

RAPPORT DE L' EXPERTISE SCIENTIFIQUE COLLECTIVE

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

Pour citer ce document :

Christine Bouisset, Jean-Baptiste Filippi, et al. *Résilience des interfaces urbaines face aux incendies de végétation en contexte de changement climatique*. Rapport de l'expertise scientifique collective. MPES, CNRS. 2026. https://doi.org/10.83257/5f4n-zv17

Photo de couverture : ©Crédit photo ER_09 / SHUTTERSTOCK.COM
Illustration : © Marine Depery - Figures n°2 (Ch.1), n°2 (Ch.2), n°3 (Ch.3), n°1 (Ch. 6), n°3 (Ch.7), n°4 (Ch.8)

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 TREE, spécialiste des questions environnementales, territoriales et de gestion des risques.

Jean-Baptiste Filippi est Directeur de recherche CNRS à l'UMR 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 PSL, UMR LEHNA, spécialiste du fonctionnement des socio-écosystèmes, de la dynamique de la biodiversité et des interactions climat-perturbations.

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

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

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

Éric Maillé est Ingénieur de recherche INRAE à l'UMR 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 CNRS à l'UMR DRM, en marketing social et psychologie environnementale, spécialiste de la communication et des comportements responsables.

Mélanie Rochoux est Directrice de recherche au Cerfacs, UMR CECI, 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 à l'UMR BETA, 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 CNRS l'UMR LETG en écologie urbaine.

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

Philippe Grandcolas est Directeur Adjoint Scientifique pour l'institut CNRS Ecologie et Environnement, et Directeur de recherche CNRS à l'UMR ISYEB, en écologie et évolution de la biodiversité.

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

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.

Remerciements

Nathalie Antonot et **Jean Mouro**t 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 (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

---

[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.***

Version octobre 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'œuvre dérivée 4.0 *International* (CC BY-ND-NC 4.0).
https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode.fr ; à l'exception des figures suivantes :

Chapitre 1
Figure 1 et 7 qui sont reproduites avec l'autorisation d'Elsevier
Figure 8 qui est reproduite avec l'autorisation de John, Wiley and Sons

Chapitre 2
Figure 12 qui est reproduite avec l'autorisation de John, Wiley and Sons
Figure 9 qui est reproduite avec l'autorisation de CSIRO publishing

Chapitre 4
Figure 2 qui est reproduite avec l'autorisation de Springer Nature BV
Figure 3 qui est reproduite avec l'autorisation d'Elsevier
Figure 6 qui est reproduite avec l'autorisation de Taylor and Francis Informa UK LTD — Journals

Chapitre 5
Figure 1 et 7 qui sont reproduites avec l'autorisation de John, Wiley and Sons
Figure 2 qui est reproduite avec l'autorisation de Blackwell publishing

Chapitre 7
Figure 2 qui est reproduite avec l'autorisation de CSIRO publishing

Chapitre 8
Figure 3 qui est reproduite avec l'autorisation de CSIRO publishing

SOMMAIRE GÉNÉRAL

Un sommaire plus détaillé est disponible en chaque début de chapitre.

Introduction 1

Liste des références de l'introduction 3

I. Définition et caractérisation des interfaces ville — espace naturel (*Wildland — Urban Interface)* 5

1. Introduction 7
2. Présentation du corpus du chapitre 8
3. Analyse & discussion 12
4. Lacunes de connaissances et controverses 48
5. Conclusions 50
6. À retenir 51
7. Liste des références du chapitre I 51

II. L'aléa incendie de végétation 61

1. Introduction 63
2. Les composantes de l'aléa incendie de végétation 66
3. Lacunes de connaissances et controverses 93
4. Conclusions 93
5. À retenir 94
6. Liste des références du chapitre II 96

III. Vulnérabilités 109

1. Introduction 110
2. Présentation du corpus du chapitre 111
3. Analyse & discussion 112
4. Lacunes de connaissance et controverses 136
5. Conclusion 137
6. À retenir 138
7. Liste des références du chapitre III 139

IV. Les conséquences environnementales, sociales, et économiques des incendies dans les interfaces 149

1. Description/introduction du thème abordé 151
2. Présentation du corpus du chapitre 152
3. Analyse & discussion 153
4. Lacunes de connaissance et controverses 183
5. Conclusion 184
6. À retenir 185
7. Liste des références du chapitre IV 186

V. Changements globaux 199

1. Introduction 200
2. Présentation du corpus 201
3. Analyse 201
4. Conclusions et perspectives 249
5. À retenir 250
6. Liste des références du chapitre V 251

VI. Gestion et prévention du risque 260

1. Introduction 262
2. Présentation du corpus du chapitre 264
3. Analyse & discussion 265
4. Lacunes de connaissance et controverses 321
5. Conclusion 322
6. À retenir 323
7. Liste des références du chapitre VI 324

VII. Gestion de crise, sécurité civile et comportements en situation de crise 340

1. Description/introduction du thème abordé 342
2. Présentation du corpus du chapitre 344
3. Analyse & discussion 345
4. Lacunes de connaissances et controverses éventuelles 380
5. Conclusions 381
6. À retenir 382
7. Liste des références du chapitre VII 382

VIII. Urbanisme, aménagement et gouvernance 394
1. Introduction 397
2. Présentation du corpus du chapitre 398
3. Analyse & discussion 399
4. Lacunes de connaissances et controverses 436
5. Conclusion 437
6. À retenir 438
Liste des références du chapitre VIII 440

Conclusion générale et perspectives 453

Glossaire et références du rapport 457

ANNEXES de l'ESCo Incendies 537
1. ANNEXE 1 : méthodologie 541
2. ANNEXE 2 : description des labels 555
3. ANNEXE 3 : listes cœur des articles retenus par label 560
4. ANNEXE 4 : liste des termes retenus par niveau de filtrage et par label 580
5. ANNEXE 5 : l'étude INIST 590
6. ANNEXE 6 : la base de données WIFRI et la gestion des références et suivi de lectures et citations pour l'ESCo 593
7. ANNEXE 7 : Bibliographie complète de l'ESCo (références lues et analysées) 606
8. ANNEXE 8 : Lettre d'auto-saisine du CNRS 676

INTRODUCTION

L'expertise scientifique collective (ESCo) « Ville et Incendies de végétation » vise à répondre à la question suivante : comment la connaissance 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[1]) ?

Dans ce cadre, cette expertise vise à rendre lisible l'état des connaissances scientifiques disponibles, leurs points d'appui, leurs limites et leurs 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.[2]

Les expertises scientifiques collectives du CNRS s'appuient sur une méthode rigoureuse, ancrée dans l'analyse critique des publications scientifiques à comité de lecture issues de différents champs disciplinaires. Le travail 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. **Un travail d'identification et de sélection des publications pertinentes a permis de retenir plus de 1 000 références (voir annexes pour un descriptif complet de la méthodologie).** Lorsque, pour le territoire 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'hectares, 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.

La France est également concernée par cette aggravation. L'évolution est devenue particulièrement visible depuis 2022 (avec les grands incendies de 2022 et 2026 dans le massif des Landes de Gascogne, mais aussi dans l'Aude et le Var) et touche également des régions tempérées jusqu'alors rarement concernées, comme la Bretagne ou encore la région parisienne avec l'incendie de Fontainebleau en 2026. **Les projections de Météo-France indiquent que cette trajectoire devrait se renforcer, avec jusqu'à 50 % du territoire national potentiellement vulnérable d'ici 2050[3].**

Dans un contexte où la plupart des incendies sont d'origine anthropique et où beaucoup surviennent à proximité immédiate de zones aménagées (habitations, infrastructures, etc.), les interfaces entre zones urbanisées (au sens large) et 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.

[1] 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).
[2] 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.
[3] Selon les projections de Météo France avec une Trajectoire de Réchauffement de Référence pour l'Adaptation au Changement Climatique anticipant une France à +4 °C, où la température moyenne à Paris pourrait atteindre celle de Montpellier d'ici la fin du siècle.

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 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). L'été 2026, avec l'évacuation préventive de plus de 220 000 personnes et la destruction inédite en France de plus de 200 habitations lors de l'incendie dit de Saumos en Gironde, a confirmé que le pays n'est pas épargné.

À la différence de nombreux autres risques naturels, l'incendie de végétation peut, dans ses premiers instants d'éclosion, être parfois arrêté 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 (Stasiewicz et Paveglio 2022).

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[4] 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 urbanisées 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 zones urbanisées 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 publiques. 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).

Ce rapport est organisé en deux grandes parties et huit chapitres.

La première partie dresse un état des lieux du problème en présentant les caractéristiques des interfaces (Chap. 1), puis les composantes du risque que sont l'aléa (Chap.2) et la vulnérabilité (Chap.3). Le chapitre 4 analyse les conséquences tant environnementales que sociales, économiques et politiques des incendies observés dans des zones d'interface. Enfin, l'aggravation potentielle de ces conséquences et les évolutions prévisibles du risque sous l'impact des changements globaux sont abordées (Chap.5).

Ce panorama débouche sur une **deuxième partie consacrée aux solutions connues et envisageables pour faire face à l'aggravation du risque.** Sont présentées les différentes facettes des mesures techniques et des politiques de prévention ainsi que du comportement de la population vis-à-vis de ces mesures (Chap. 6). Le

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

basculement en situation de crise, les outils de gestion, notamment en situation extrême, la réaction de la population et sa préparation à la crise sont étudiés dans le chapitre suivant (Chap. 7). Enfin sont analysées les politiques d'urbanisme, d'aménagement du territoire ainsi que les voies d'une gouvernance renouvelée de la gestion du risque dans les zones urbanisées (Chap. 8).

Liste des références de l'introduction

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* XVIII (2) : 143-45.

Baylis, Patrick, et Judson P. Boomhower. 2019. « Moral Hazard, Wildfires, and the Economic Incidence of Natural Disasters ». *National Bureau of Economic Research*. doi : 10.3386/w26550.

Hino, Miyuki, et Christopher Field. 2023. « Fire frequency and vulnerability in California ». *PLOS Climate*. doi : 10.1371/journal.pclm.0000087.

Potapov, Peter, Alexandra Tyukavina, Svetlana Turubanova, Matthew C. Hansen, Louis Giglio, Andres Hernandez-Serna, André Lima, Nancy Harris, et Fred Stolle. 2025. « Unprecedentedly High Global Forest Disturbance Due to Fire in 2023 and 2024 ». *Proceedings of the National Academy of Sciences* 122(30) : e2505418122. doi : 10.1073/pnas.2505418122.

Schug, Franz, Avi Bar-Massada, Amanda R. Carlson, Heather Cox, Todd J. Hawbaker, David Helmers, Patrick Hostert, Dominik Kaim, Neda K. Kasraee, Sebastián Martinuzzi, Miranda H. Mockrin, Kira A. Pfoch, et Volker C. Radeloff. 2023. « The Global Wildland—Urban Interface ». *Nature* 621(7977) : 94-99. doi : 10.1038/s41586-023-06320-0.

Stasiewicz, Amanda M., et Travis B. Paveglio. 2022. « Exploring relationships between perceived suppression capabilities and resident performance of wildfire mitigations ». *Journal of Environmental Management*. doi : 10.1016/j.jenvman.2022.115176.

Vázquez, Antonio, J. S. Ossa Moreno, et José M. Moreno. 1998. « Patterns of Lightning-, and People-Caused Fires in Peninsular Spain ». *International Journal of Wildland Fire*. doi : 10.1071/wf9980103.

Chapitre 1 : Définition et caractérisation des interfaces ville — espace naturel (*Wildland — Urban Interface*)

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

Rapport de l'expertise scientifique collective

I. Définition et caractérisation des interfaces ville — espace naturel (*Wildland — Urban Interface*)

Table des matières du chapitre I

I. Définition et caractérisation des interfaces ville — espace naturel (*Wildland — Urban Interface*) 5

1. Introduction 7

2. Présentation du corpus du chapitre 8

2.1. La place des définitions et de la conceptualisation de l'interface dans le corpus analysé 8

2.2. Les analogues et transpositions mobilisés dans le chapitre 10

2.3. Peu de réflexions conceptuelles, mais beaucoup d'études de cas. 10

2.4. Quels travaux sur la France ? 10

2.5. Deux grands types de publications en fonction de la définition adoptée 11

2.5.1. Les publications qui adoptent une définition paramétrique et normative 11

2.5.2. Les publications qui traitent de l'interface en tant que processus, dans sa dimension dynamique 11

3. Analyse & discussion 12

3.1. Définitions et conceptualisation 12

3.1.1. De « l'interface » à « l'intermix » 12

3.1.1.1. L'interface au sens strict 12

3.1.1.2. L'intermix 12

3.1.2. Une acception élargie de l'espace urbain 14

3.1.3. Un espace « naturel » potentiellement fortement artificialisé 14

3.1.4. Des terminologies alternatives rencontrées plus spécifiquement en France dans le monde académique et opérationnel 15

3.1.4.1. Le cas particulier de l'interface « habitat-forêt » en Europe Méditerranéenne 15

3.1.4.2. Les interfaces urbain — végétation ou bâtis — végétation 15

3.1.4.3. Le « bâti boisé » 16

3.1.4.4. Les « interfaces urbain — rural » 16

3.1.5. Quelques conséquences de ces définitions 16

3.1.6. Quelques chiffres issus de ces définitions 17

3.2. La « fabrique des interfaces » : dynamiques spatiales et territoriales 18

3.2.1. Expansion urbaine (« *Urban Sprawl* ») 19

3.2.2. Mitage, éparpillement (« *sprinkling* »), complexification et déstructuration des territoires 21
3.3. Polysémie, complexité du réel : ambiguïté des catégorisations et conséquences opérationnelles .. 23
3.3.1. Diversité terminologique 23
3.3.2. Gradient d'anthropisation 25
3.4. Mesure et cartographie des interfaces 28
3.4.1. Les cartographies (multi)paramétriques et (multi)scalaires 28
3.4.2. Données et métriques pour la cartographie des interfaces : usages et limites 32
3.4.2.1. Bases d'information géographique utilisables pour la cartographie 32
3.4.2.2. Cartographie des zones boisées et des massifs forestiers 33
3.4.2.3. Cartographie des formations intermédiaires : broussailles, landes, espaces semi-ouverts et friches 33
3.4.2.4. Définition et cartographie de la zone urbaine 34
3.4.2.5. L'espace agricole 34
3.4.2.6. Conclusion : forces et faiblesses des cartes d'interface pour la gestion du risque 34
3.5. Interfaces et incendies 35
3.5.1. L'interface feu (*fire interface*) 35
3.5.2. La mise en relation des types d'interface et des composantes du risque 36
3.5.3. Des zones à forts enjeux et à forte probabilité de départs d'incendie 37
3.5.4. Les modèles d'interfaces pour l'évaluation des composantes du risque 38
3.5.4.1. Relation entre les interfaces et les occurrences d'incendie de végétation 38
3.5.4.2. Modèles et typologies d'interface pour la cartographie du risque incendie de végétation. 39
3.5.4.3. Dynamique du risque liée aux dynamiques d'interfaces 47
4. Lacunes de connaissance et controverses 48
4.1. Déficit de modèles formels de la relation entre les types d'interface et le risque 48
4.2. Données et métriques pour la cartographie des interfaces : perspectives nouvelles pour l' exploitation des données satellitales 48
4.3. Déficit de conceptualisation 48
5. Conclusion 50
6. À retenir 51
7. Liste des références du chapitre I 51

Essentiels

L'interface ville — espace naturel se définit comme l'endroit où la ville et les zones de végétation naturelle ou sub-naturelle[1] 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'éclosions et les personnes et les biens exposés au risque. Dès lors, la délimitation et la cartographie des interfaces sont 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.

1. Introduction

L'incendie de végétation, étant donné sa définition, son principal support, ses processus, ses conséquences ainsi que de par les différents services et corporations d'acteurs intervenant dans la prévention et la gestion du risque, est considéré dans la culture institutionnelle et citoyenne d'Europe et bien au-delà, comme une problématique d'abord et avant tout « forestière ». Forestière et donc rurale, tant la forêt est perçue comme un compartiment de l'espace rural. Ce sont donc en premier lieu les services forestiers nationaux, les services déconcentrés de l'État, des collectivités locales, et, dans une moindre mesure, en Europe, la profession des forestiers qui ont en charge l'aménagement préventif des massifs publics et privés et de leurs abords, pour la prévention du risque. Et de fait, l'incendie de végétation, s'il a pu avoir historiquement des impacts dramatiques directs sur les populations locales (pensons à l'incendie des Landes de Gascogne de 1949, avec ses 52 000 hectares de forêt brûlés et surtout ses 82 victimes) reste une problématique du « monde rural », de ses villages, ses fermes et ses paysans et ses propriétaires forestiers, privés ou publics.

La question de la relation entre l'incendie de végétation et la ville pouvait jusqu'au milieu du siècle dernier paraître incongrue, tant l'opposition entre urbanité et ruralité paraissait radicale. Mais dès les années 1970, les grands incendies méditerranéens impactent de plus et de plus souvent la périphérie des villes et leurs infrastructures. Ils trouvent aussi, de plus en plus souvent, leurs origines dans les activités urbaines, l'industrie, les transports, le tourisme. Dès cette période, les territoires changent, en particulier sur le pourtour méditerranéen : la périurbanisation floute la démarcation entre le monde urbain et le monde rural. L'incendie de végétation prend alors une nouvelle dimension : d'un phénomène strictement rural, lié aux écosystèmes forestiers, il devient une problématique d'aménagement des territoires locaux et régionaux beaucoup plus large, dans laquelle les questions d'urbanisme, de développement économique et d'évolutions sociétales deviennent centrales.

Face à cette évolution, la mise en place du corpus et des outils académiques permettant l'étude rigoureuse de l'incendie de végétation et de ses conséquences pour la gestion territoriale s'est heurtée elle aussi à la distinction culturelle entre urbanistes et ruralistes. Si cette distinction est prégnante chez les gestionnaires des territoires, elle l'est aussi d'un point de vue académique : les sciences de l'urbanisme, l'architecture urbaine, partagent peu

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

d'approches et de concepts avec les sciences du « monde rural », l'écologie, la foresterie, l'agronomie, l'économie et la sociologie rurales.

Un nouvel objet que, par souci de clarté et d'unité, nous appellerons de façon générique [2] dans ce rapport l'« interface ville — espace naturel », est conceptualisé, afin de traiter efficacement de la nouvelle donne : un incendie de végétation qui bien souvent démarre dans un espace largement urbanisé, et surtout impacte fortement des espaces urbains continus ou discontinus, très riches d'enjeux anthropiques, de biens et de personnes vulnérables.

Nous examinons dans ce chapitre les différentes définitions, les différents modèles conceptuels et les démarches scientifiques qui ont été produits par la recherche à partir de ce concept d'interface « ville — espace naturel » afin d'appréhender l'incendie de végétation de façon holistique, dans ses dimensions à la fois urbaines et rurales, relatives aux écosystèmes naturels et aux systèmes sociaux de façon intégrée.

2. Présentation du corpus du chapitre

2.1. La place des définitions et de la conceptualisation de l'interface dans le corpus analysé

La thématique « incendies de végétation et ville » est majoritairement traitée par la littérature scientifique au travers du concept d'« interface ville — espace naturel », traduction du terme anglophone « *Wildland — Urban Interface* » (WUI). Bien que fortement lié à l'incendie de végétation, ce concept est mobilisé par les auteurs pour traiter de multiples problématiques d'aménagement des territoires, liées ou non aux risques naturels, à tous les niveaux d'échelle. Le corpus étudié (environ 115 références) se focalise donc sur les publications ayant trait aux interfaces ville — espace naturel appliquées à la gestion des incendies de végétation, bien que des publications plus génériques dans leur application aient été retenues, notamment pour préciser la dimension théorique du concept d'interface.

[2] Sauf cas particulier, lorsque la littérature et les situations analysées requièrent des distinctions plus fines.

