expert.e.s** ont été sélectionné.e.s pour leurs compétences et sur la base de leur production scientifique, avec l'appui du comité de suivi (constitué de représentants des Instituts du CNRS concernés) et des pilotes. L'analyse de leurs déclarations de liens d'intérêts par une commission présidée par la Déontologue du CNRS a confirmé l'absence de conflit d'intérêt. Leur identité n'a pas été communiquée avant la restitution des résultats afin de les préserver de stratégies d'influence. Inversement, les expert.e.s n'ont pas communiqué sur leur participation à cette ESCo en dehors de leurs hiérarchies. L'ESCo a fait appel à un second cercle de **4 expert.e.s contributeur.rice.s** pour apporter un éclairage sur un volume restreint de publications et sur des domaines sur lesquels le premier cercle était en limite d'expertise.

## Constitution de la base de ressources scientifiques

La constitution d'une base de publications scientifiques avait pour objectif d'établir l'état de l'art international sur l**a résilience des interfaces urbaines face aux incendies de forêt dans un contexte de changement climatique,** en privilégiant les approches transposables au cas français.

Dans un souci d'efficience pour cette ESCo conduite en un an et dans un contexte de développement d'outils numériques dédiés à l'interrogation de catalogues de publications scientifiques, la MPES a constitué sa base bibliographique par **extension et réseaux de citations** à partir de **listes cœur de références** (« core lists »), plutôt que par des requêtes basées uniquement sur mots-clés. Dans un cadre critique, conforme aux principes d'intégrité scientifique et de science ouverte du CNRS, la plateforme ResearchRabbit[2] a été retenue parmi plusieurs solutions d'intelligence artificielle : elle se référait à la base de publications OpenAlex, permettait d'archiver les résultats d'extension à chaque étape du travail et avait donné des résultats concluants lors de tests relatifs à l'exhaustivité des références qu'elle permettait de collecter.

## Constitution des listes initiales de publications par les experts

Les **13 expert.e.s** ont d'abord proposé chacun.e une liste d'environ **30 publications scientifiques structurantes**, couvrant des références disciplinaires mais aussi d'axes transversaux (climat, gouvernance, vulnérabilité, etc.). Après une révision collective, **264 publications** ont été retenues et réparties selon **11 labels thématiques**[3] définis collectivement, dans le périmètre du sujet de l'expertise et permettant de poser des critères de tri (types de références et thématiques à écarter par exemple), afin de garantir un fonctionnement collectif et cohérent avec le principe d'impartialité de la charte du CNRS.

## Extension algorithmique des listes de publications

L'extension du corpus a été réalisée à l'aide de ResearchRabbit, fondée sur l'analyse des réseaux de citations, qui repose sur l'exploration de graphes bibliométriques interactifs, l'analyse des réseaux de co-citation et l'identification de similarités thématiques entre publications. ResearchRabbit s'appuie sur la base de données ouverte OpenAlex, qui elle propose une indexation transparente et structurée des productions scientifiques. ResearchRabbit s'inscrit dans une logique de développement d'outils d'intelligence artificielle dédiés à la recherche, reposant sur des données ouvertes et des principes de transparence méthodologique. Contrairement aux modèles de langage généralistes, l'algorithme mobilisé n'opère pas sur des contenus web hétérogènes,

[1] https://www.cnrs.fr/sites/default/files/page/2022-06/Charte%20de%20l%27expertise%20scientifique%20institutionnelle%20au%20CNRS_17%20juin%202022.pdf

[2] https://www.researchrabbit.ai/

[3] Les labels définis sont les suivants : 1. Aléas, 2. Aménagement, 3. Caractérisation des interfaces, 4. Climat, 5. Feux et société, 6. Gestion de crise, 7. Gouvernance, 8. Impact, 9. Prévention du bâti, 10. Prévention et société, 11. Vulnérabilité.

mais exclusivement sur des références scientifiques indexées. Cette méthode a généré **15958 références** (non dédoublonnées), réduites à **9837 publications uniques** après dédoublonnage. Le fait que **60 % des références** aient été suggérées au moins deux fois par les différentes extensions de « core lists » thématiques atteste de la pertinence et de la fiabilité du processus d'extension. Certaines références initialement exclues ont **réémergé spontanément** lors de l'extension algorithmique, confirmant la cohérence du processus. Cependant, la littérature francophone, notamment en sciences humaines et sociales, était moins bien indexée que celle anglophone, limitant son émergence automatique. Dans le cadre thématique de l'ESCo, cette production scientifique francophone est néanmoins quantitativement limitée et a pu faire l'objet de compléments par les expert.e.s.

## Tri des publications rassemblées et compléments

Pour analyser le corpus étendu de **9837 publications** et sélectionner celles pertinentes pour l'expertise, un protocole de filtrage en trois niveaux a été défini collectivement.