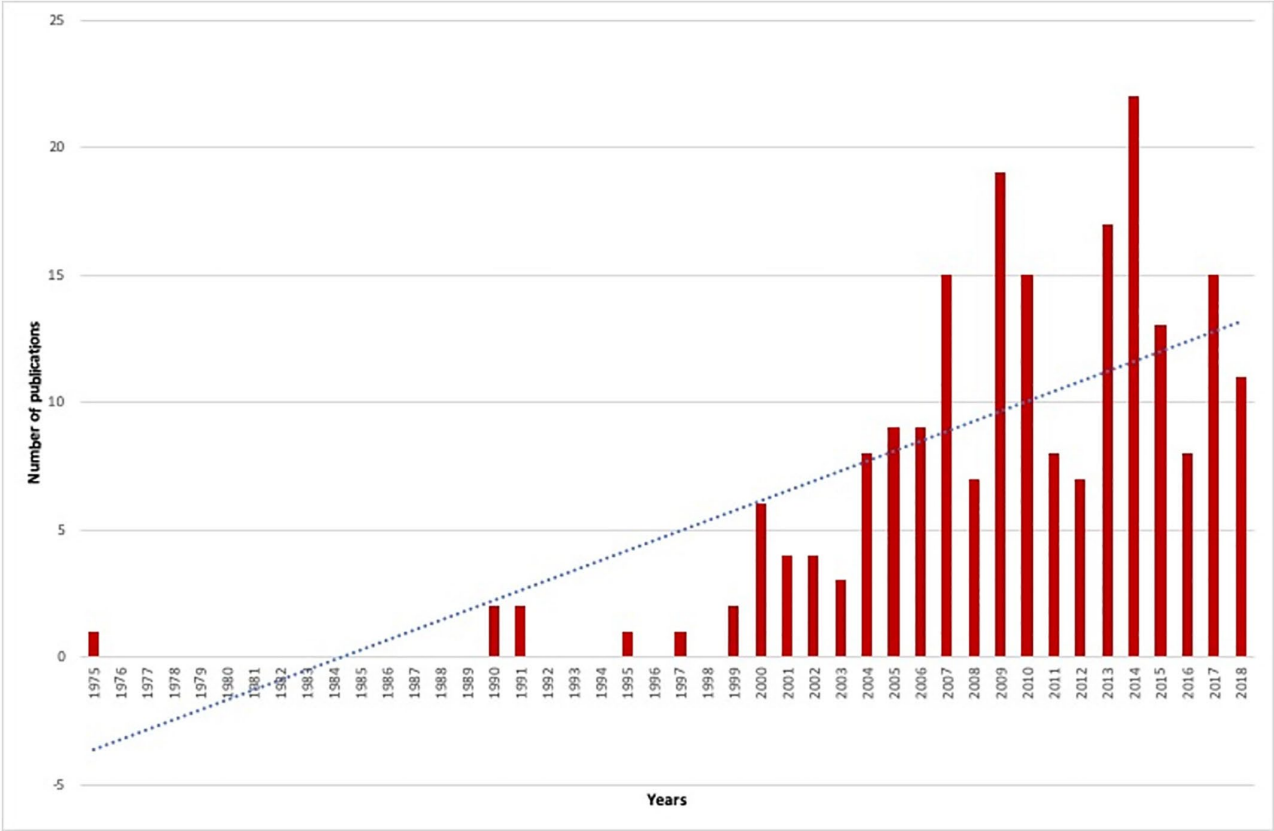


Figure 1 : Nombre de publications consacrées aux incendies à l'interface ville — espace naturel (1975-2018) listées dans la collection principale du Web of Science (Bento-Gonçalves et Vieira 2020).

L'émergence du concept d'interface ville — espace naturel dans la littérature scientifique est d'ailleurs corollaire de la multiplication des incendies périurbains et extrêmes. Bento-Gonçalves et Vieira (2020) le démontrent à travers une analyse bibliométrique. L'explosion de l'usage de la notion d'interface (WUI) dans les bases de données bibliographiques au début des années 2000 fait suite aux dégâts et victimes causés par des incendies majeurs, en particulier dans le Sud européen.

En dehors de quelques publications de référence, seule une petite proportion de la littérature sur cette thématique se consacre intégralement à la définition/conceptualisation de l'objet « interface ». En revanche, la plupart des publications traitant de l'incendie de végétation dans les interfaces ville — espace naturel proposent leur propre définition, ou tout au moins se réfèrent et souvent réinterprètent les définitions préexistantes dans la littérature. Il s'en suit une grande variété de définitions, néanmoins structurées autour de récurrences, telles que l'opposition entre l'interface « ligne » de séparation entre des classes d'occupation du sol homogènes et l'interface considérée comme une surface d'occupation du sol hétérogène composite, ou encore l'interface définie comme un espace à forte dynamique, lieu de confrontation entre plusieurs processus spatiaux.

Le corpus de littérature est aussi fortement dépendant du contexte géographique auquel il se réfère, ainsi que de l'échelle considérée. Les contextes climatiques de type méditerranéen (y compris, outre l'Europe du Sud, la Californie, l'Est et le Sud-Est australien, l'Afrique du Sud, la plaine côtière et le piémont du Chili central, etc.) font l'objet de travaux sur des interfaces complexes, hétérogènes, intégrant toutes les composantes du socio-écosystème. En contexte tempéré d'Amérique du Nord, ou d'autres contextes tempérés incluant notamment des zones nouvellement exposées au risque (Europe du Nord, Asie), les travaux conceptualisent l'interface comme un objet beaucoup plus structuré, plus souvent linéaire. De même pour les niveaux d'échelle : des travaux à l'échelle globale ou à l'échelle des grandes régions climatiques visent généralement la quantification et la cartographie des zones d'interface, corrélée ou non à l'occurrence d'incendies, souvent par analyse d'images satellites. À l'opposé, des études de cas locales ont pour objectif l'évaluation du risque local ou de ses composantes (aléa, vulnérabilité, exposition, etc.) et/ou de proposer des solutions d'aménagement des territoires pour la maîtrise de ce risque.

Les données pour cela peuvent aussi être télé-acquises à l'échelle locale (télédétection à haute résolution, [Zambrano-Ballesteros et al. 2021]), mais les bases de données géographiques locales sont aussi largement mobilisées. Un peu plus de quatre-vingts publications internationales relatives à l'incendie de végétation développent de façon approfondie une section sur la définition des interfaces, voire sont centrées sur la définition et la conceptualisation des interfaces ville — espace naturel ou sur la cartographie et l'évaluation de leur surface, dans toutes les gammes d'échelles. En effet, les évaluations cartographiques des interfaces reposent toujours sur une définition algorithmique paramétrée, précise mais variable en fonction des auteurs, des outils et des contextes, ce qui rend parfois difficile la consolidation des chiffres. Par ailleurs, une très vaste bibliographie générale, non spécifiquement relative à l'incendie de végétation, conceptualise la notion d'interface en géographie et plus particulièrement en analyse spatiale. Cette bibliographie est partiellement exploitée dans ce chapitre, sans possibilité d'exhaustivité, étant donné son caractère parfois théorique et le très large champ d'applications potentielles de ces travaux. ¶

2.2. Les analogues et transpositions mobilisés dans le chapitre

Les contextes d'application sont plus souvent nord-américains, voire australiens, qu'européens, par un simple effet de volumétrie différentielle du corpus. La transposabilité des résultats est toutefois jugée souvent bonne, notamment entre le contexte californien ou les autres contextes méditerranéens non européens, et les contextes européens du sud : c'est en particulier le cas de l'opposition entre les modèles linéaires d'interface stricte et les modèles surfaciques de dits « intermix ». L'adaptation au contexte peut se faire via la paramétrisation des définitions générales (distances, densités, etc.) mais en conservant la sémantique et l'algorithme du modèle général spécifié en contexte anglo-saxon. Il reste toutefois des spécificités peu transposables, par exemple les « méga-continuums » forestiers canadiens en interaction avec des installations résidentielles très ténues ou industrielles pétrolières complexes. Ces contextes ont pu être retenus dans le corpus bibliographique comme source méthodologique, bien que les résultats soient peu transposables au contexte national français.

2.3. Peu de réflexions conceptuelles, mais beaucoup d'études de cas.

L'interface ville — espace naturel s'impose dès les années 1970 comme un élément plus ou moins nouveau du paysage, en particulier des littoraux méditerranéens, mais aussi comme un nouveau défi aux services de secours et de lutte anti-incendie dans leur mission de sauvegarde des biens et des personnes. Il émane donc de l'expérience avant d'être conceptualisé en un objet de recherche. Le concept générique d'interface est pourtant très utilisé en géographie, dans toutes ses dimensions : géométrique, transitionnelle, dynamique, sémantique... L'état de l'art actuel semble montrer que la « théorisation » des interfaces ville — espace naturel, n'est pas encore véritablement aboutie : peu de réflexions conceptuelles théoriques sont produites, la plupart des publications étant construites autour d'études de cas particuliers. La formulation d'un cadre conceptuel des interfaces ville — espace naturel est pourtant nécessaire à une véritable approche intégrative, permettant de relier l'ensemble des dimensions relatives à cet objet (écologique, économique, sociale, culturelle) et au risque incendie de végétation qui lui est inhérent.

2.4. Quels travaux sur la France ?

La France produit des travaux sur les interfaces ville — espace naturel visant à évaluer le risque incendie de végétation global, incluant l'aléa et la vulnérabilité (voir Chap. 2, Aléa, et 3, Vulnérabilité), le plus souvent à l'échelle locale. Ils sont souvent appliqués, avec pour objectif la production d'éléments d'aide à la décision de gestion de ces interfaces pour mieux en maîtriser le risque (Long-Fournel et al. 2013). Une partie de ces travaux sont sectoriels : la modélisation du comportement du feu dans les interfaces donne lieu en particulier à d'abondantes productions scientifiques. L'écologie du feu, et plus spécifiquement l'évaluation des traits liés aux incendies de la végétation d'interface, ornementale, sub-spontanée ou spontanée, permet de produire les données

d'entrée des modèles de propagation via la spécification de modèles de combustible propre à l'interface (Ganteaume et al. 2023). Ceux-ci côtoient une littérature à dimension scientifique produite par les services impliqués dans la gestion des incendies de végétation. Il ne s'agit généralement pas de travaux académiques, mais de productions techniques d'ingénieurs, très opérationnelles : la place de l'expérimentation est y souvent incertaine, notamment relativement à celle du dire d'expert.

2.5. Deux grands types de publications en fonction de la définition adoptée

Les publications qui se réfèrent aux interfaces ville — espace naturel se divisent en deux grandes catégories :

2.5.1. Les publications qui adoptent une définition paramétrique et normative

Une grande majorité de publications se fonde sur une définition fonctionnelle, paramétrique et normative pour appuyer leurs démarches. Les critères sont souvent les mêmes : distance à partir du bâti existant, densité de population, périmètre des massifs forestiers font socle et permettent de déployer des méthodologies concordantes qui autorisent des comparaisons internationales — même si les études sont locales. Cette approche paramétrique consiste à évaluer la dynamique des structures spatiales et à définir des périmètres de protection mobilisables ensuite comme outils opérationnels, y compris dans l'aide à la décision. Les publications qui se conforment à ces définitions sont souvent locales ou régionales, du fait de la dimension opérationnelle recherchée. Quelques auteurs ont tenté de reproduire le schéma au niveau mondial, avec des résultats contrastés : la plupart reprennent la définition de l'interface établie aux États-Unis et l'appliquent à des phénomènes urbains et à des biomes hétérogènes à travers le globe, ce qui peut affecter la portée des conclusions (Guo et al. 2024 ; Schug et al. 2023). Par ailleurs, les bases de données mondiales standardisées nécessaires à ces études de quantification du phénomène interface minorent la pertinence locale des résultats. On atteint la limite de ce que l'analyse « morphologique » autorise face à la complexité des processus locaux qui expliquent la diversité des formes de déploiement de l'interface ville — espace naturel.

2.5.2. Les publications qui traitent de l'interface en tant que processus, dans sa dimension dynamique

L'objectif est ici d'étudier les mécanismes à l'origine des formes et structures de l'interface. Le nombre de publications est plus réduit, et les analyses sont pour la plupart localisées. La reproductibilité des conclusions est limitée, car la dimension expansive du développement urbain est portée historiquement par une diversité de mécanismes légaux, régulateurs, culturels, très différenciés entre pays et régions. Rythme et modalités d'interpénétration à l'interface varient fortement d'un endroit à l'autre. Il est, par exemple, délicat d'identifier des mécanismes « méditerranéens » communs, reproductibles, tant la complexité des situations locales est patente. Sur ce sujet, les auteurs qui ont analysé les modalités de l'étalement urbain (*urban sprawl*) en Amérique du Nord reconnaissent volontiers que leurs méthodes ne peuvent être appliquées à l'identique en Europe occidentale et méditerranéenne. Densité de population, densité de bâti, histoire urbaine, gestion des zones naturelles et modalités de transformation du monde rural diffèrent profondément.

3. Analyse & discussion

3.1. Définitions et conceptualisation

La problématique de la relation entre l'incendie de végétation et la ville est donc essentiellement abordée au travers du concept d'interface ville — espace naturel (traduction du terme anglais de *Wildland Urban Interface* — WUI). Ce concept émerge dès la fin des années 1980 dans la littérature anglophone. En 1990, Davis (1990) définit les « *Wildland Urban Interface* » comme « zones où les propriétés se mélangent à la végétation spontanée »[3]. Des définitions plus formelles sont énoncées par la suite, en particulier dans les années 2000. Avec des nuances, l'interface ville — espace naturel est définie comme la limite où se rencontrent ou la zone où se mélangent des « structures » anthropiques (bâtiments et infrastructures) et des masses de combustible végétal « naturel » ou forestier (Cohen 2000 ; Haight et al. 2004 ; Radeloff et al. 2005, 2010).

3.1.1. De « l'interface » à « l'intermix »

L'interface est appréhendée différemment selon les pays, les législations, les processus de développement urbain et les dynamiques d'évolution des zones végétalisées en périphérie urbaine. Dans les travaux de recherche, deux perspectives sont généralement adoptées, en fonction des objectifs d'analyse et des méthodologies mises en place :

3.1.1.1. L'interface au sens strict

Dans cette acception, l'interface ville — espace naturel est appréhendée comme une limite ou une frontière de contact entre deux « milieux » que tout semble opposer, lorsque les bâtiments se rapprochent des zones végétalisées, ou inversement. L'artificialisation des sols, l'habitat urbain bétonné, et les zones d'hyper-développement économique vs les zones végétalisées « naturelles », non agricoles, forêts et autres formations intermédiaires dont le développement est supposé être « spontané ». Dans ce cas, l'interface est vue comme cette zone de contact, de contraste qui exacerbe les disparités. L'interface est linéaire et la cartographie se fait par définition d'unités primaires homogènes, par seuillage et zonage (cartes choroplèthes). Le contact entre zones urbaines et végétalisées est le plus souvent établi et mesuré selon un critère de distance/proximité.

3.1.1.2. L'intermix

Dans cette acception, l'interface ville — espace naturel est appréhendée comme une zone d'occupation du sol mixte. Le contact se fait sans rupture, ce qui empêche de discerner des zonages « purs » à différentes échelles. Urbain et végétal se mélangent à divers degrés dans un continuum spatial qui traduit une interpénétration (Lampin-Maillet, Jappiot, et al. 2010 ; Radeloff et al. 2005, 2023). Le phénomène prend souvent l'apparence d'une « pulvérisation » spatiale, toute discrétisation devient délicate à traiter. L'interface est traitée comme un continuum et les représentations de ces espaces complexes peuvent s'appuyer des paradigmes spécifiques tels que, par exemple, la logique floue (*fuzzy logics*) (Amato et al. 2018; Ban et Ahlqvist 2009).

[3] Version anglaise originale : « *areas where high-value properties intermingled with native vegetation* ».



Figure 2 : Les différentes formes (simplifiées) 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.

La double acception géométrique potentielle de l'interface, soit linéaire (contact), soit surfacique (zone de mélange), a donc conduit les auteurs (en particulier Radeloff et al. 2005) à décliner le concept en deux types : l'interface *stricto sensu* (ligne de contact) et l'intermix (zone de mélange). La pertinence de l'utilisation de l'un ou l'autre de ces concepts est essentiellement applicative, dépendant du contexte : certaines formes urbaines, en particulier sur le continent américain et l'Australie, sont mieux représentées par une géométrie linéaire, comme chez Ahmed et al. (2018). Mais la majorité des situations européennes ou même pan-méditerranéennes (y compris extra-Européennes, telles que la Californie) présentent des faciès d'intermix : paradoxalement, c'est plutôt le terme générique de « zone d'interface » qui s'est maintenu dans la littérature notamment européenne pour décrire les structures spatiales mixtes de mélange, par exemple, en France, chez Lampin-Maillet et al. (2010).



Figure 3 : Commune d'Auriol (Métropole Aix-Marseille-Provence). À gauche, Auriol sud, zone d'intermix avec mélange de bâti, parcelles agricoles et végétation. À droite Auriol nord, zone d'interface, le contact entre zones bâties et végétation est linéaire. Source : Géoportail, IGN, vue aérienne 24/06/2023.

Davis (1990) soulignait déjà le caractère ambigu du terme *Wildland Urban Interface*, tant par les types d'espaces urbanisés à considérer que l'ambivalence du terme « espace naturel ».

3.1.2. Une acception élargie de l'espace urbain

La plupart des auteurs assimilent la composante urbaine de l'interface à tout espace fortement artificialisé, construit de façon continue ou discontinue, y compris le bâti rural, sans référence stricte à la ville ou aux formes strictement urbaines. Si les zones industrielles, commerciales et d'activité au sens large entrent bien dans la catégorie des zones urbaines, pour les auteurs travaillant à l'échelle locale, des agrégats de bâtiments, par exemple agricoles, isolés dans un espace végétalisé contribuent aussi à dessiner la carte des interfaces (Lampin-Maillet, Mantzavelas, et al. 2010). Il en va de même pour les zones d'enjeux spécifiques, tels que les terrains de camping, même isolés des villes. Au final, la composante urbaine de l'interface peut en fait représenter, en fonction de l'échelle considérée dans l'étude, toute concentration d'enjeux anthropiques permanente, pouvant se limiter, à l'extrême, à un simple bâtiment isolé (Bouillon et al. 2014). Cet élargissement sémantique participe également des variations de dénominations rencontrées dans les différentes publications (interface ville — espace naturel, interface rural — urbain, interface habitat-forêt, interface triple agriculture-forêt-urbain…). En France, la typologie d'interfaces proposée par Le Fur et al. (2024) introduit la distinction sémantique entre « espaces urbains » et « espaces ruraux », considérée d'un point de vue réglementaire (au sens des plans locaux d'urbanisme), dans la spécification même des types d'interface.

3.1.3. Un espace « naturel » potentiellement fortement artificialisé

Pour ce qui est de l'espace naturel, dans la majorité des contextes européens, en particulier le contexte méditerranéen, l'empreinte écologique humaine est à la source de la construction de tous les paysages, y compris forestiers, mais aussi ouverts et semi-ouverts, qui sont le plus souvent d'origine pastorale. Aussi, le terme « espace naturel » qualifie simplement les espaces où la pression anthropique est considérée comme moindre que celle exercée sur les espaces agricoles ou urbains. En conséquence, la délimitation de l'espace naturel varie : à l'instar des bases de données d'occupation des sols, telle que la nomenclature Corine Land Cover, les auteurs excluent généralement les espaces cultivés de l'espace naturel, mais y incluent les parcours pastoraux actuellement à faible pression pastorale (voire nulle), en cours de fermeture, et donc potentiellement à forte charge de combustible (par exemple [Lampin-Maillet et al. 2011 ; Tonini, Parente, et Pereira 2018 ; Vilar et al. 2016]). La naturalité évoquée par le terme « *wildland urban interface* » fait en tout état de cause plutôt référence à toutes sortes d'espaces peu ou modérément artificialisés, incluant des forêts, des taillis forestiers, des accrus forestiers,

des formations arbustives spontanées notamment sclérophylles (garrigues, maquis), des espaces d'origine pastorale abandonnés ou sous-exploités en cours de fermeture, etc. (Curt, Fréjaville, et Lahaye 2016). Les espaces agricoles entretenus en sont généralement exclus, mais les espaces en déprise et la friche jouent un rôle prépondérant dans la définition de l'interface (Janin et Andres 2008).

Enfin, un grand nombre de classes d'espaces portant une charge de végétation combustible significative, parfois fortement artificialisés, peuvent être classés parmi les « espaces naturels » dans la perspective de la définition de l'interface : des espaces « relictuels » végétalisés tels que les talus de bord de route, des terrains en attente d'évolution foncière (souvent de constructibilité), des friches d'origine urbaine dont les structures (bâtiments) ont disparu, ou tout espace significativement végétalisé peut constituer la composante « non urbaine » de l'interface.