Le premier niveau a permis de circonscrire le périmètre aux interfaces urbaines exposées aux incendies, en écartant les travaux purement forestiers ou portant sur d'autres aléas ou risques que l'incendie par un filtrage « thématique ». Les deux autres niveaux de filtrage, géographique et méthodologique, ont permis de retenir les publications soit centrées sur la France, soit transposables à son contexte, ainsi que celles incluant une méthode, un outil, un dispositif d'évaluation ou un cadre analytique identifiable. Le corpus étendu a été importé dans une bibliothèque numérique collective (Zotero). Dans cette base, l'ensemble des références et des métadonnées récupérés lors de l'extension ont été maintenu divisées dans des collections dépendant des labels thématiques initiaux.

Pour le premier niveau de filtrage, une liste de mots, basée sur des termes essentiels pour la caractérisation du concept à étudier (pour la notion des interfaces, par exemple, 15 mots de filtrage ont été retenus dont : « *land use change* », « *community* », « *fire policies* ») a été définie collectivement par le groupe d'expert.e.s pour chaque collection dans la base bibliographique. Un article était conservé si au moins un des mots de filtrage apparaissait dans le titre ou le résumé. Les requêtes ont été appliquées au titre, au résumé et, lorsque disponible (soit en libre accès soit avec des accès institutionnels), au texte intégral.

Les deux niveaux de filtrage suivants du corpus ont été appliqués afin de circonscrire l'expertise selon deux critères cumulatifs : géographique et ensuite méthodologique. Le filtrage géographique avait pour but de réduire le périmètre des terrains considérés afin de ne retenir que les études qui soit abordent le cas français, soit abordent un terrain transposable au cas français. Le filtrage méthodologique ciblé les articles portant clairement sur des méthodes, outils d'analyse, modèles, dispositif d'évaluation ou cadre analytique.

Les expert.e.s ont examiné les titres, résumés et métadonnées, en appliquant ces critères d'inclusion ou d'exclusion formalisés. Ce tri a permis d'écarter **777 articles,** tandis que les autres publications ont été lues intégralement ou réattribuées. Enfin, pour pallier un manque de publications récentes identifiées par l'analyse du corpus réalisée par l'INIST, la base Wifri[4] a été mobilisée, ajoutant **465 références** (2023—2025) sélectionnées selon les mêmes critères décrits ci-dessus, dont **47** déjà identifiées par ResearchRabbit.

À l'issue de ce processus de **tri collectif, 2028 publications** ont été retenues et réparties aléatoirement entre chacun des membres du groupe.

Les références complémentaires, identifiées hors corpus initial, ont été intégrées lors des validations collectives (marquées *Ajout* dans Zotero, ne représentant pas plus de 10 % de l'ensemble du corpus).

**La base de ressources scientifiques finale sur laquelle se fonde le rapport de l'ESCo contient plus de 1153 publications**. Les différentes listes de références rassemblées à chaque étape, les labels et critères de tri sont disponibles dans le rapport complet.

## Écriture et modalités de travail

Des **plénières mensuelles** réunissant les pilotes scientifiques, le groupe d'expert.e.s et la MPES ont permis d'harmoniser la direction, les méthodologies et les contenus scientifiques émergents du travail d'expertise.

La rédaction s'est appuyée **uniquement sur les publications scientifiques réunies,** et non sur des avis d'expert.e.s non sourcés conformément au principe d'impartialité.

[4] Wildland Fire Research Institute : https://www.wifri.org/

Les **notes des expert.e.s contributeurs.trices** ont été synthétisées par l'équipe de pilotage, puis partagées avec le groupe pour enrichir la rédaction du rapport. Chaque section, **rédigée collaborativement** sur la plateforme du gouvernement RESANA, a été coordonnée par un.e responsable afin de coordonner le travail et faire émerger les éléments clés et interdisciplinaires. Un **processus de relectures croisées** (au moins deux expert.e.s par section) garantit l'impartialité, conformément à la charte du CNRS. Les connexions faites entre publications ont structuré l'architecture du rapport et de la synthèse, permettant de produire l'état des lieux des connaissances analysées. Les **controverses et limites ou lacunes scientifiques** ont été explicitement signalées dans l'argumentaire et en conclusion des sections. Toute affirmation est sourcée, et les incertitudes sont qualifiées pour nuancer les conclusions. La synthèse a été rédigée par les pilotes scientifiques et l'aide des cheffes de projet à partir de messages clés identifiés par les expert.e.s. Le chef de projet, la MPES et le Comité de suivi (représentants des Instituts du CNRS) ont également participé aux relectures de la synthèse de l'expertise à partir de laquelle un résumé a été produit par la MPES avec relecture par les pilotes puis le groupe d'expert.e.s.

**Centre national
de la recherche scientifique
CNRS**

Mission Pour l'Expertise Scientifique - MPES
3, rue Michel-Ange - 75794 Paris Cedex 16
+ 33 1 44 96 40 00

Rejoignez-nous sur :

cnrs.fr