3.1.4. Des terminologies alternatives rencontrées plus spécifiquement en France dans le monde académique et opérationnel

3.1.4.1. Le cas particulier de l'interface « habitat-forêt » en Europe Méditerranéenne

En France, et plus largement en Europe, le concept de WUI a été souvent traduit par le terme d'Interface Habitat-Forêt, en particulier chez Lampin-Maillet et al. (2010) et les autres publications du même auteur. Il s'agit en fait d'une réduction du terme plus générique de WUI (et plus spécifiquement d'intermix), à une classe d'occupation du sol composite spécifique très répandue dans toute l'aire méditerranéenne européenne à risque incendie de végétation : la zone d'urbanisation résidentielle diffuse au sein d'espaces boisés. Le terme d'habitat est ici synonyme de zone résidentielle périurbaine, et non d'habitat écologique. Il s'agit donc des zones où d'une part la composante anthropique de l'interface majoritairement présente est constituée de bâtiments résidentiels individuels, et d'autre part la composante végétale combustible est constituée de formations arborées ou arbustives méditerranéennes, garrigues ou maquis, mais plus encore de pinèdes récentes (Pin d'Alep, ou plus localement Pin maritime), voire des plantations (Bartlett 2012). Le modèle le plus simple est la maison avec son jardin d'agrément arboré, souvent sur une parcelle cadastrale unique, constituant ainsi une entité foncière bâtie et une unité de gestion (par le propriétaire, ou plus rarement en France, un locataire).

Le terme « forêt » désigne ici l'ensemble des espaces naturels arbustifs et arborés qui constituent les « massifs forestiers », délimités par l'Office National des Forêts, notamment pour la définition de la zone légale de débroussaillement (zone tampon de 200 m autour des massifs forestiers). Cette définition de la forêt peut être néanmoins perçue comme trop extensive d'un point de vue de l'écologie, puisque regroupant des écosystèmes pouvant ne pas être arborés (maquis ou garrigue non arborés notamment). De plus, elle exclut certains espaces végétalisés à charge en combustible non négligeable, tels que des friches embroussaillées, voire certains espaces pastoraux en cours de fermeture.

3.1.4.2. Les interfaces urbain — végétation ou bâtis — végétation

Les termes d'interface ville — végétation ou bâtis — végétation sont les plus généraux permettant de ne pas réduire explicitement la composante végétation combustible de l'interface aux seuls espaces naturels : certains espaces agricoles chargés en combustible végétal, mais surtout les espaces végétalisés fortement anthropisés mentionnés précédemment dans ce chapitre (espaces relictuels, friches, notamment périurbains, etc.) y sont explicitement inclus. Ces termes sont toutefois peu rencontrés dans la littérature anglophone et même francophone, malgré la diversité terminologique que l'on y trouve.

3.1.4.3. Le « bâti boisé »

Les termes de « bâti boisé » ou « interface bâti/boisé » pouvaient être par ailleurs utilisés dans des documents techniques par les opérationnels de la gestion forestière ou urbaine[4], notamment avant que ne s'impose le terme d'interface ville — espace naturel, avec une signification proche. Il n'apparaît néanmoins pas dans la littérature académique, même francophone, appliquée à l'incendie de végétation.

3.1.4.4. Les « interfaces urbain – rural »

Le terme d'« interface rural — urbain » ou « interface urbain — rural », bien que plus souvent utilisé par certains géographes pour traiter de problématiques de développement local en dehors de perspectives liées à l'incendie de végétation, figure aussi dans le glossaire académique des chercheurs (Bouillon et al. 2014 ; Sirca et al. 2017) et des gestionnaires du risque incendies de végétation.

Nous verrons dans la section consacrée à la polysémie des interfaces que ces choix sémantiques sont porteurs de nuances significatives à la fois de l'intention et de la perspective dans laquelle sont conduits les travaux de recherche.

3.1.5. Quelques conséquences de ces définitions

Ainsi, plusieurs éléments découlant de ces définitions caractérisent les interfaces :

a) Le caractère polysémique du terme « interface », susceptible de recouvrir des réalités différentes en fonction des contextes, mais aussi de la problématique traitée (risques naturels, développement économique, aménagement multi-objectifs, etc.). La polysémie du concept d'interface dans la littérature est détaillée dans le paragraphe suivant.

b) Le caractère composite de l'interface, qui est toujours une zone géographique mixte composée d'éléments organisés de végétation et de structures anthropiques, dont l'étude relève de disciplines souvent différentes (urbanisme, foresterie, écologie, sociologie). Sa définition se fonde donc sur son hétérogénéité, en composition ainsi que potentiellement en structure. Ceci conduit assez souvent (mais non systématiquement) à caractériser les interfaces par des attributs quantificateurs de ces composantes (le végétal, le bâti) et de leurs arrangements au sein de l'interface (voir ci-après).

Il en résulte que les définitions se réfèrent toujours à un niveau d'échelle, auquel sont identifiés ces différents composants. Comme pour tout objet géographique, ce caractère dépendant de l'échelle conduit à des quantifications pouvant être extrêmement variables, selon le niveau d'échelle auquel se réfère la définition adoptée.

L'interface est aussi un objet (espace ou ligne) transitionnel, et donc un lieu d'interaction entre deux (ou plusieurs) « mondes » ou systèmes, en particulier les écosystèmes et les systèmes très fortement anthropisés que sont les villes. Des auteurs proposent ainsi des définitions qui insistent sur cette dimension transitionnelle de l'interface, par exemple Palaiologos Palaiologou et al. (2022) pour qui l'interface est la zone de transition entre l'espace naturel (wildland) et les espaces de développement humain (human development).

Enfin le caractère dynamique de l'interface est au cœur de sa définition (Qian, He, et Smith 2025). L'interface est générée par des processus territoriaux naturels et anthropiques se manifestant notamment par des « dynamiques spatiales » et des changements d'occupation du sol. Les interfaces sont « fabriquées » par des processus dynamiques des territoires. La section finale de ce chapitre examine les résultats de la littérature qui abordent les interfaces d'un point de vue dynamique.

[4] Le terme se trouve dans plusieurs documents des Plans de Prévention du Risque Incendie de Forêt (PPRIF) de communes du Sud-Est de la France, par exemple : « Commune de Tanneron, 2014, Projet de Plan de Prévention des Risques Naturels d'Incendies de Forêt. Dispositions mises en opposabilité immédiate. Règlement ». https://www.var.gouv.fr/contenu/telechargement/13513/112026/file/tanneron_pprif-a_20140806_reglement.pdf

3.1.6. Quelques chiffres issus de ces définitions

Schug et al. (2023) ont produit une analyse quantitative des interfaces à l'échelle mondiale. Les auteurs estiment qu'en 2020 les zones d'interface couvrent 6,3 millions de km², soit 4,7 % de la surface terrestre, ce qui représente une superficie légèrement supérieure à celle des zones urbanisées (deux fois la superficie de l'Inde). L'intermix atteint 4,8 millions de km² (1,7 milliard de personnes), et l'interface 1,5 million de km² (1,8 milliards de personnes), mais la distribution spatiale du phénomène est très variable en fonction des conditions locales. En utilisant des images satellites, Chen et al. (2024) obtient en 2024 des résultats très proches, soit 6,62 millions de km² d'interface, dont environ 5 millions en intermix et 1,62 million en interface stricto sensu.

En Amérique du Nord, la définition de Radeloff et al. (2005) sert au recensement et à la cartographie des interfaces aux États-Unis, par la production de la base SILVIS dans les années 1990 (Hanberry 2020), avec une mise à jour à la fin des années 2010 (Radeloff et al. 2018). Ce dernier auteur montre que la surface couverte par l'interface ville — espace naturel de tout type (interface stricto sensu et intermix) est passée d'environ 592 000 km² (7,2 % du territoire « contigu » des États-Unis, donc hors Alaska et territoires insulaires) en 1990 à 781 000 km², (9,5 %), soit une augmentation de 189 000 km². Il montre aussi que l'intermix croit beaucoup plus rapidement (jusqu'à +7,5 % entre 1990 et 2010) que l'interface « stricto sensu » (jusqu'à +2 % entre 1990 et 2010).

Pour ce qui est de l'Europe, en 2023, Bar-Massada et al. (2023) proposent une cartographie des interfaces à l'échelle européenne fondée sur la méthode spécifiée par Radeloff et adaptée : les résultats constituent une évaluation homogène des surfaces d'interface dans les différents pays européens, même si l'auteur souligne la très grande hétérogénéité des situations géographiques et l'adaptation locale nécessaire de la méthode ou de son paramétrage.

Tableau 1 : Évaluation des surfaces et proportions d'interface naturel-urbain (interface stricte et intermix), d'après Bar-Massada et al. (2023).

	Interface (km²)	Intermix (km²)	Interface (%)	Intermix (%)	Total (%)	Interface/Intermix
France	38 288	26 291	6,98	4,79	11,76	1,46
Europe (36 pays)	193 974	169 312	3,93	3,43	7,37	1,15

Les publications académiques spécifiquement consacrées au cas de la France ne fournissent pour l'heure que des estimations locales : Chappaz et Ganteaume (2023) estiment, par exemple que les interfaces représentent environ 30 % du territoire des Bouches-du-Rhône. La prochaine publication prévue de cartes d'interface à l'échelle nationale issues des calculs effectués par l'Office National des Forêts fournira une information quantitative homogène sur tout le territoire métropolitain, sur la base d'un modèle d'interface adapté au contexte français.

L'estimation des surfaces d'interface est donc très fortement dépendante de la définition choisie ainsi que des algorithmes et des paramètres associés utilisés pour en effectuer la cartographie.

Certains travaux cherchent à identifier des catégories d'interfaces spécifiques, comme les interfaces entre zones industrielles et végétation. Planas et al. (2023) estiment ainsi qu'en Europe, 2,5 % du territoire et 6 % des zones végétalisées relèvent de ces interfaces industrie-espace naturel. Des analyses du risque d'incendie dans ces zones demandent à être conduites car elles sont peu étudiées alors que les incendies peuvent y éclater et déclencher des accidents ou des événements en cascade.

Au-delà de ces définitions, la littérature scientifique montre le caractère très polysémique du concept d'interface qu'il convient d'analyser dans le détail afin d'en appréhender toutes les réalités et leurs implications sur le risque incendie de végétation.

3.2. La « fabrique des interfaces » : dynamiques spatiales et territoriales

L'interface ville — espace naturel n'est pas un objet statique. Elle résulte de processus spatiaux complexes de changements anthropiques d'occupation du sol et de la dynamique spontanée des écosystèmes plus ou moins perturbée par la pression anthropique. L'interface évolue donc dans l'espace et dans le temps, en fonction de facteurs anthropiques et environnementaux (Amato et al. 2018). Pour Amato et al. (2018), le changement de l'utilisation et l'occupation des sols (*Land Use Land Cover Change*) en milieu méditerranéen au cours des dernières décennies s'est fait aux dépens de zones rurales progressivement, mais aussi massivement abandonnées sous la pression de l'urbanisation et du développement accéléré des territoires touristiques. Dans une étude sur la Région du Latium (Lazio), Italie centrale, Elena Brunori et al. (2017) estiment par exemple que la surface urbaine a augmenté de 523 % entre 1960 et 2012 — environ 10 % par an en moyenne — mais de seulement 24 % entre 2000 et 2012, soit 2 % par an en moyenne : le processus semble donc ralentir. La surface des terres non cultivées (friches) a augmenté de 7 216 % entre 1960 et 2000 (passant de 0,1 % à 6,6 % du territoire), avant de chuter de 95 % entre 2000 et 2012. L'auteur estime cet exemple représentatif de la situation des territoires méditerranéens. Même si ces processus historiques ont tendance à ralentir, voire s'inverser, ils continuent à marquer durablement le paysage.

Il en découle que la notion d'interface ville — espace naturel doit être redéfinie en tenant compte des changements constatés. L'interface rural — urbain (*Rural Urban Interface* ou RUI) est désormais considérée comme la zone de transition la plus menacée par les incendies en milieu méditerranéen, précisément parce que les zones agricoles périurbaines sont abandonnées au profit de mécanismes urbains de conquête foncière (*land taking*). L'analyse des processus permet de passer une étape dans la compréhension de la complexité des mécanismes à l'œuvre dans les zones d'interface critiques et peu résilientes face au risque incendie. Le processus de conquête foncière caractéristique des interfaces ville — espace naturel sous-entend souvent que le développement urbain se fait sur un mode de prédation sélective (Colantoni et al. 2016). Selon les auteurs, celle-ci s'effectue à des degrés variables, plus ou moins intenses, aux dépens de trois catégories de terres : agricoles, végétation clairsemée et zones naturelles. Les modalités de la prédation varient en fonction des objectifs de développement. Par exemple, en Grèce, les territoires soumis à forte pression touristique s'orientent préférentiellement vers une prédation exercée sur les espaces naturels, tandis que l'extension des périphéries urbaines hors littoraux se fait aux dépens de friches ou zones faiblement végétalisées, y compris les zones agricoles les moins dynamiques. Ainsi, l'expansion des zones touristiques à travers la construction se fait contre les espaces naturels non constructibles, souvent à la faveur d'incendies — phénomène ancien, aujourd'hui plus étroitement contrôlé. Colantoni et al. (2016) décrivent un processus de conversion classique par étapes successives : espace naturel boisé, converti en zone agricole (intensification agricole des années 1950-70), converti en végétation éparse (abandon agricole des années 1980-90), convertie en habitat dispersé (années 1990-2000 avec le renforcement des périphéries urbaines parallèle à la régression des centres-villes). Ce processus « stratifié » a conduit à une multiplication des friches et à l'augmentation significative du risque incendie.

Ce type d'exemple permet de comprendre les mécanismes historiques et illustre parfaitement la manière dont les formes spécifiques (*pattern*) découlent des processus de développement à l'amont (déprise vs prédation).

En quoi consistent les paysages de transition type de l'interface ville — espace naturel ? Le concept de friche est particulièrement pertinent. À travers la friche, les notions d'urbain et de rural deviennent floues, car les deux milieux accueillent des friches plus ou moins végétalisées. Peu de travaux de recherche ont été engagés sur les friches d'un point de vue géographique.

La friche (Janin et Andres 2008) est à la fois un élément de paysage et un système de valeurs en évolution. Leray et al. (2024) fournissent les définitions officielles en France : la loi Climat et résilience de 2021 définit la friche comme « tout bien ou droit immobilier, bâti ou non bâti, inutilisé et dont l'état, la configuration ou

l'occupation totale ou partielle ne permet pas un réemploi sans un aménagement ou des travaux préalables ». Étonnamment, l'élément « végétation », pourtant très souvent associé au concept, n'est pas mentionné. L'INSEE ajoute un abandon depuis plus de deux ans et un espace de plus de 2 000 m². Les auteurs se focalisent sur la friche urbaine, mais la réflexion s'étend aux friches rurales. L'anglais permet en outre de distinguer les notions de « *wasteland* » (friche, terrain vague), de « *leftover* » (espace délaissé ou résiduel) et de « *brownfield* » (friche industrielle, site pollué).

3.2.1. Expansion urbaine (« *Urban Sprawl* »)

Appréhender la notion d'interface suppose de comprendre les mécanismes qui président à l'expansion urbaine. Couch et al. (2007), dans un ouvrage assez ancien, détaillent la signification d'« *urban sprawl* », que l'on peut traduire en français par mitage, périurbanisation, rurbanisation ou plus simplement étalement urbain. L'idée de « *sprawling* » est souvent connotée négativement, en tant que forme inefficace, faiblement dense de développement suburbain. La plupart des références bibliographiques sur le sujet sont issues de la littérature américaine ou anglaise. Les « *suburbs* » sont abordés sous deux angles : comme forme de l'urbanisation, ou comme processus de changement urbain. Le terme *sprawl* se définit comme une forme de développement dans les zones suburbaines où des ensembles résidentiels de faible densité remplacent la mosaïque traditionnelle forêt-agriculture, formant ainsi un espace mixte indéfini où l'habitat est disséminé, et où la population est étroitement dépendante des moyens de transport (voir figure 4).



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

La définition générique de l'interface, mélange de structures bâties et de végétation, renvoie directement à cette idée d'étalement (Barbosa et al. 2024). Le concept se décline selon diverses modalités en fonction des régions (Bush-Urban Interface en Australie, par exemple) (Solangaarachchi, Griffin, et Doherty 2012). Comme le montre la figure 5, selon le critère de distance adopté (100, 200, 500 ou 1000 m de distance autour du bâti), l'emprise spatiale de la zone d'interface varie très fortement, en fonction de l'hétérogénéité des milieux et des modalités de l'étalement urbain (Ganteaume et al. 2021)

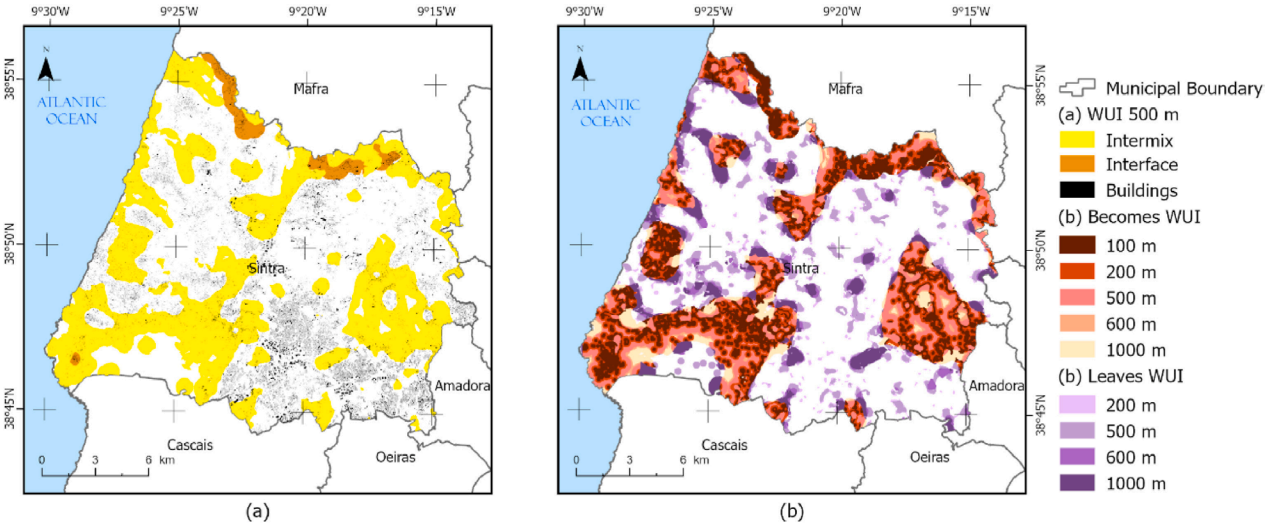


Figure 5 : Interface ville — espace naturel à Sintra (Portugal) (a) configuration spatiale de l'intermix et de l'interface pour un rayon de 500 m ; (b) gains et pertes de surface WUI en fonction de la distance (fenêtre mobile circulaire de rayon variable) (Barbosa et al. 2024).

La perspective morphologique de l'étalement urbain a un pendant géopolitique que soulignent plusieurs auteurs : *sprawling* peut être appréhendé comme la conséquence d'une fragmentation du contrôle de l'usage du sol dans les zones métropolitaines. C'est pour qualifier ce gradient que Galster et al. (2001) introduit huit concepts et variables combinées susceptibles de qualifier l'étalement urbain et la diversité des mécanismes de genèse des territoires périurbains, en écho aux métriques utilisées pour caractériser l'interface : densité, continuité, concentration, clustering, centralité, nucléarité, usages mixtes et proximité. Ces concepts sont mobilisables pour qualifier et spatialiser aussi bien le bâti que la végétation.

Il faut se pencher sur les origines historiques et socio-économiques de l'expansion périurbaine pour en comprendre les formes dérivées récentes (Couch et al. 2007). Les *suburbia* anglaises sont le produit du développement de l'habitat bourgeois dans la campagne périurbaine, suivant un processus de dissociation entre lieux de production et de travail — lieux de vie et de loisirs. On distingue :

1-les *suburbs*, qui portent l'idée d'unité familiale bourgeoise, établie à proximité de la nature, loin de la ville polluée et industrieuse, occupée par des habitants pauvres.

2-les *urban outskirts* (faubourgs, périphérie urbaine, banlieue), qui sont des projections de la ville sur ses marges, manifestation d'un processus de « colonisation » externe, lorsque la ville croît.

Les modèles anglais et français du développement urbain divergent. En France, la bourgeoisie a souvent choisi de rester présente au cœur de la ville. Ce sont les pauvres et l'industrie qui ont été rejetés en périphérie, du moins au 19e siècle et au début du 20e. Le modèle français a été repris en Europe orientale avec différentes nuances, et déployé à différents rythmes. Les villes européennes et méditerranéennes auraient adhéré à un modèle de développement plus dense et planifié qu'en Amérique du Nord.

Ce mécanisme historique permet de revenir vers la notion d'interface. Au-delà du phénomène général, le processus d'étalement adopte des profils différents entre pays, régions et villes. La lecture des interfaces peut être transversale dans sa dimension morphologique et paramétrique, les processus pointent en revanche vers une grande diversité de mécanismes locaux de développement.

Dans une étude sur Barcelone et sa région, datée, mais toujours valide, Valerià Paül i Carril et Matthew Tonts (2005) décrivent le processus historique qui a conduit à la diffusion de l'habitat urbain en périphérie métropolitaine. Le schéma est très proche de celui observé dans d'autres villes méditerranéennes. Ici, les formes de l'expansion périphérique sont liées à un semi-échec des politiques de planification du développement urbain depuis la guerre, selon un mécanisme qualifié d'inertiel : les plans d'aménagement anciens pèsent très lourdement sur la définition des nouvelles politiques de gestion de l'expansion périphérique. La gestion de l'interface dynamique ville — espace naturel passe non pas par une maîtrise accrue de l'aménagement urbain

périphérique, héritière d'un lourd passé sur lequel il est pratiquement impossible de revenir : réduire une masse combustible est plus facile que de détruire ou redéployer des zones d'habitation ou de réorganiser un parcellaire hérité (voir chap. 8, Urbanisme, aménagement et gouvernance). Quand, de plus, les différents niveaux de planification entrent en conflit ou discordance, le système perd de son contrôle territorial. Le « *containment* » urbain a été presque toujours débordé par les impératifs et modalités du développement périphérique, dont une des clés de compréhension (hormis la pression démographique induite par l'exode rural ou les redistributions inter-urbaines) est le prix du foncier et de l'immobilier : le déploiement se fait préférentiellement vers les périphéries les moins chères, entraînant par la même occasion des transferts d'activités, en particulier celles demandeuses d'espace (centres commerciaux, plateformes commerciales, infrastructures, universités, prisons, etc.).

La notion de « *sprawl* » est ainsi peu codifiée. La grande variété des paysages, de l'histoire locale, des systèmes de planification, de culture, de niveau de développement économique et d'environnement biophysique influencent la nature de l'étalement. L'impact le plus manifeste de ce phénomène a été une déstructuration du tissu agricole périurbain. L'interface première a été ville — campagne avant de devenir ville — espace naturel du fait de la déprise agricole (voir Chap. 5, Changements globaux).

Valeríà Paül i Carril et Matthew Tonts (2005) illustrent leur propos en mentionnant un phénomène relativement peu étudié : les résidences secondaires en périphérie urbaine, à la recherche d'aménités autres que celles proposées par les résidences principales en ville, sous forme de « contre-modèle ». Ces résidences, occupées dans un premier temps le week-end ou pendant les vacances, ont commencé à être converties en résidences principales à partir des années 1990. Ces implantations portent le nom d'« *urbanitzacions* ». Ce sont des îlots paysagers, souvent raccordés par une seule route d'accès.

Ces processus cumulés, inscrits dans le long terme de l'histoire urbaine, produisent des isolats de terres agricoles résiduelles et des isolats de zones végétalisées résiduelles ou de reconquête végétale. Des zones spécifiques ont pu résister : celles où la pression sociale et politique est parvenue à maintenir des paysages agraires dont les aménités sont aujourd'hui reconnues par les communautés locales, en particulier les vignobles. Cette expansion, ici comme ailleurs, s'est ainsi accompagnée d'une forte croissance des zones forestières, d'où l'importance accordée aux parcs naturels dans les périphéries urbaines.

3.2.2. Mitage, éparpillement (« *sprinkling* »), complexification et déstructuration des territoires

La dynamique de l'étalement urbain interagit donc avec la progression de la végétation ligneuse sur les espaces agricoles ou pastoraux en déprise (friches, parcours) (voir Chap. 5, Changements globaux) pour former les interfaces ville — espace naturel. Il ne s'agit pas de simples évolutions des surfaces relatives de chacune des classes d'occupation du sol, mais bien d'une évolution radicale de la structure des paysages, voire d'une déstructuration de l'organisation spatiale des territoires. L'état « initial » est hérité du modèle d'organisation théorique médiéval, notamment en Méditerranée, où le noyau urbain (la ville ou le village, possiblement perché) est cerné de son finage agricole cultivé (hérité de « l'*ager* »), puis en deuxième couronne de son espace sylvopastoral peu chargé en combustible (hérité du « *saltus* »). La forêt (la « *sylve* »), dans ce modèle, est donc séparée des enjeux bâtis par un large espace peu chargé en combustible végétal.

La double dynamique de l'étalement urbain et de la progression de la végétation ligneuse sur les espaces agropastoraux conduit à une complexification radicale de l'espace territorial. Un exemple de cette complexification de l'occupation du sol d'un territoire Méditerranéen local (commune de Cabriès, Bouches-du-Rhône), est illustré par la figure 6.

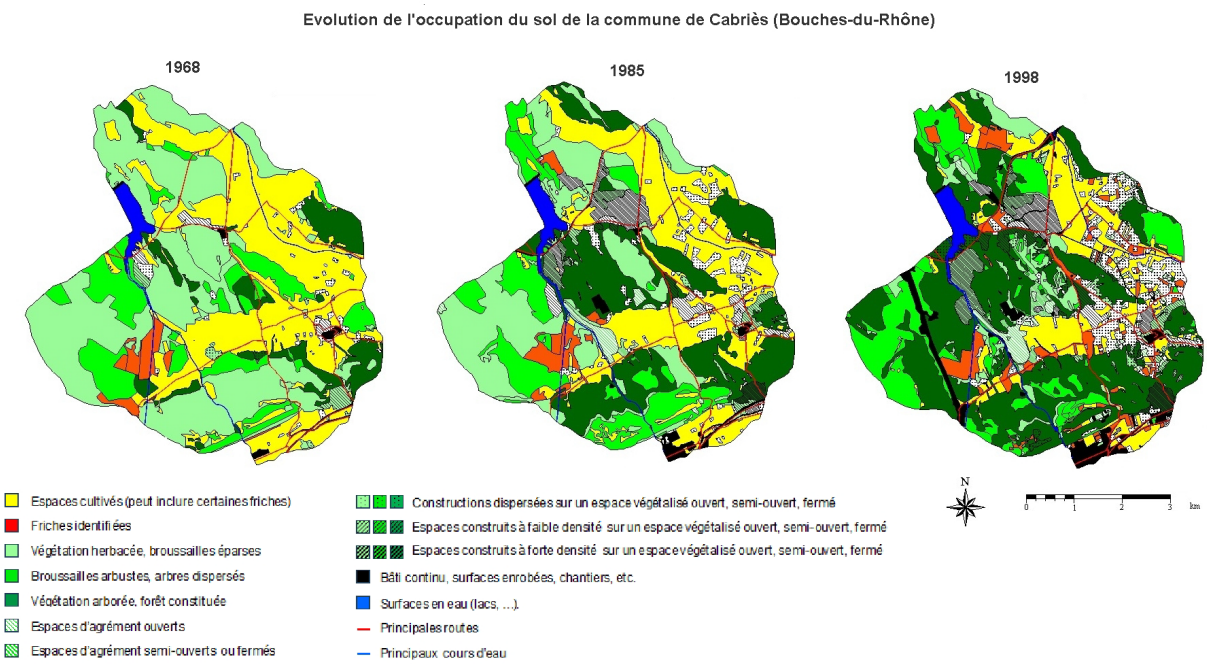


Figure 6 : Cartes de l'évolution de l'occupation du sol d'une commune méditerranéenne (Cabriès, Bouches-du-Rhône) entre 1968 et 1998, établies par photo-interprétation diachronique[5].

Les différentes classes d'occupation du sol s'interpénètrent au point de former des classes « mixtes » dont il devient presque impossible de distinguer les composantes : le concept d'interface permet donc d'appréhender ces nouvelles structures spatiales critiques d'un point de vue du risque incendie de végétation.

De nombreuses publications mettent en avant le développement important de l'exurbia, entendu comme « pulvérisation » du bâti urbain aux marges des zones « naturelles », processus que l'on peut appréhender comme une extension extrême de l'urbain ou comme une expansion des zones végétalisées en direction des zones construites (Ban et Ahlqvist 2009), sans que la notion de connectivité morphologique n'intervienne. Ce phénomène est dénommé « *sprinkling* » par quelques auteurs. Mitage et éparpillement de basse densité se démarquent profondément de l'étalement périphérique (*sprawling*) et de ses manifestations exurbaines (Romano et al. 2017).

Sprawling est le terme qui qualifie la diffusion de l'urbain bâti dans des zones non développées à proximité d'une ville, tandis que *sprinkling* est le saupoudrage de petites unités de bâti dans un environnement naturel, semi-naturel ou agricole. *Sprawling* est une modalité de développement urbain qui maintient un niveau d'agrégation avec la ville préexistante, et une continuité de la fabrique urbaine (parenté avec la notion d'interface). Le périmètre ainsi urbanisé se distingue encore nettement de l'environnement rural ou naturel alentour, ce qui est beaucoup plus difficile avec *sprinkling* (apparenté à intermix).

Il existe des formes plus ou moins légales de *sprawling* dans les pays méditerranéens, en fonction de la capacité régulatrice des collectivités locales (*law enforcement*). Pour le *sprawling*, le taux de couverture est estimé à 10-30 % (Romano et al. 2017). Dans le cas du *sprinkling*, le développement urbain est plutôt spontané ou soumis à des contrôles faibles. Les zones construites ne sont pas homogènes et mêlent différentes fonctions résidentielles, rurales ou tertiaires. Le taux de couverture est faible (<1 %). Le *sprinkling* pose de nombreux problèmes d'aménagement et conduit à une diminution de la qualité des écosystèmes (érosion écologique et fragmentation). Le mitage est souvent associé à l'initiative individuelle dans les processus d'allocation de propriété et de construction. Les auteurs soulignent que les « dommages » causés à l'environnement et aux communautés sont plus importants dans le cas du *sprinkling* que dans celui du *sprawling*. De même, la résilience face aux risques

[5] Rapport de Recherche, Maillé, E. ; Bouillon, C. (2000), Agriculture et dynamiques spatiales à l'échelle communale en situation périurbaine. Eléments à prendre en compte dans une démarche d'aménagement. Le cas de la commune de Cabriès (13). Cemagref Aix en Provence. Disponible en archive ouverte : https://hal.inrae.fr/hal-02579010v1

est plus faible (voir Chap. 3. Vulnérabilité et 8, Urbanisme, aménagement et gouvernance). Notons que le phénomène de *sprinkling* peut intervenir même dans un contexte de décroissance locale de la population.

Cette dispersion extrême du bâti pose des problèmes d'approche méthodologique : elle ne peut être sérieusement appréhendée à partir des bases de données standardisées, sauf si ces dernières sont régulièrement actualisées et établies aux plus hautes résolutions. Les analyses fondées par exemple sur les bases de données d'occupation du sol (*LULC : Land Use Land Cover*) à partir d'imagerie Haute Résolution à 30 m, peinent à mesurer le phénomène. Avec *Corine Land Cover*[6], qui est une base de données fondamentale utilisée par nombre d'analystes de l'interface, le maillage atteint 25 ha. La perte d'information sur le *sprinkling* est estimée à 50 %. Ce phénomène de « pulvérisation » pose la question de l'efficacité et de la légitimité des définitions les plus couramment utilisées pour mesurer et cartographier l'emprise spatiale des zones d'interface ou d'intermix.

3.3. Polysémie, complexité du réel : ambiguïté des catégorisations et conséquences opérationnelles

L'interface est donc le produit de processus spatiaux complexes, naturels et anthropiques, interagissant pour former de nouveaux espaces mixtes, dont le faciès se révèle d'une extrême diversité. Il en résulte une polysémie du terme lui-même, et par suite, une pluralité des définitions formulées par les auteurs.

Les auteurs s'accordent donc globalement sur une définition très générale peu formalisée de l'interface. L'interface ville — espace naturel (*Wildland Urban Interface*) désigne les zones où les constructions humaines entrent en contact direct avec la végétation naturelle. Ces zones concentrent une exposition humaine quantifiable aux incendies, souvent d'origine humaine, avec une fréquence d'occurrence des incendies de végétation importante.

En réalité, si la notion d'interface est très largement utilisée, le consensus terminologique est loin d'être atteint (Dadashpoor et Ahani 2019). Le terme est porteur d'ambiguïtés et donne lieu à différentes interprétations. Plusieurs autres notions lui sont parfois associées ou viennent s'y substituer. De nombreux autres termes sont également connectés au champ sémantique des interfaces sans s'y référer directement, par exemple les franges urbaines (Hughes et Mercer 2009), l'espace périurbain, l'espace rural, etc.

La diversité des terminologies déjà évoquée relativement à la littérature académique et opérationnelle appliquée au cas français se retrouve dans la littérature internationale avec une gamme sémantique bien plus large encore. Il ne s'agit pas d'une simple question de définition ou de dénomination : d'une part la multiplicité des terminologies pour désigner un même objet témoigne de la variété des contextes, des disciplines et des finalités pour lesquels le concept est susceptible d'être mobilisé ; et d'autre part le fait que le même vocable « interface » recouvre potentiellement plusieurs réalités (polysémie), résulte d'une réalité complexe et multiforme dont toute la diversité ne peut être saisie au sein d'un concept unique. Nous approfondissons, dans cette partie, les implications de cette polysémie à travers la littérature analysée.

3.3.1. Diversité terminologique

L'interface ville — espace naturel peut ainsi être appréhendée de multiples façons, soit comme une zone de mise en contact à haut risque, soit comme un gradient d'interpénétration mutuelle. Toutefois, le consensus terminologique est loin d'être atteint (Dadashpoor et Ahani 2019). Le terme est porteur d'ambiguïtés et donne lieu à différentes interprétations. Plusieurs autres notions lui sont parfois associées ou viennent s'y substituer. Dadashpoor et Ahani (2019) recensent la diversité des termes anglophones susceptibles d'être associés au concept :

[6] European Commission, European Environment Agency's Copernicus Land Monitoring Service : https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover

Tableau 2 : Quelques termes anglophones en relation sémantique avec l'interface ville — espace naturel d'après Dadashpoor et Ahani (2019), avec une proposition de traduction et une interprétation issue de l'analyse de l'auteur.

Terme anglophone	*Traduction proposée*	*Interprétation proposée*
Urban fringe	Frange urbaine	Zone de bâti discontinu en périphérie du noyau urbain
Urban - rural fringe	Frange urbain — rural	Zone mixte urbaine/rurale
Suburban	Banlieue	En continuité physique avec la ville centre, mais situé à l'extérieur de celle-ci
Ex-urban¤ ¤	« Hors urbain »	Habitat au-delà du périurbain, à l'interface urbain — rural
Edge-city¤ ¤	Lisière urbaine	Limite linéaire de la ville
Edgelands¤ ¤	Espace lisière	Espace de transition ou de séparation entre deux classes d'occupation du sol
Periurban	Périurbain	Zone en périphérie de la ville
Urban outskirts	Zone de transition urbain — rural	Version plus compacte et large du concept de frange urbain — rural
Rural hinterland	Zone d'attraction	Zone rurale sous attraction d'une agglomération
Urban shadow	Zone d'influence urbaine	Zone sur laquelle l'influence urbaine se fait sentir, sur le foncier, l'activité économique, etc.
Inner fringe	Zone agricole en cours d'urbanisation	Zone de transition entre espaces agricoles purs et espace urbain, en cours d'urbanisation
Outer fringe	Espace agricole périurbain	Terres dominées par un usage agricole en périphérie des villes

Taccaliti et al. (2023) structurent le problème de la définition des interfaces en distinguant trois dimensions : la dimension conceptuelle (de quoi s'agit-il ?), la dimension sémantique (nommage), et la dimension méthodologique (comment la cartographier ou la caractériser ?).

D'un point de vue conceptuel, les auteurs considèrent que la composante « espace naturel » est une portion d'espace soumise à une influence anthropique réduite. Pour ce qui est de la composante anthropique, les enjeux peuvent être d'une seule classe d'objets géographiques, souvent le bâti résidentiel, mais d'autres auteurs considèrent une typologie d'enjeux anthropiques plus large (bâti résidentiel, infrastructures, bâtiments ou zones industrielles, etc.).

D'un point de vue terminologique, les auteurs recensent les termes mobilisés par les auteurs d'environ 40 publications relatives aux interfaces.

Tableau 3 : Termes utilisés pour définir les interfaces analysées par Taccaliti et al. (2023). D'autres termes sont relatifs aux interfaces non urbaines : « *Forest-agricultural interface* » (Interfaces agriculture-forêt), « *Wildland agricultural interface* » (Interface espace naturel-espace agricole), « *Forest-grassland interface* » (interface forêt-espace naturel ouvert).

Terme anglophone	*Traduction proposée*	*Nombre d'occurrences sur un échantillon de quarante publications*
Wildland-urban interface	Interface ville — espace naturel	30
Wildland-human interface	Interface espace naturel-espace anthropique	3
Urban-forest interface *Wildfire interface zone* *Rural-forest interface* *Road-forest interface* *Forest-settlement mixing zone* *Wildland anthropic interface* *Wildland-industrial interface* *Wildland infrastructure interface*	Interface forêt-urbain Interface feu Interface espace rural-forêt Interface forêt-routes Zone de mélange bâti-forêt Interface espace naturel-espace artificialisé Interface espace naturel-zone industrielle Interface espace naturel-infrastructure	1

La diversité terminologique reflète donc la réalité d'un objet transitionnel dont les composantes initiales et finales sont elles-mêmes complexes à définir, qu'il s'agisse de l'espace urbain ou de l'espace naturel, dès lors que l'on s'intéresse à leur forme marginale plutôt qu'à leur forme pure. Les auteurs ont donc recours à des définitions non binaires, typiquement les conceptualisations fondées sur des gradients d'anthropisation.

3.3.2. Gradient d'anthropisation

La notion anglophone d'interface ville — espace naturel (*Wildland-Urban Interface*, WUI), que ce soit à travers l'intermix ou l'interface, laisse volontairement de côté les espaces *intermédiaires*. Le contact ville — végétation ou bâti — forêt se veut direct, ce qui suppose que le schéma d'organisation territoriale classique ville-champs-pâture-forêt (*urbs-ager-saltus-sylva* en latin*)* n'est plus valide, i.e. :

(a) ce schéma spatial ancien qui manifeste un gradient d'anthropisation dégressif entre milieu urbain artificialisé et milieu naturel « spontané » a cédé la place dans la définition à une opposition binaire bâti-végétation où les espaces intermédiaires semi-naturels, agricoles et les terres de parcours d'élevage aux marges des villes sont considérés comme résiduels (ou ont disparu) ; le contact se réduit ainsi dans de très nombreuses publications au bâti — végétation (essentiellement des formations arborées, avec des définitions variables selon les domaines bio-climatiques concernés).

(b) on retrouve dans les notions d'interface et d'intermix des traces de cette manière binaire ou graduelle d'appréhender les territoires. Interface et intermix sont présentés comme des notions complémentaires, mais elles traduisent en fait deux réalités géographiques et cartographiques contradictoires : l'interface est ségrégative et

se matérialise dans des cartographies frontalières et scalaires (Radeloff et al. 2005), tandis que l'intermix inclut les éléments artificiels et naturels des paysages dans un ensemble organique et trans-scalaire (Amato et al. 2018; Schug et al. 2023) ; la meilleure transcription cartographique de l'intermix fait appel aux logiques floues (*fuzzy logics*), à l'interpolation graphique qui s'affranchit des limites et frontières.

Les définitions de l'interface, si techniques et variées soient-elles (multicritères ou indicateurs dérivés), ne parviennent pas à restituer la complexité systémique du problème dès lors que l'approche repose sur quelques paramètres — *a fortiori* lorsque les variables utilisées sont générales et en nombre limité.

Le corpus de publications exprime un panel varié de positions qui elles-mêmes restituent la variété des espaces périphériques urbains étudiés, notamment par la réintroduction de qualificatifs divers : l'interface ville — espace naturel (WUI) peut devenir ville — campagne — espace naturel (WRU, *Wildland-Rural-Urban*). Ban et Ahlqvist (2009) manifestent le continuum selon la modalité Urbain — Suburbain — Exurbain — Rural, sans mentionner l'espace naturel (*Wildland*). D'autres auteurs se positionnent en référence à l'interface urbain — rural ou ville — campagne (*Rural-Urban Interface*, RUI). L'expression RUI permet en outre d'aborder la question des interfaces sous un angle politique et administratif : villes et villages se définissent comme des périmètres d'exercice d'une autonomie locale dont les modalités de déploiement sont variées (expression géographique d'un rapport spécifique, en particulier culturel et économique, au milieu local). La réintégration du saltus (sous le vocable « rural ») remet les formations végétales intermédiaires au centre du débat, celles qui se déploient aux marges, et qui font précisément tampon entre ville, champs et forêt.

Sur le plan pratique, en France et en Europe, le schéma d'exclusion des espaces intermédiaires entre ville et espace naturel (dont les deux pôles extrêmes sont l'hyper-centre urbain entièrement artificialisé d'un côté et le parc naturel de l'autre) s'est effectivement développé au cours des dernières décennies du fait du recul des exploitations agricoles en nombre et en superficie. Toutefois, le phénomène n'est pas universel et reste dépendant des conditions locales. Histoire, géographie, déterminants socio-économiques et démographiques suscitent des dynamiques paysagères très différenciées localement, et certains périmètres géographiques ont enregistré une progression de l'intermix, notamment dans les secteurs les plus dynamiques économiquement et démographiquement (voir exemples mentionnés dans les paragraphes suivants).

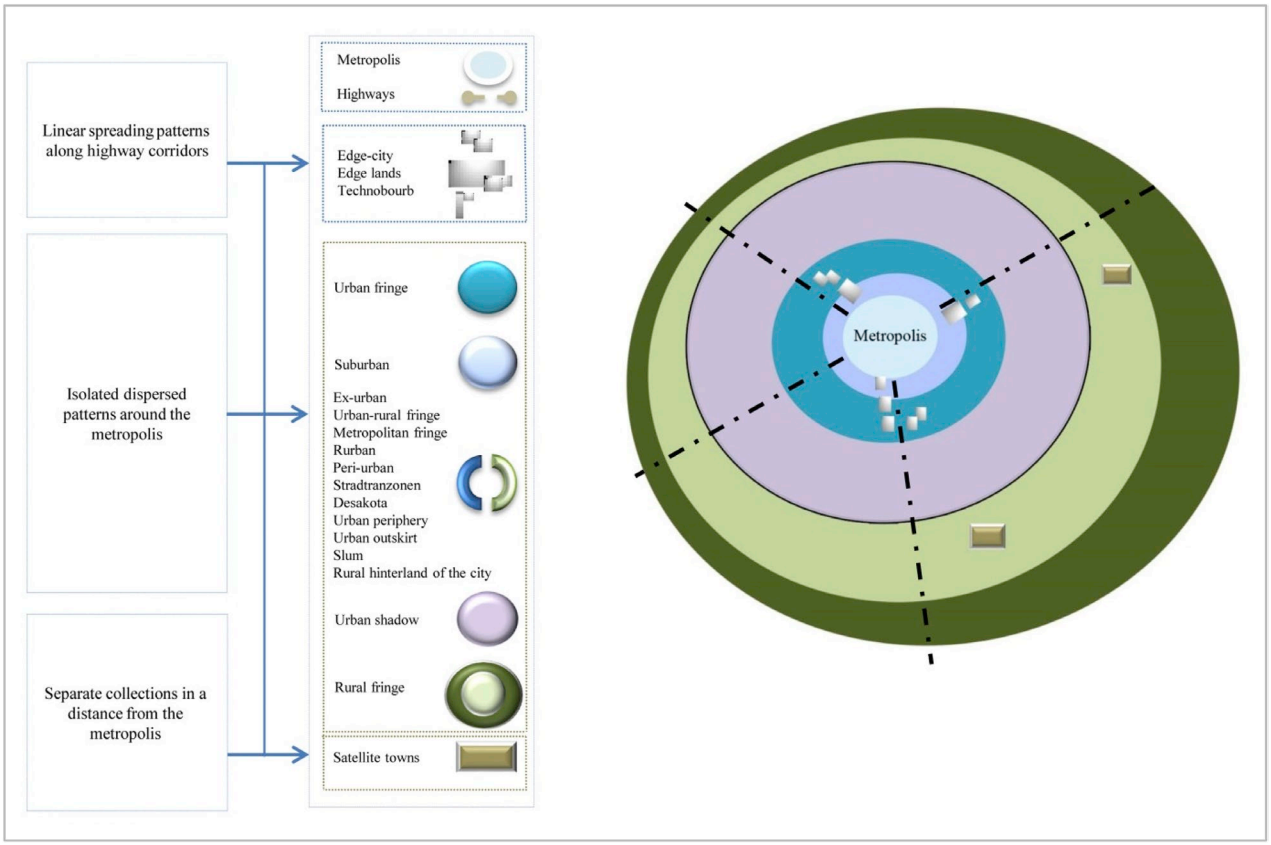


Figure 7 : Schéma d'expansion spatiale des zones périphériques des métropoles (Dadashpoor et Ahani 2019).

Mais la confusion entre urbain et rural peut être complète (Bouillon et al. 2014 ; Lampin-Maillet et al. 2009 ; Sirca et al. 2017). Ainsi, pour Sirca et al. (2017) Les interfaces rural — urbain, synonyme d'interface espace naturel — urbain, sont définies conceptuellement comme les zones où les maisons et la végétation combustible sont en contact ou mélangées[7].

Le terme de *Rural Urban Interface* généralise celui de WUI, en ne limitant plus la composante combustible aux seules formations (pseudo) — naturelles, forestières ou semi-ouvertes, mais à toute forme d'espace végétalisé, y compris l'espace agricole (Vilar et al. 2016), ainsi que des espaces végétalisés résiduels. En France les services de gestion du risque préfèrent le terme d'interface bâti — végétation, permettant de ne plus restreindre ni le type de bâtiments ni le type de végétation à prendre en compte.

Le concept d'interface ville — espace naturel peut être directement mis en cause par ceux qui lui préfèrent la double notion de WRI, *Wildland Rural Interface*, et de RUI, *Rural Urban Interface* (Amato et al. 2018; Bouillon et al. 2014 ; Tonini et al. 2018). WRI est une terminologie qui s'applique aux espaces de transition entre usages agricoles, y compris l'élevage, et zones végétalisées non cultivées. Introduire le rural fait que ville et espace naturel ne « trouvent » jamais d'interface commune. Les espaces intermédiaires prennent ainsi une place « pleine » et sortent de leur (in)existence en « creux » dans la notion d'« interface ville — espace naturel ».

Les confusions sont fréquentes et s'articulent autour du concept intermédiaire de bâti. Urbain et bâti sont souvent assimilés, ce qui a conduit certains auteurs à introduire le terme de *Wildland Anthropic Interface* à des fins de désambiguation (Giudice et al. 2021). Anthropique s'entend ici au sens large : le terme couvre non seulement la dimension formelle de l'expansion périphérique urbaine, mais également les processus associés. Les auteurs définissent ainsi le gradient urbain — rural par des degrés d'anthropisation : *Anthropic*, *Wildland — anthropic*, *Dispersed anthropic*, & *Non-Anthropic* (lointain écho à l'*urbs - ager - saltus - sylva* antiques). La catégorie WA (*Wildland — Anthropic*) couvre les notions d'interface et d'intermix. La catégorie DA (*Dispersed Anthropic*) regroupe les zones semi-anthropisées forestières, rurales et non végétalisées. Cette approche a pour mérite de s'affranchir de la notion ambiguë d'urbain, mais elle conserve la notion de ruralité — à laquelle elle aurait pu substituer celle d'agriculture.

Quelques auteurs permettent d'analyser la logique de la cohabitation un peu plus loin. Pour Garreau (2011), Johnson et Klemens (2005), Günay Çakır et al. (2008), les formes les plus récentes d'exurbanisation aux confins des villes ont transformé l'environnement périphérique en « nature fragmentée ». La non-uniformité de ce développement (Soja 2000) a créé des paysages hybrides, en constante mutation, qui associent par strates successives l'urbain dans le rural, le rural dans l'urbain, l'agriculture dans l'industrie, le travail dans le loisir, etc. Les territoires dans leur évolution dynamique conservent souvent trace des affectations anciennes, sous forme résiduelle. Ces paysages hybrides, par définition non uniformes, constituent des mosaïques dispersées, hétéroclites, des entre-deux difficilement appréhendables conceptuellement et spatialement, mais caractéristiques de l'interface.

La question se pose alors de l'identité propre de ces espaces intermédiaires qui font l'interface. L'hybridation permanente, l'entre-deux systémique conduisent à s'interroger sur la notion de non-lieu analysée par des sociologues de l'urbain. Bédard et Breux (2011) et Augé (1992) énoncent qu'au sens anthropologique, les non-lieux sont des espaces qui ne peuvent se définir ni comme identitaires, ni comme relationnels, ni comme historiques. Cette définition cadre bien avec l'interface ville — espace naturel qui se pense presque toujours comme un entre-deux à très faible charge symbolique où les comportements territoriaux émergent de façon fragmentaire.

Leray et al. (2024) présentent une chronologie/typologie des espaces délaissés urbains, que l'on pourrait développer par analogie aux espaces périurbains/ruraux. Si l'on reste positionné sur les processus plutôt que sur les formes, l'interface ville — nature peut être vue comme une zone de projection urbaine, non pas en termes de prédation ou de conflit, mais de complémentarité. Ainsi, sociologues et urbanistes peuvent voir dans la proximité

[7] Version anglaise originale : « *The Rural-Urban Interfaces (*RUI, *synonym of* WUI, *Wildland Urban Interface) are conceptually defined as areas where houses and burnable vegetation are in contact or intermingled* ».

ville — forêt un processus de rapprochement historique non pas subi, mais volontaire, organisé socialement et politiquement sur le long terme à travers la recherche d'aménités que les espaces végétalisés peuvent apporter à l'habitat périurbain (Christopoulou, Polyzos, et Minetos 2007 ; Couch et al. 2007). La perspective s'inverse si l'on aborde le sujet du point de vue politique. Historiquement, la préservation des forêts péri-urbaines ou leur création *ex nihilo* se fonde sur la volonté de limiter les effets considérés comme néfastes d'une agriculture périurbaine intensive : la forêt préserve les terres autrefois soumises au surpâturage et à l'érosion des sols, elle prévient les ravinements, promeut le développement du tourisme et des loisirs, elle limite les vents et est réputée assainir l'atmosphère. Dès le 19e siècle, parcs et forêts urbaines ont donc été fortement promus. La « prédation » urbaine périphérique se transforme en établissement de périmètres de protection par la forestation périurbaine.

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.

3.4. Mesure et cartographie des interfaces

3.4.1. Les cartographies (multi)paramétriques et (multi)scalaires

La dualité conceptuelle de l'interface (linéaire ou surfacique) (Jenerette et al. 2022), ses dimensions composite et dynamique, ainsi que la diversité des contextes géographiques auxquelles elle est susceptible de s'appliquer, conduisent les auteurs à proposer des méthodes de délimitation de l'interface surfacique (ou de tracé de l'interface linéaire, mais le problème est dans ce cas moins aigu) qui constituent de fait des « définitions paramétrées », pour le contexte géographique sur lequel elles s'appliquent. À l'échelle globale, la littérature ne propose donc pas une définition paramétrée unique, mais presque une définition paramétrée différente pour chaque contexte, voire pour chaque cas d'étude : en contexte nord-américain, Rutherford V. Platt (2010) compare les modèles d'interface spécifiés à l'échelle locale par différents comtés (*counties*). Cette approche montre le caractère souvent inductif et contextualisé de la définition des interfaces, qui part d'une analyse spatiale du territoire sur la base de connaissances expertes relatives aux déterminants du risque lié à l'incendie de végétation.

D'un point de vue méthodologique, la cartographie des interfaces peut être soit globalisante, cherchant à identifier un ou des faciès caractéristiques de ces zones, soit « réductionniste », cherchant à qualifier les différentes composantes « naturelles » et « urbaines » de l'interface. Pratiquement, ces méthodes cartographiques reposent par exemple sur l'évaluation de la densité des enjeux anthropiques, l'utilisation de zones tampons autour des enjeux ou autour des zones combustibles, ou encore une combinaison des deux. D'autres approches incluent des critères de morphologie (spatiale), ou encore des communautés de plantes. Des méthodes fondées sur les variables spatiales non visibles sont également utilisées (cadastre et droit de propriété, revenu des populations, probabilité de feu…) : Jenerette et al. (2022) propose un cadre d'analyse du territoire pour la cartographie des interfaces comprenant trois « blocs » - le socio-écosystème, la structure verticale de la « zone critique » et la connectivité et l'hétérogénéité du paysage.

Une grande variété des méthodes est donc utilisée pour la cartographie des interfaces, certaines découlant directement d'une définition paramétrée, par exemple Radeloff et al. (2005), d'autres proposant un algorithme non formellement relié à la définition : Brice B. Hanberry (2020) cartographie les interfaces aux États-Unis en utilisant un algorithme par analyse d'image fondée sur l'intelligence artificielle (random forest).

D'une façon plus générale, l'interface est délimitée à partir du tracé d'une zone tampon, soit autour des entités de végétation combustible (polygone forestier, végétation ponctuelle...), soit autour des structures anthropiques (bâti, enveloppe urbaine, etc.). La largeur de la zone tampon est souvent l'un des paramètres clés de la définition des interfaces dans un contexte donné. Celle-ci peut être fixe (Lampin-Maillet, Mantzavelas, et al. 2010), ou plus rarement variable (Johnston et Flannigan 2017). Dès ce stade, les auteurs parlent de « modèle d'interface » (Platt 2010) pour désigner l'abstraction spatiale identifiée sur le terrain par ce type de définition.

Schug et al. (2023) ont produit l'une des rares analyses qui traite des interfaces à l'échelle mondiale, dans une perspective de quantification du phénomène. L'initiative est porteuse d'ambiguïtés sur le plan méthodologique, mais elle présente l'avantage d'établir une cartographie à échelle relativement fine autorisant les comparaisons inter-régionales. De manière significative, les auteurs ne proposent pas de définition de l'« urbain », ils se concentrent sur le bâti. Les définitions adoptées sont reprises de l'US Federal Register :

- Intermix : zones avec +6 bâtiments/km^2 et zone de végétation sauvage >= 50 %
- Interface : zones avec +6 bâtiments/km^2, mais moins de 50 % de la végétation sauvage se trouve à proximité (<2,4 km) d'une zone végétale étendue (>5 km^2)

Les auteurs soulignent la grande diversité des situations locales qui se cachent derrière leur méthode de représentation cartographique standardisée, et notent que les interfaces sont particulièrement impactées par les feux : 2/3 des incendies à l'échelle mondiale se produisent dans cette zone de transition. Toutefois, cela ne signifie pas pour autant que la corrélation interface — incendie est parfaite. À l'échelle du globe, il existe de vastes zones d'interface peu propices aux feux. Interface et intermix étendus ne génèrent des situations critiques *que* dans les régions bio-climatiques soumises aux incendies *(fire-prone*).

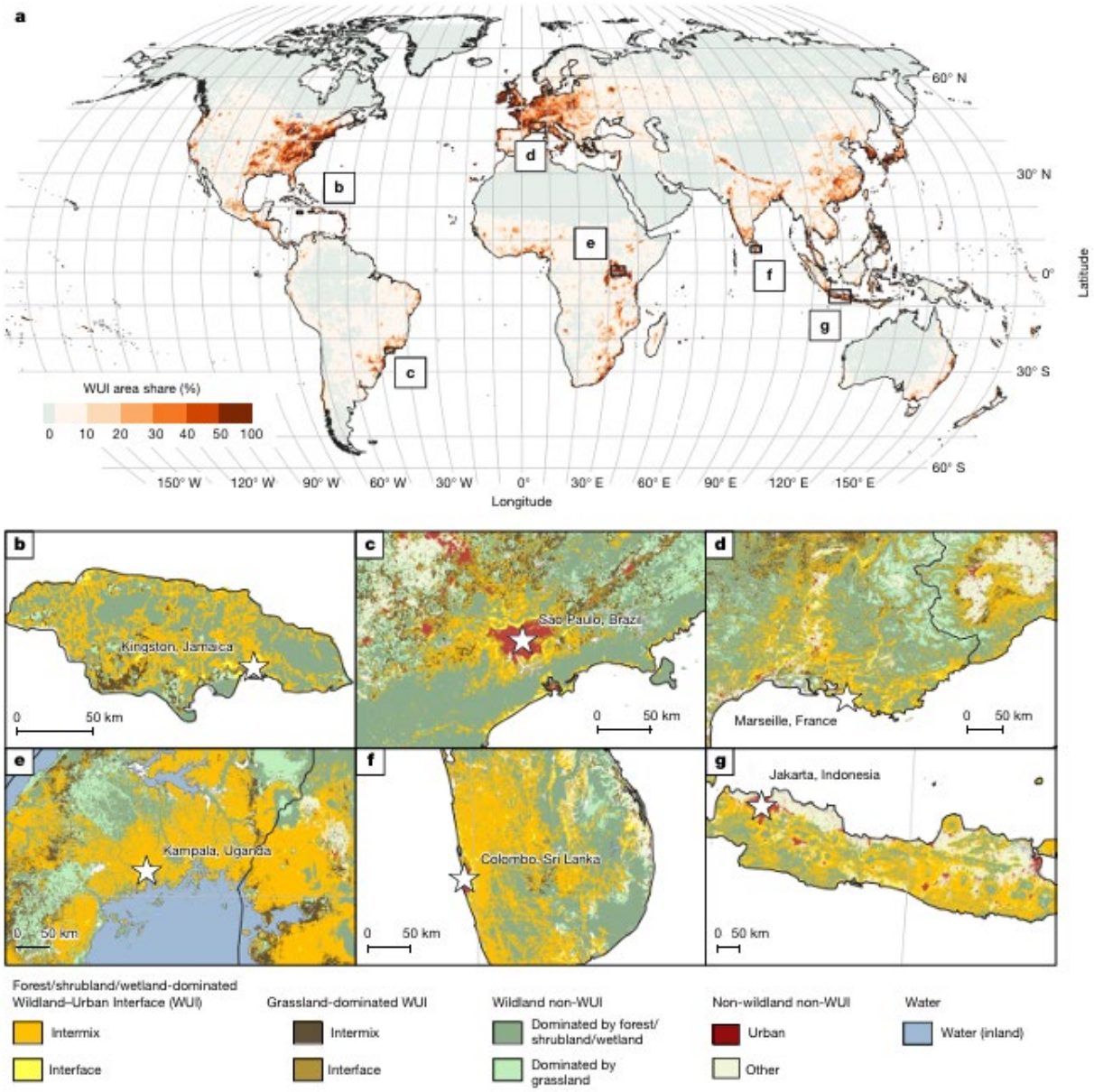


Figure 8 : Interface globale ville — espace naturel (Schug et al. 2023) ; (a) Superficies de WUI (en %) en 2020, par hexagone de longueur diagonale de 50 km ; (b) à (g) Cartographie des zones WUI et non-WUI à 10 m de résolution pour (dans l'ordre) : Jamaïque, Brésil, France, Ouganda, Sri Lanka et Indonésie.

Bar-Massada et al. (2023) développent une analyse comparée à l'échelle européenne en utilisant les données Sentinel (10 m de résolution) et en définissant une zone tampon de 100 m autour des bâtiments, sans intégration d'un critère de densité, et de 500 m autour des zones boisées. Les résultats de l'analyse ont été ensuite agrégés à l'échelle administrative NUTS3 et croisés avec des indicateurs socio-économiques. En 2020, la superficie totale couverte par l'interface ville — espace naturel se montait à 363 000 km^2 (7,4 % du territoire), avec d'extrêmes variations locales. Dans ce total, l'interface représentait 169 000 km^2 (46,6 %) et l'intermix 194 000 km^2 (53,4 %). La France avait les plus vastes superficies WUI d'Europe, avec 38 000 km^2 d'intermix (59 %) et 26 000 km^2 d'interface (41 %). Le rapport interface/intermix est strictement inversé par rapport à un pays comme la Grèce -3 700 km^2 d'intermix (41 %) et 5 400 km^2 d'interface (59 %). Mais à cette échelle d'agrégation, l'interprétation des chiffres soulève de gros problèmes, tant l'hétérogénéité interne des situations est grande.

Modugno et al. (2016) se sont également fixé pour objectif de cartographier les interfaces à l'échelle européenne. En l'absence de définition européenne harmonisée, les auteurs ont défini des zones de buffer de 200 m autour des unités spatiales artificielles, et de 400 m autour des zones de combustibles. L'interface est définie comme l'intersection des deux buffers. S'il est démontré une relation intrinsèque entre probabilité de grand incendie (>40 ha) et extension de la WUI, les résultats sont mitigés car la cartographie associée est

produite en référence aux unités administratives (régions, pays), lissant une fois de plus l'extrême diversité des situations locales.

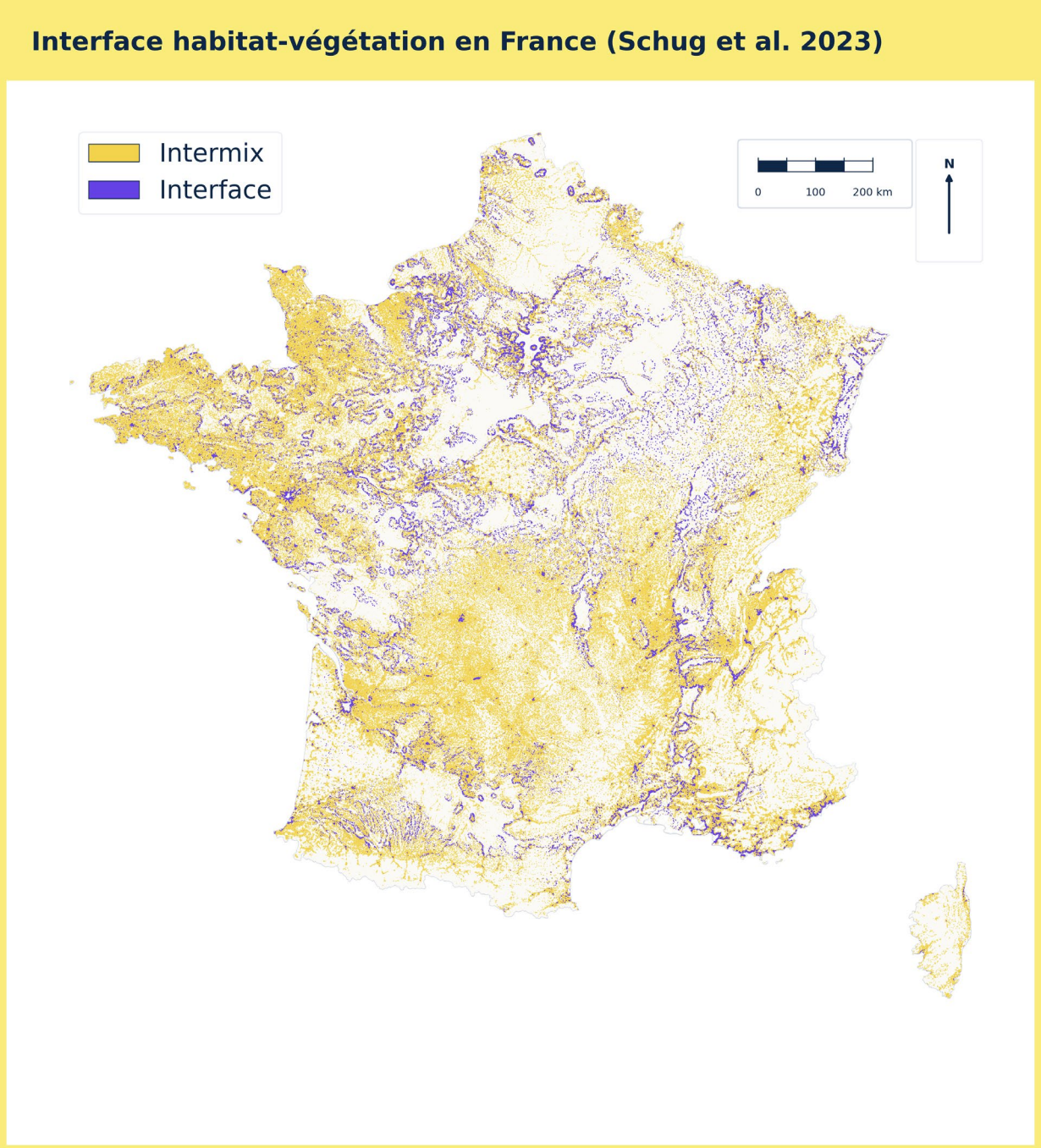


Figure 9 : Interfaces et Intermix en France - une nette prédominance des intermix. Figure réalisée depuis les données de Schug et al. (2023).

Dans une logique de cartographie exhaustive des zones d'interface au niveau national, l'inadaptation d'échelle de Corine Land Cover et d'autres bases de données est confirmée par Andrea Zambrano-Ballesteros et al. (2021). Même avec un maillage au 1/25 000, les bâtiments isolés échappent au recensement, avec un impact majeur sur les statistiques de restitution de l'emprise des périmètres d'interface/intermix. Pour une métrique exacte, les auteurs ont recours à des données LIDAR d'une extrême précision, mais nécessitant une puissance de calcul élevée. Les résultats sont sans appel : entre les données SIOSE (Système d'Information sur l'Occupation du Sol de l'Espagne) au 1/25 000 et les données LIDAR, la part des secteurs considérés comme à haut risque incendie croît fortement. José Tomás Navarro-Carrión et al. (2021) valident eux aussi cet écart de 50 % entre données SIOSE et LIDAR (faux positifs, notamment) et illustrent les raisons de ce décalage de manière

explicite : c'est l'ambiguïté géographique de qualification de polygones de base à surface « large » (contenu mixte, connu en télédétection sous le nom de mixel).

L'analyse des dynamiques de changement d'affectation des terres est essentielle à la compréhension des risques et enjeux qui pèsent sur l'interface. San-Miguel-Ayanz et al. (2012) dans leur approche des mutations d'usage du sol dans cinq pays de l'Europe méditerranéenne — dont la France —, relèvent qu'entre 1990 et 2006, sur la foi des données *Corine Land Cover*, le changement le plus important d'affectation des terres a été la transition des forêts aux formations arbustives (*shrublands*), qui peut être interprétée comme une dégradation des couvertures forestières (>3 m ha). Mais, dans le même temps, des formations arbustives intermédiaires se sont également transformées en forêts (>450 000 ha). La reforestation est particulièrement manifeste dans ces pays. Parallèlement, les superficies incendiées ont chuté, passant de circa 600 000 ha annuels dans les années 1990 à moins de 400 000 ha à la fin des années 2000, avec de très fortes variations annuelles. De manière contre-intuitive, la progression des zones végétalisées s'est donc accompagnée d'une diminution des superficies incendiées, au moins sur cette période (voir Chap. 2, Aléa et Chap. 5, Changements globaux).

Une mise à jour de ces données serait nécessaire, tant la dernière décennie a été porteuse de changements, mais les références manquent, en particulier pour la France. Les tendances locales au cours de la période dominent dans la statistique nationale française. La variabilité temporelle et spatiale du phénomène est majeure, du moins à l'échelle départementale adoptée.

Les processus de mutation sont à relier étroitement aux causes d'incendies. Leone et al. (2009) soulignent qu'en Espagne, 53 % des feux sont intentionnels, déclinés sous trois formes : feux agricoles, feux délibérés (raison économique), et conflits d'usage — cette dernière situation étant très minoritaire et liée à des dysfonctionnements d'attribution (voir Chap. 2, Aléa pour la France).

3.4.2. Données et métriques pour la cartographie des interfaces : usages et limites

La plupart des cartographies d'interface se fondent sur une évaluation des paramètres des modèles d'interface au travers de métriques (indicateurs standardisés : distance, densité, diversité, continuité, etc.). Ces évaluations utilisent soit des données brutes (images de télédétection satellitales ou aéroportées) soit des données interprétées issues de bases d'informations géographiques (SIG) standards ou spécifiques, dérivées d'imagerie satellite ou aérienne. La pertinence de ces informations géographiques brutes ou sémantiques pour la cartographie des interfaces est maximale à une résolution spatiale donnée et à une échelle cartographique donnée. Par ailleurs, pour ce qui est des bases de données interprétées, leur sémantique ne correspond pas toujours précisément à celle des modèles d'interface, et en tout état de cause, leur usage pour la cartographie des interfaces doit s'appuyer sur une spécification précise de chacune des classes (postes de la nomenclature).

3.4.2.1. Bases d'information géographique utilisables pour la cartographie

En France, l'une des bases d'information géographique de référence pour la cartographie des interfaces est la BD OLD (Obligations Légales de Débroussaillement)[8], qui s'appuie sur la BD Forêt de l'IGN[9]. Le cahier des charges opérationnel de production de la BD OLD constitue aussi une référence normative potentielle pour la spécification et l'acquisition des informations géographiques nécessaires aux calculs des indicateurs permettant la cartographie des interfaces à l'échelle de l'Obligation Légale de Débroussaillement, c'est-à-dire à l'échelle de la parcelle. La BD OLD est issue d'imagerie aérienne à 20 cm de résolution, mais le seuil minimum de détection est de 0,5 ha pour les polygones de forêt. Cette réduction de capacité s'intègre dans une logique de construction d'un référentiel d'occupation forestière structurant au 1/25 000e, qui élimine les éléments les plus « instables » des paysages (végétation temporaire, « bruit » haute résolution) afin de produire une base de données

[8] IGN (2023). *Base de données nationale des Obligations Légales de Débroussaillement (BD OLD) — Descriptif de contenu et spécifications techniques*. Institut National de l'Information Géographique et Forestière

[9] IGN. (2019). *BD Forêt® Version 2.0 — Descriptif de contenu*. Institut National de l'Information Géographique et Forestière.

harmonisée au niveau national, indépendamment des différents biomes (perte d'information). Les mises à jour sont pluriannuelles (10-15 ans). La sortie prochaine de la BD Forêt V3 devrait réduire le cycle de mise à jour au moins de moitié — un progrès significatif, mais sans rupture par rapport aux objectifs initiaux.

La BD OLD associe donc des éléments réglementaires, juridiques et politiques (définition des zones à risque par arrêté préfectoral ou interministériel) à une cartographie des zones boisées.

3.4.2.2. Cartographie des zones boisées et des massifs forestiers

La cartographie des massifs forestiers est à la base de la cartographie des interfaces : en France, le périmètre maximal de l'interface assimilé à la zone d'obligation légale de débroussaillement est défini par la zone tampon de 200 m autour du massif forestier, qui acquiert ainsi une dimension réglementaire.

Un massif forestier est donc une entité biogéographique qui se transforme en entité juridique *via* un dispositif réglementaire. Il s'agit bien d'une entité de gestion, puisque faisant l'objet de plans de gestion cohérents (les plans de massif), mais le plus souvent partagés entre plusieurs collectivités locales. Son contour est tracé sur la base de critères de gestion plus que de faciès. Si les zones arborées sont bien identifiées et qualifiées dans les bases d'information géographiques d'occupation du sol généralistes ou spécialisées, le massif forestier englobe des formations végétales diverses, incluant notamment des formations « intermédiaires », parfois peu arborées. De plus, le décalage technique, spatial et temporel, entre évolution d'un couvert forestier et reclassification réglementaire est une difficulté normative récurrente (voir Chap. 6, Prévention et Chap. 8, Urbanisme, aménagement et gouvernance, à propos des plans de prévention par exemple). La carte des interfaces obtenue à partir de la carte des massifs forestiers croise donc des informations physiques et symboliques. Si cela répond bien à l'objectif de la cartographie des interfaces comme outil de gestion territoriale, il s'agit potentiellement d'une limite à son utilisation pour l'évaluation objective du risque.

3.4.2.3. Cartographie des formations intermédiaires : broussailles, landes, espaces semi-ouverts et friches

Une seconde difficulté émerge de la nomenclature de la BD Forêt de l'IGN elle-même. La BD Forêt V2 offre 32 classes de végétation : 19 classes de forêt fermée, 6 classes de forêt ouverte, 7 classes d'autres formations végétales. Dans cette dernière catégorie figurent les éléments critiques, en milieu méditerranéen particulièrement, que sont les formations arbustives (landes, garrigues, maquis, fourrés), et les formations forestières temporaires ou perturbées (coupes rases, zones incendiées, jeunes peuplements, régénération en cours). Rappelons que ces catégories sont définies sur la base d'une unité surfacique minimale de 0,5 ha. Ces éléments de classification marginaux sont pourtant au cœur de la problématique incendie, en particulier en milieu périurbain. La notion de *broussaille* associée aux cartographies OLD cible d'ailleurs spécifiquement ces formations végétales « sans détermination » ou labellisées « landes » de la BD Forêt.

Le terme de « broussaille » de la BD OLD est central pour la cartographie de l'intermix. En dehors du compartiment forestier, ce faciès d'occupation du sol peut être rapproché du terme de « friche », relatif, lui, à l'usage des sols (voir par la suite) entendu comme un ensemble de formations végétales spécifiques incluant notamment les terres culturales abandonnées mais aussi les formations agro-pastorales en déprise[10]. Le terme *friche* présente l'avantage de combiner l'origine naturelle et anthropique des formations intermédiaires qui mélangent bâti et végétation spontanée. La friche caractérise bien l'intermix dans sa dimension dynamique : une friche peut être (a) un terrain anciennement cultivé, exploité ou aménagé, (b) abandonné ou très faiblement entretenu, (c) en dynamique naturelle de recolonisation végétale. La friche ne se définit pas par le type de végétation, mais par l'usage. Elle peut donc être couverte d'herbacées hautes, broussailles, arbustes ou jeunes arbres.

[10] Dérioz, P., 1994, « Friches et terres marginales en basse et moyenne montagne — Revers sud-oriental du Massif Central », Thèse de doctorat en géographie, Laboratoire Structures et Dynamiques Spatiales, université d'Avignon.

Ainsi, les concepts de bâti et zones végétalisées se déploient davantage aux échelles les plus fines, tandis que les concepts de ville et forêt (zones boisées) se positionnent aux échelles intermédiaires. On voit à quel point la notion de *Wildland* peut être ambiguë dans le contexte français, en particulier méditerranéen.

3.4.2.4. Définition et cartographie de la zone urbaine

Une autre difficulté concerne la définition de la zone urbaine. En France, il faut se tourner vers l'INSEE[11] pour définir statistiquement, administrativement et spatialement la *ville*[12]. Au sens morphologique, la ville se définit par la continuité du bâti (distance entre habitations inférieure à 200 m), et par une population minimale de 2000 habitants pour l'unité morphologique. En deçà de ces seuils, le « rural » se déploie, mais la statistique récente (post-2020) a promu la notion de *continuum* pour sortir de la bipolarité urbain — rural. Des gradients calculés par carroyage permettent désormais de distinguer trois niveaux de densité pour chaque commune (fort — urbain, intermédiaire — périurbain, faible — rural). Sept niveaux sont ainsi définis : (a) urbain : grands centres urbains, centres urbains intermédiaires, ceintures urbaines/petites villes, bourgs denses ; (b) rural : bourgs ruraux, rural à habitat dispersé, rural à habitat très dispersé. Il existe donc une « correspondance » dans les critères de définition des périmètres forestiers et urbains, en particulier dans l'utilisation des distances et densités.

3.4.2.5. L'espace agricole

Les espaces agricoles apparaissent comme les grands « absents » des travaux menés sur les interfaces. Leur devenir est pourtant central dans la gestion, notamment préventive, du risque incendie (Thacker et al. 2025). Terres agricoles, pratiques paysannes, zones de parcours d'élevage sont parfois intégrées dans les analyses, mais rares sont les travaux spécifiquement dédiés à cette autre interface « rural-espace naturel ».

3.4.2.6. Conclusion : forces et faiblesses des cartes d'interface pour la gestion du risque

De façon significative, les interfaces, espaces mixtes par définition, ne constituent jamais des classes d'occupation du sol identifiées comme telles dans les bases de données de référence standards. Il en découle que l'interface ville — espace naturel est un espace intermédiaire sans identité propre et cette « inexistence » autonome pèse probablement lourdement dans la capacité à gérer le risque incendie à l'interface.

Par ailleurs, les définitions techniques fondées sur des métriques à échelle fine présentent de nombreux avantages (classification, mise en carte, identification), mais elles intègrent mal la dimension politique de l'aménagement périurbain pensé aux échelles intermédiaires (intercommunales), celles de la coordination inter-institutionnelle sur des territoires métropolitains vastes, interconnectés, économiquement et fonctionnellement mixtes — qui permettent par exemple d'agir sur les corridors de développement interstitiels des formations végétales. Le concept d'interface ainsi défini est mobilisé pour le développement d'outils d'aide à la décision dans un grand nombre de domaines liés à la planification territoriale ou plus généralement à la gestion des espaces territoriaux : planification urbaine, gestion de la biodiversité, gestion de l'eau et des risques inhérents (inondations), etc. Le domaine spécifique de l'incendie de végétation leur est souvent lié, mais pas systématiquement ou possiblement de façon secondaire (par exemple le risque inondation qui peut être renforcé par l'occurrence d'incendies) (Williams et al. 2014). Il n'en reste pas moins que le concept d'interface est cependant particulièrement pertinent pour la gestion du risque incendie : les interfaces sont le lieu où sont co-localisées et interagissent spatialement des entités de végétation combustible et des entités anthropiques vulnérables.

[11] INSEE. (2020). *Base des unités urbaines 2020 — Méthodologie et concepts*. Institut National de la Statistique et des Études Économiques.
[12] INSEE. (2021). *La grille communale de densité à 7 niveaux : un nouveau regard sur les territoires*. Institut National de la Statistique et des Études Économiques.

3.5. Interfaces et incendies

Si la définition des interfaces a le plus souvent pour objectif, en dehors de son intérêt purement heuristique, d'en établir le contour cartographique, la caractérisation des interfaces permet d'en définir différents types (ou « classes »), avec un objectif applicatif explicite ou non explicite. Dans ce dernier cas, il s'agit de produire un outil d'aide à la décision de planification territoriale générale multi-objectifs (par exemple un outil d'aide à la planification urbaine) prenant en compte plusieurs enjeux (fonctionnement urbain, biodiversité et enjeux environnementaux, gestion des risques, dont le risque lié à l'incendie de végétation), sans nécessairement les expliciter, par exemple chez Johnston et Flannigan (2017), dans un contexte canadien : il revient à l'expert utilisateur de la typologie d'établir le lien entre les types définis et les niveaux et les composantes du risque qu'ils représentent. Dans cette perspective, Rutherford V. Platt (2010) étudie dans un contexte nord-américain l'impact de la définition et du paramétrage du modèle sur l'extension de la zone d'interface, considérée comme à risque.

Mais le plus souvent, en particulier dans le domaine du risque incendie de végétation, le lien entre les types d'interfaces et les niveaux de risque sont explicités, comme chez Calviño-Cancela et al. (2016), qui associe des types d'interfaces à des niveaux de risque par des méthodes statistiques dans un contexte espagnol, ou Vilar et al. (2016) qui montre le lien entre la densité d'interface et les densités des occurrences dans une zone d'Europe Méditerranéenne. Les départements du sud-est de la France montrent des résultats très significatifs, avec un maximum d'occurrences lorsque le taux surfacique d'interface se situe autour de 25 % du territoire. En Espagne, Galiana Martín et al. (2011) relie directement une typologie d'interface au risque incendie, d'un point de vue spatial, dynamique et multi-échelle.

3.5.1. L'interface feu (*fire interface*)

L'intérêt des interfaces dans la gestion du risque incendie de végétation est empiriquement perçu comme évident, puisque c'est le lieu où les principales sources d'aléa (la biomasse, mais aussi les sources d'ignitions anthropiques, principal facteur de l'aléa d'éclosion en Europe et dans beaucoup de zones pan-méditerranéennes) et les enjeux vulnérables les plus critiques (installations anthropiques) se côtoient ou sont co-localisés : le risque lié à l'incendie de végétation y est donc maximal, d'un point de vue à la fois théorique et empirique (voir Chap. 2, Aléa). Il existe d'ailleurs une relation directe entre distance à la ville et fréquence des feux : plus la ville est proche, plus les superficies incendiées sont importantes, et plus le nombre de feux est grand (Darques 2015). Une idée essentielle est celle d'échange et d'interaction : en 1976, Butler (1976) énonçait que l'interface feu (*fire interface*) est tout point de l'espace où tout combustible consumé par le feu se transforme de combustible naturel en combustible artificiel. Le feu unit dans la combustion le naturel et l'artificiel.

Pour ne pas se focaliser uniquement sur l'interface bâti — végétation, certains auteurs utilisent des critères ou concepts alternatifs. Contrairement à Johnston et Flannigan (2017), qui étendent la notion d'interface feu en prenant pour cible les infrastructures et l'industrie, Caballero et al. (2007) abordent le problème en se référant à deux éléments de base : (1) exposition (position du bâti dans son environnement) ; (2) vulnérabilité (type de construction et ses éléments constitutifs). Ces méthodes visent pour la plupart à cartographier ou appréhender les interfaces en vue d'une évaluation du risque incendie, que ce soit en intégrant les données incendies réelles ou en se focalisant uniquement sur la structuration de l'espace.

À l'indécision conceptuelle évoquée précédemment, qui n'est pas une confusion, répondent des méthodologies de traitement adaptées qui s'éloignent des distances bâti — végétation et autres densités classiquement utilisées. La théorie des ensembles flous (*Fuzzy Set Theory*), par exemple, est un moyen efficace de traiter cartographiquement et conceptuellement l'intermix où l'urbain, le rural, le « naturel » et le feu se rencontrent dans un processus de mutation souvent rapide. Des auteurs ont développé une méthode de production de cartes de « potentiel de transition » permettant d'évaluer et de représenter la probabilité de changement de chaque pixel (ou surface géographique) entre « urbain », « agricole » et « forêt ». Cette stratégie d'analyse se fonde sur le constat que le changement d'affectation des terres est l'une des causes principales des incendies (Ganteaume, Jappiot, et Lampin 2013 ; San-Miguel-Ayanz et al. 2012).

Ban et Ahlqvist (2009) utilisent la *Fuzzy Set Theory* pour mieux aborder la zone de transition tout en maintenant l'usage de critères paramétriques appliqués à des variables-clés (densité de population, distance, etc.). Le renoncement aux notions de frontières/limites permet ensuite de proposer des solutions de management des incendies non plus sur seul critère de défrichements et de maîtrise de périmètres, mais d'envisager des solutions multiples à l'amont des processus.

3.5.2. La mise en relation des types d'interface et des composantes du risque

La question de la relation entre les incendies de végétation naturelle et la ville est donc communément traitée à l'aide d'outils d'analyse des interfaces entre ces deux composantes du territoire. Toutefois, certains auteurs ne font pas explicitement référence à l'interface, comme Parisien et al. (2016) : celui-ci évalue sur l'espace nord-américain l'aléa en termes de probabilité d'occurrence, en fonction d'une série d'indicateurs de la présence humaine sur le territoire (densité de population, empreinte anthropique évaluée par la densité d'éclairage de nuit, densité de routes...) sans faire explicitement référence aux interfaces ni même aux zones urbaines. Cette approche à l'échelle supra-régionale (l'auteur utilise des « hexels », ou pixels hexagonaux, de 1374 902 km²) lui permet d'obtenir des résultats inattendus, par exemple une nette diminution des occurrences de feu avec la densité de population et l'empreinte anthropique évaluée par la densité d'éclairage de nuit, alors que l'effet de la densité des routes sur les occurrences est positif.

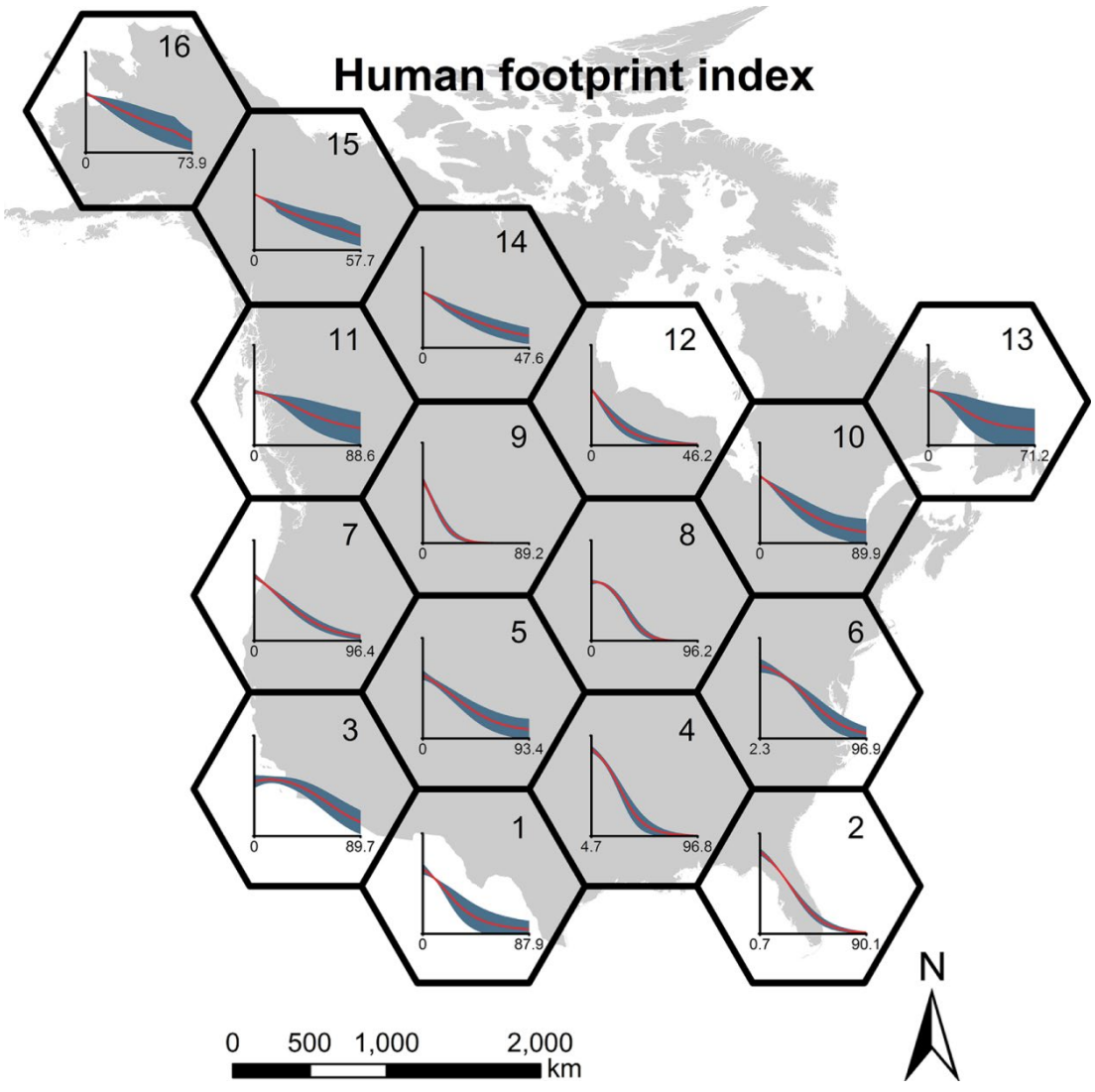


Figure 10 : Empreinte anthropique et incendie aux États-Unis (Parisien et al. 2016)

Alors que l'effet positif de la densité de route sur les ignitions est confirmé par plusieurs autres auteurs dans plusieurs contextes (par exemple en Espagne : Zambon et al. [2019]), le résultat relatif à l'effet négatif de la densité de population reste mal interprété, même si on peut penser à une corrélation négative entre les facteurs anthropiques et les surfaces combustibles. Mais l'expérience montre l'importance du choix du niveau d'échelle et du choix des outils d'analyse à utiliser pour traiter de la relation entre les incendies de végétation et la ville. Parmi ces outils, les auteurs choisissent communément d'utiliser le concept d'interface qui se révèle pertinent pour la résolution de nombreux questionnements relatifs à la relation entre feux de végétation naturelle et ville.

3.5.3. Des zones à forts enjeux et à forte probabilité de départs d'incendie

L'interface est donc l'ensemble des localisations où se rencontrent ou se mélangent composantes végétalisées du territoire (végétation naturelle pour l'interface urbain — espace naturel) et ses composantes urbaines ou fortement artificialisées et à forts enjeux. En conséquence, il s'agit aussi d'espaces où les deux principales composantes du risque incendie de végétation, l'aléa et la vulnérabilité, sont forts.

Nous verrons dans le chapitre 2 que le surcroît d'aléa aux interfaces est beaucoup plus le résultat d'une forte probabilité d'éclosion que d'une forte intensité potentielle locale (liée entre autres au potentiel de vitesse de propagation par la relation de Byram). L'aléa de propagation est souvent plutôt plus faible dans l'interface que dans le massif forestier continu, à la fois du fait d'une charge en combustible plus faible, mais aussi de continuités verticales et horizontales de la végétation plus faibles, en particulier lorsque les pratiques de réduction de la biomasse, obligatoires (en France, les Obligations Légales de Débroussaillement) ou simplement recommandées sont réalisées. Le surcroît d'aléa aux interfaces résulte principalement de la plus forte probabilité d'ignition, elle-même liée aux activités et plus généralement à la forte présence humaine. Dans le chapitre 2, nous détaillons les facteurs prépondérants qui conduisent, d'après la littérature scientifique, à un aléa incendie de végétation plus important aux interfaces et à proximité des villes.

La vulnérabilité des interfaces, quant à elle, résulte mécaniquement de la présence d'enjeux anthropiques dans ces zones, et en premier lieu les populations elles-mêmes. Si la sauvegarde des vies humaines constitue un enjeu surdéterminant, la vulnérabilité des interfaces peut néanmoins être l'objet d'évaluation en fonction de la densité d'enjeux matériels anthropiques et naturels, dont la sensibilité au feu, c'est-à-dire la propension à être dégradé en fonction de la quantité d'énergie reçue, est non nulle. Nous examinons dans le chapitre 3 *Vulnérabilité*, différentes approches proposées par la littérature pour l'évaluation de la vulnérabilité des interfaces depuis l'échelle des enjeux pris individuellement jusqu'à l'échelle du territoire.

L'une des composantes importantes de la vulnérabilité des enjeux est leur défendabilité. Il s'agit plutôt d'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 défendabilité est peu étudiée par la littérature internationale, excepté au travers de la notion « d'espace défendable » (Syphard, Brennan, et Keeley 2014) autour de chacun des enjeux. Les opérationnels de la lutte considèrent principalement trois classes de critères de défendabilité : l'accessibilité, la disponibilité des hydrants (c'est-à-dire les points d'eau) et la qualité du débroussaillement.

Enfin, la composante « exposition » du risque représente la relation spatiale entre l'aléa et les enjeux vulnérables (Filkov et al. 2023). La colocalisation dans les interfaces de combustibles sources d'aléa et d'enjeux vulnérables induit des niveaux d'exposition systématiquement élevés (Palaiologou et al. 2022; Salis et al. 2021). L'analyse des structures spatiales d'interface permet une évaluation de la relation spatiale entre le combustible et les enjeux au travers des « modèles d'interface », pour une évaluation du niveau de risque global aléa/vulnérabilité facilitant la gestion intégrée du risque.

3.5.4. Les modèles d'interfaces pour l'évaluation des composantes du risque

3.5.4.1. Relation entre les interfaces et les occurrences d'incendie de végétation

Une première approche très présente dans la littérature pour l'évaluation de « l'effet interface » sur le risque global consiste à relier une typologie d'interface aux occurrences d'incendies (Lampin-Maillet et al. 2011). Bien que très variable, la relation entre la densité d'occurrence de feux et les interfaces est vérifiée dans les zones méditerranéennes, notamment en France (Ganteaume et Long-Fournel 2015), ou en Amérique du Nord par Haight et al. (2004) de façon empirique. L'aléa y est principalement renforcé par la plus forte probabilité d'ignition (Pausas et Keeley 2021) en Europe, (Chappaz et Ganteaume 2023) en France, (Mercer et Zipperer 2012) aux États-Unis), alors que l'aléa de propagation n'est pas nécessairement le plus important au sein d'un combustible souvent discontinu et plus modérément chargé en biomasse que dans les massifs forestiers. Marianthi Tsakaldimi et al. (2023) montre néanmoins, dans un contexte grec, que l'excès d'occurrences d'incendies aux interfaces, en nombre et en surface brûlées, est variable selon le type de combustible et les conduites sylvicoles éventuelles : celles-ci constituent ainsi un levier potentiel pour le contrôle de l'aléa, y compris aux interfaces. Duane et al. (2021) montre également un rôle des interfaces dans l'occurrence de feux extrêmes, principalement lié au plus grand risque d'ignition, mais également un potentiel de propagation augmenté via la combustion des bâtiments eux-mêmes, dans les régions du globe où les constructions bois sont majoritaires (Amérique du Nord en particulier) (voir Chap. 2, Aléa et 3, Vulnérabilité).

L'exposition des enjeux d'interface est distinguée de l'aléa et de la vulnérabilité dans plusieurs modèles conceptuels de risque (Ager et al. 2019). À l'échelle locale, il peut être assimilé au potentiel d'énergie transmise à l'enjeu par la combustion de la végétation en cas de réalisation d'un aléa avec une intensité donnée. De nombreux modèles permettent l'évaluation de l'exposition locale, prenant en compte la distance entre la végétation source et l'enjeu cible ainsi que dans certains cas les occultations potentielles (Rossi et al. 2011). Mais l'exposition renvoie aussi pour certains auteurs à la menace globale d'un massif forestier sur une zone d'interface attenante. Ager et al. (2019) propose la notion de « bassin versant de feu » pour exprimer l'espace de propagation potentiel en cas d'éclosion en un lieu donné et les enjeux ainsi menacés. Le même auteur (Ager et al. 2016) montre la complexité des processus en œuvre dans l'exposition des interfaces par les massifs forestiers attenants : dans ce contexte nord-américain, l'auteur souligne le paradoxe selon lequel, d'après ses résultats, la majorité des impacts sur les interfaces émanent de zones adjacentes où les traitements mécaniques du combustible et le brûlage contrôlé du sous-étage sont autorisés par la planification forestière (sans toutefois préjuger de l'utilisation effective de ces moyens). Le statut foncier (public ou privé), ainsi que le statut de protection des massifs adjacents à l'interface, se traduisent aussi, en cas de sinistre, par des impacts différenciés sur les enjeux. Dans une autre étude, Ager et al. (2018) montrent que les impacts sur les interfaces émanent des forêts les moins protégées, avec des opérations de gestion autorisées impactant fortement les écosystèmes, dont le traitement mécanique du sous-étage, peut-être également en lien avec un défaut de cohérence des politiques de gestion liée aux découpages administratifs. En Europe, cette acception de l'exposition renvoie aussi aux notions de risque subi versus risque induit, très utilisées par les opérationnels, mais peu abordées par la littérature scientifique.

Plus localement, Syphard et al. (2011) évaluent l'efficacité des coupures de combustibles pour la protection des zones habitées dans un contexte californien. L'auteur montre que le principal facteur d'efficacité de ces ouvrages pour limiter l'exposition des zones d'interface est leur accessibilité par les services de lutte : l'exposition des interfaces dépend donc très fortement de leur défendabilité (voir Chap.3 Vulnérabilité et Chap. 6, Prévention).

Enfin, la vulnérabilité stricto sensu, définie en première approche comme les conséquences potentielles en termes de dommages de la réalisation d'un aléa, est toujours maximale aux interfaces, notamment du fait de la présence de personnes, qui constituent des enjeux prioritaires à défendre, quel qu'en soit le nombre. Dans le contexte nord-américain, Thompson et al. (2016) proposent le concept de « bassin d'enjeux à haute valeur »

(*High Value Assets Watershed*) pour désigner les zones peuplées fortement menacées par les incendies de végétation, sans toutefois faire spécifiquement référence à une zone d'interface. Kramer et al. (2018) ou Syphard et al. (2022) vérifient que la majorité des dommages surviennent dans ou à proximité des zones d'interface : la vulnérabilité y est de ce fait toujours plus grande que celle des enjeux non habités, mais hiérarchisée par le nombre de personnes présentes. Caggiano et al. (2020) comparent les modèles d'interface fondés sur le recensement cartographique des bâtis individualisés et ceux fondés sur les statistiques par comté (blocs de recensement ou « *Census block* » de la méthode SILVIS) dans leur potentialité à prédire les dommages des feux d'interface. Ils soulignent l'importance de la densité du bâti, mais aussi de l'échelle d'analyse (voir. Chap. 8, Urbanisme, aménagement, gouvernance), et proposent une méthode de recherche d'une échelle optimale par analyse du variogramme. Dans ce contexte américain, les principaux facteurs intervenant dans l'occurrence des dommages sont la densité du bâti, le taux de couverture de la végétation et la distance aux plus proches massifs. L'importance de la densité du bâti dans l'occurrence de dommages est aussi confirmée dans le contexte australien : Price et Bradstock (2013) montrent, dans ce contexte, que l'effet positif de la densité du bâti sur l'occurrence de dommages (plus la zone est densément bâtie, plus l'occurrence de dommages est probable) doit toutefois être interprété au regard de l'échelle d'analyse. En Europe, la densité du bâti a un rôle protecteur au-delà d'un certain seuil de densité (Fox et al. 2018 ; Lampin-Maillet et al. 2011). Dans ce contexte où les constructions sont majoritairement en matériaux incombustibles, l'interprétation réside dans la moindre biomasse combustible aux interfaces denses, mais surtout la concentration des moyens de lutte lors de la crise.

L'évaluation de la vulnérabilité des enjeux anthropiques d'interface se fonde sur des modèles assez variés (statistiques de dommages, logique floue, multicritères) pour lesquels les types d'interface peuvent constituer des variables d'entrée. À l'échelle territoriale, Kustov et al. (2023) montrent qu'on peut évaluer la vulnérabilité en localisant les centres de secours en fonction du danger estimé et de la densité de population, dans le contexte ukrainien. À l'échelle locale, Ganteaume et al. (2023) utilisent la modélisation du comportement du feu dans les interfaces pour reconstituer a posteriori les mécanismes ayant conduit à l'endommagement d'enjeux bâtis. Ces mécanismes sont détaillés dans le chapitre 3 portant sur les vulnérabilités.

3.5.4.2. Modèles et typologies d'interface pour la cartographie du risque incendie de végétation

D'un point de vue académique, la formalisation du concept est la première étape de la spécification d'un « modèle spatial d'interface » (Platt 2010) fondé sur les outils de l'analyse spatiale. La spécification d'un tel modèle est rarement une fin en soi, mais constitue plutôt un outil d'évaluation du risque « global » lié à l'incendie de végétation ou de l'une ou l'autre de ses composantes (aléa, vulnérabilité, etc.). Ezz et al. (2022) propose un cadre de modélisation du risque aux structures résidentielles d'interface organisé en quatre composantes : l'aléa d'occurrence, l'intensité potentielle d'exposition, l'inventaire des enjeux, et la vulnérabilité exprimée en termes de taux de pertes en cas de sinistre.

Les modèles spatiaux d'interface qui en définissent la typologie et la cartographie permettent la spécification de modèles de risque ou de certaines des composantes de l'aléa ou de la vulnérabilité, notamment au travers d'indicateurs corrélables aux types, par exemple les fréquences d'occurrence et les surfaces brûlées (Scarpa et al. 2024) ou par des approches plus expertes, telles que celle de Cillis et al. (2022) dans un contexte italien (Apulie).

Cette spécification formelle d'un modèle d'interface se fait souvent en deux étapes : i) la définition formelle de l'objet lui-même qui permet d'en dessiner les contours et ii) sa caractérisation fondée sur l'évaluation de ses attributs (par exemple la densité de bâtis ou de végétation) afin d'en spécifier une typologie, généralement sur la base de classes de valeurs des attributs. Au niveau d'abstraction opérationnel, les algorithmes qui découlent de ces approches formelles sont généralement fondés sur le tracé de zones tampons (*buffers*) ou le croisement de deux types de zones tampons : une (ou plusieurs) zone(s) tampon autour des structures anthropiques (pouvant aller de l'identification de bâtiments ou d'infrastructures [routes, réseau d'énergie, etc.] individualisés, jusqu'à l'agglomération, voire la région urbanisée en fonction de l'échelle choisie) et une (ou des) zone(s) tampon(s) 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). De tels traitements sont utilisés pour définir tant les interfaces linéaires que les *intermix* (surfaciques) : une zone tampon de largeur variable peut par exemple être tracée le long de la limite de la zone urbanisée, dans laquelle il sera possible que qualifier le combustible afin d'évaluer les composantes du risque liées à cette organisation spatiale du territoire.

En France, plusieurs modèles d'interface ont été spécifiés pour la gestion du risque incendie de végétation, avec des objectifs ainsi que des niveaux de validation parfois un peu différents (voir encadré) : le modèle WUIMap (Lampin-Maillet, Jappiot, et al. 2010) implémenté sous la forme d'une application dans un environnement de Système d'Information Géographique, a été spécifié par l'organisme de recherche Irstea (aujourd'hui Inrae), pour répondre plus spécifiquement à des questions d'aménagements des territoires locaux et de planification urbaine (définition des Plans Locaux d'Urbanisme) ou de planification à objectif spécifique de gestion du risque incendie de végétation (Plan de Prévention du Risque Incendie de Forêt) à l'échelle locale. Il avait été validé pour l'évaluation d'indicateurs quantitatifs de risque (nombre d'ignitions et surfaces brûlées) (Lampin-Maillet et al. 2011). Un modèle alternatif avait été développé essentiellement à dire d'experts par l'Office National des Forêts (Le Fur et al. 2024), avec un objectif d'évaluation de la défendabilité des enjeux par les services de lutte et de gestion des forêts périurbaines.

Toujours dans le contexte français, d'un point de vue opérationnel pour la gestion du risque incendie à l'échelle des territoires locaux (généralement, les communes), les auteurs s'accordent à définir l'interface sur la base d'une zone tampon d'une largeur fixe de 200 m autour des massifs forestiers (Lampin-Maillet, Mantzavelas, et al. 2010). Cette valeur de 200 m correspond à la zone d'obligation légale de débroussaillement (OLD) (Lampin-Maillet et al. 2009) inscrite dans la loi. Ce type de définition de l'interface sur la base de paramètres réglementaires se rencontre également dans d'autres contextes, par exemple en Espagne : la largeur de la zone tampon est fixée à 400 m du massif, en accord avec les dispositions légales de la définition de la zone à risque en Espagne (Calviño-Cancela et al. 2016).

Cette première composante d'une définition formelle pose déjà quelques questions :

- La valeur du paramètre « largeur de la zone tampon » est définie sur une base réglementaire, et non sur un modèle théorique ou empirique de risque. La valeur réglementaire de la zone d'OLD est elle-même issue de la mobilisation de connaissances expertes ou empiriques, non toujours validées par des résultats d'expérimentations formelles ou des sorties de modèles valides (voir Chap. 3, Vulnérabilité et 6, Prévention). Cette distance de 200 mètres représente, d'un point de vue théorique, la distance maximale franchissable par un feu courant sur un espace entretenu végétalisé ou non (généralement une ceinture agricole), mais aussi la longueur maximale des sautes de feu significatives. Les travaux de Pimont *et al.* 2014[10], utilisant des simulations de feux dans les conditions de référence, valident cette valeur. Cependant, les nouvelles conditions de propagation tendent à montrer que les deux limites sont susceptibles d'être franchies par les nouveaux régimes de propagation (feux extrêmes, voir Chap. 2, Aléa et 5, Changements globaux).

- La carte des massifs forestiers est dessinée par les services de l'Office National des Forêts, avec une certaine pluralité des objectifs (et en particulier de gestion de la production forestière). Le « massif forestier » délimite une zone boisée définie de façon stricte. La multiplication des « incendies de végétation » (par opposition aux incendies de forêt stricto sensu) en espace méditerranéen découle de dynamiques territoriales conduisant à l'accroissement de la biomasse combustible d'espaces historiquement non forestiers : les friches agricoles et pastorales (déprise agro-pastorale), dont l'incidence est souvent accentuée en zone périurbaine en lien avec les stratégies foncières attentistes, mais aussi des espaces résiduels végétalisés (talus, anciennes zones artificialisées en reconversion, espaces de récréatifs et de loisirs périphériques...).

Dans d'autres contextes, l'interface est définie symétriquement par des zones tampons autour des enjeux anthropiques, sans zone tampon initiale autour des zones de végétation. En Sardaigne, Scarpa et al. (2024) utilisent une zone tampon de 100 m autour des classes urbaines continues ou discontinues de la base de données géographique d'occupation du sol européenne *Corine Land Cover*. Aux États-Unis la largeur de la zone tampon

définissant l'interface autour des structures bâties est assez systématiquement fixée à 100 m suite à la publication de l'article de Radeloff et al. (2005) en 2005. Au Canada, dans une démarche élaborée de cartographie des interfaces, Johnston et Flannigan (2017) utilisent des largeurs de zone tampon variable en fonction de la structure anthropique définissant l'interface (zone bâtie, routes, zone industrielle, etc.).

La zone tampon est paradoxalement aussi utilisée dans les modèles d'interface linéaire. Dans le contexte canadien et à la suite de l'occurrence du feu hors norme de Fort MacMurray de 2016, Razu Ahmed et al. (2018) trace manuellement la ligne d'interface entre les zones de bâti « continu » (voir figure 11) et la zone végétalisée, puis spécifie une zone tampon de largeur variable comprise entre 10 m et 70 m du côté végétalisé de cette interface linéaire, en fonction de la charge en combustible de celle-ci. Ce tracé d'une interface linéaire est permis par la configuration urbaine spécifique de la région.

Pour les modèles d'interface fondés sur la définition initiale d'une zone tampon autour de la zone combustible, une deuxième zone tampon autour des enjeux anthropiques est définie (Bar-Massada et al. 2023 ; Calviño-Cancela et al. 2016 ; Lampin-Maillet et al. 2009 ; Radeloff et al. 2005). En fonction de l'échelle choisie, la représentation des enjeux peut être zonale, chez Calviño-Cancela et al. (2016), il s'agit des classes urbaines d'occupation du sol de la classification européenne *Corine Land Cover*, ou locale, chez Lampin-Maillet et al. (2009), les bâtiments sont individualisés. Ganatsas et al. (2022) utilise une approche mixte, fondée sur la carte de la zone urbaine *Corine Land Cover*, et sur l'individualisation des bâtiments en dehors de celle-ci. Bar-Massada et al. (2013), dans le contexte nord-américain, développe une approche locale/ponctuelle, appelée WUI-P, et la compare à la carte d'interface zonale (WUI-Z) spécifiée quelques années plus tôt par Radeloff et al. (2005).

Cette distinction ne préjuge pas du modèle de représentation de ces entités spatiales, puisque dans les deux cas il s'agit de polygones qui représentent tant les bâtiments individualisés que les zones urbaines à enjeux. Dans plusieurs modèles d'interface, les enjeux anthropiques servant à la définition de la zone tampon autour des enjeux sont ponctuels : pour le bâti, ou linéaires : pour les infrastructures routières (Zambon et al. 2019), ferroviaires, de transport d'énergie, etc.

Dans les modèles à deux zones tampons (l'une autour des éléments de végétation combustible, l'autre autour des éléments anthropiques vulnérables), l'interface est définie par une fonction spatiale plus ou moins élaborée entre les deux zones : Lampin-Maillet et al. (2009) et Calviño-Cancela et al. (2016) définissent l'interface, en première approximation, par la réunion des zones tampons de 100 m maximal autour des bâtiments situés dans la zone tampon de 200 m autour des massifs. Il ne s'agit donc ni de l'intersection ni de la réunion des deux zones d'influence : la première zone tampon traduit l'influence du massif sur les bâtiments (exposition), la deuxième traduit leur vulnérabilité contextuelle ainsi que leur fonction de facteur d'ignition potentiel. Ganatsas et al. (2022) utilisent une zone tampon de 500 m autour de la zone urbaine, complétée des zones dont la densité du bâti est supérieure à un bâti pour 16 ha au-delà de la zone tampon, dans un contexte européen (Grèce).

Ainsi la gamme des définitions paramétrées proposées par les auteurs est assez large. Par exemple, Rutherford V. Platt (2010) compare les définitions paramétrées spécifiées par la recherche ou certains services techniques en charge de la gestion du risque incendie, et les applique sur un échantillon de quatre comtés des États-Unis (tableau suivant) :

Tableau 4 : Différents modèles d'interface comparés par Rutherford V. Platt (2010).

Modèle	Source pour la définition des agrégats de bâtis (« *Settlements* »)	Zone tampon autour des bâtiments	Végétation
RHS (Radeloff et al. 2005)	Seuil de densité des blocs de recensement (« *Census blocks* ») : > 1 structure bâtie pour 16,2 ha (*40 acres*)	Aucun	Les blocs avec 50 % ou moins de végétation naturelle sont exclus, à moins qu'ils ne se trouvent à moins de 2,4 km (*1,5 mile*) d'une zone d'au moins 5 362 m² (*1,325 acre*), couverte d'au

			moins 75 % de végétation naturelle
RHS-2 (Stewart, 2007)[13]	Seuil de densité des blocs de recensement (« *Census blocks* ») : > 1 structure bâtie pour 16,2 ha (*40 acres*) après soustraction des espaces publics	Aucun	Les blocs avec 50 % ou moins de végétation naturelle sont exclus, à moins qu'ils ne se trouvent à moins de 2,4 km (*1,5 mile*) d'une zone d'au moins 5 362 m² (*1,325 acre*), couverte d'au moins 75 % de végétation naturelle
WA (Wilmer & Applet, 2005)[14]	Seuil de densité des blocs de recensement (« *Census blocks* ») : > 1 structure bâtie pour 16,2 ha (*40 acres*) après soustraction des espaces publics	804,67 m (*0,5 mile*)	Végétation non-naturelle exclue des interfaces
Buffer From Structure-1 **BFS-1 (Platt, 2010)** [15]	Structures bâties localisées au centroïde de la parcelle, en excluant les bâtiments isolés à plus de 569 m d'un autre bâtiment	804,67 m (*0,5 mile*)	Végétation non-naturelle exclue des interfaces
Buffer From Structure-2 **BFS-2 (Platt, 2010)**	Structures bâties localisées au centroïde de la parcelle, en excluant les bâtiments isolés à plus de 569 m d'un autre bâtiment	De 0 à 600 m (*0,37 mile*), en fonction de la hauteur des arbres	Végétation non-naturelle exclue des interfaces

L'auteur montre l'influence de ces définitions sur les surfaces d'interface cartographiées et le taux des bâtiments recensés localisés dans ces interfaces, sans toutefois faire le lien avec le risque d'incendie.

Tableau 5 : Incidence de différents modèles d'interface sur la surface d'interface cartographiée et la proportion des bâtiments localisés dans l'interface dans un contexte nord-américain, d'après Rutherford V. Platt (2010).

Modèle	Surface d'interface cartographiée (km²)	Taux d'interface, en % de la surface totale de l'échantillon	Proportion des bâtiments recensés localisés en interface
RHS-1	3160	29 %	74,5 %
RHS-2	3061	28 %	78,0 %
WA	4260	39 %	92,5 %
BFS-1	4087	38 %	99,5 %
BFS-2	1584	15 %	92,8 %

[13](Stewart et al. 2007)

[14] Document technique : WILMER, B., AND G. APLET. 2005. Targeting the community fire planning zone: Mapping matters. The Wilderness Society, Washington, DC. Available online at www.wilderness.org/ Library/Documents/upload/TargetingCFPZ. pdf

[15] (Platt 2010)

Cet exemple illustre la sensibilité des résultats aux modèles d'interface utilisés pour en faire la cartographie. On remarque que certains modèles minimisent les surfaces classées en interface mais rassemblent une proportion élevée de bâtis (modèle BFS-2), d'autres permettant un classement en interface de plus fortes proportions de l'espace total, tout en laissant une plus forte proportion du bâti, notamment le bâti isolé, en dehors de la zone d'interface.

Taccaliti et al. (2023) examinent les définitions opérationnelles d'interfaces proposées dans une quarantaine de publications états-uniennes, incluant des publications scientifiques mais aussi de nombreux documents techniques. Ces publications distinguent plusieurs zones tampons (buffer) autour des bâtiments définissant deux types de zones ayant à vocation différente : la zone d'ignition des maisons (*Home Ignition Zone* — HIZ) (voir Chap. 6, Prévention) est la zone dans laquelle un feu est susceptible d'enflammer les constructions bois, et la zone de protection de la communauté (*Community Protection Zone* — CPZ) est la zone dans laquelle un feu présente un danger direct pour les résidents. Trois largeurs de buffer sont considérées pour former la HIZ (0,5 m, 1 m, 10 m), alors qu'une quatrième largeur de buffer (100 m) définit la CPZ (voir figure 11).

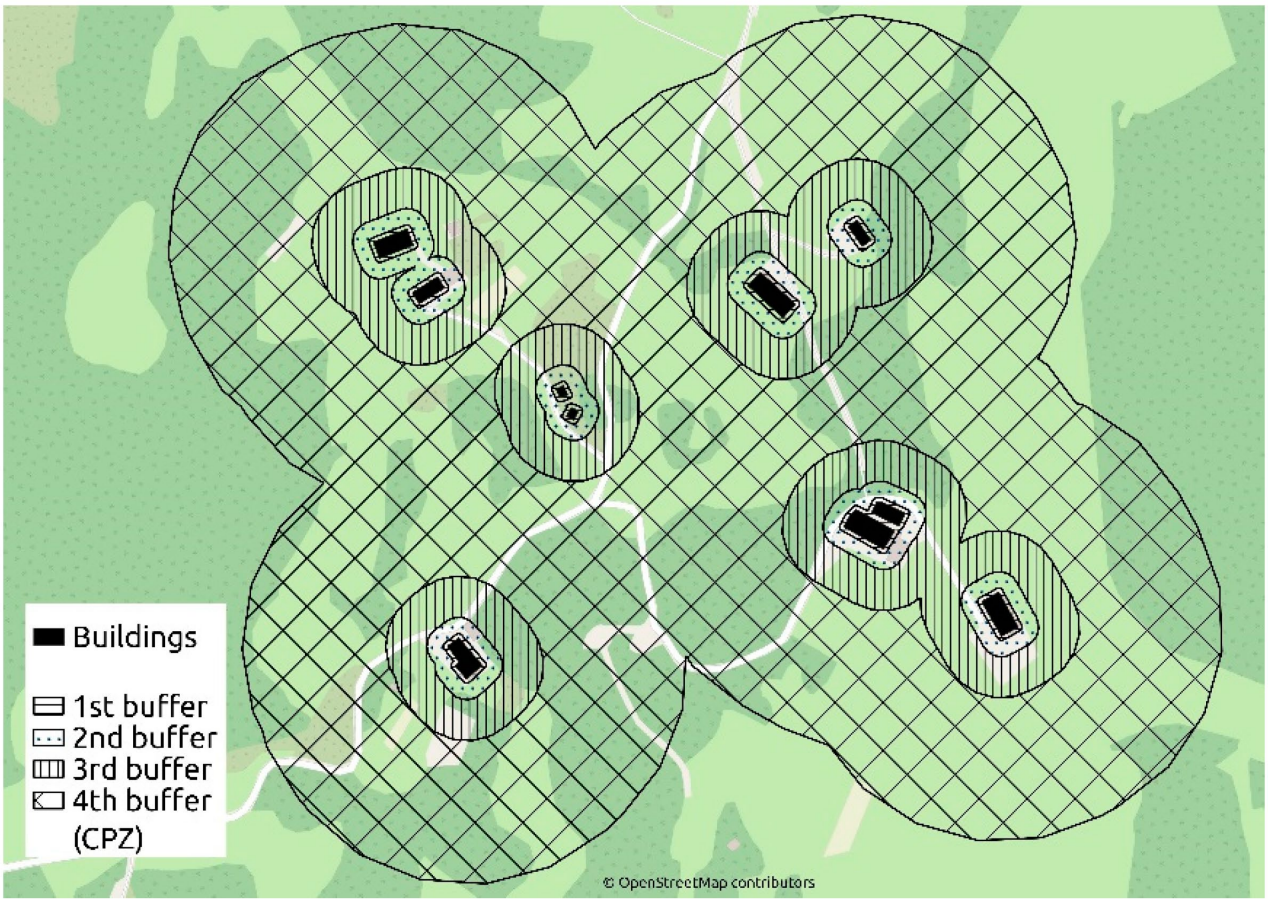


Figure 11 : Exemple illustratif de zones tampons autour des bâtis définissant la zone d'ignition des maisons (HIZ : 1er, 2ème et 3ème buffer) et la zone de protection de la communauté (CPZ : 4ème buffer) d'après Taccaliti et al. (2023).

L'auteur recense ensuite le nombre de publications (y compris des publications techniques) spécifiant les différentes largeurs des différents niveaux de buffer.

Tableau 6 : Plages de distances de buffer recommandées par les publications scientifiques (citées) ou techniques (non citées) analysées par l'auteur pour la zone d'ignition des maisons (HIZ) et la zone de protection des communautés (CPZ), dans différents contextes géographiques (NA : Amérique du Nord, USA : États-Unis hors Alaska et Outre-Mer, USAcal : Californie, USAco : Colorado, USAfl : Floride, USAid : Idaho, CA : Canada, AUS : Australie, R : Russie, FR : France). Les astérisques correspondent à des distances obtenues par simulation de feu. D'après Taccaliti et al. (2023).

HIZ						**CPZ**	
1er buffer		*2ième buffer*		*3ième buffer*		*4ième buffer*	
Largeur (m)	Nombre de publications	Largeur (m)	Nombre de publications	Largeur (m)	Nombre de publications	Largeur (m)	Nombre de publications
0,5 — 1,0	1 (USA)	3	1 McNamee et al. (2022) ; SWD	28	1*Cohen (2004) ; NA	30-70	1 Ahmed et al. (2018)
1,5	1 Eric E. Knapp et al. (2021) ; USAcal	10	3 dont Cohen (2004) ; NA, USAfl, USA	30	2 (USAid, USA)	100	1 McNamee et al. (2022) SWD
5	2 Grishin et al. (2014) ; R, USAco	15	1* (USA)	40	1*+1 USA, McNamee et al. (2022) ; SWcohenD	200	1 Brzuszek et al. (2010) ; USAfl
10	3 (USAcal, AUS, CA)	30	2 (USAcal, CA)	50	1 (AUS)	250- 300	1 Newnham et al. (2012) ; AUS
>10 — 35	1 Soto et al. (2022) ; Chi, Sp	40	1 Gibbons et al. (2012) ; AUS	60	3 (USAcal, USAaz, USA)	500	4 Beverly et al. (2010) CA, Safford et al. (2009) ; USAcal, Gibbons et al. (2012) ; AUS
50	1* (FR)[16]	20 — 80	1 Soto et al. (2022) ; Chi,Sp	70	1 Soto et al. (2022) Chi,Sp	400-700	1 Chen et McAneney (2004) ; AUS
60 - 120	1 (USAcal)	50 - 100	1 Lampin-Maillet et al. (2009) ; FR	100	3 Gibbons et al. (2012) ; AUS, CA, USA	850	1 Caggiano et al. (2020) ; USA
						0,8 km 2,4 km	1 (USA)

[16] Pimont, F.; Dupuy, J.-L. ; Linn, R. Fire Effects on the Physical Environment in the WUI Using FIRETEC. In Proceedings of the 7th International Conference on Forest Fire Research, Coimbra, Portugal, 17—20 November 2014.

						0,8 km 1,6 km 3,2 km	1 Theobald et Romme (2007) ; USA
						1,2 km	1 (USA)
						2,5 km	1 Price et Bradstock (2013) ; AUS
						10 km	1 (CA)

La diversité des formules (nombre de *buffers*) et des paramètres, notamment de largeur des *buffers*, y compris pour un même contexte d'application, illustre la très grande liberté méthodologique prise par les auteurs, académiques ou opérationnels, pour spécifier une définition particulière de l'interface, adaptée à la fois aux objectifs des travaux ainsi qu'au contexte géographique sur lequel elle s'applique. Il n'existe donc pas, en l'état actuel de la recherche, de relation formelle universelle entre niveaux de risque et types d'interface.

La notion d'interface telle que mobilisée dans cette littérature reste un outil d'évaluation du risque qui requiert des adaptations locales fortes au contexte pour sa définition et sa cartographie, et en conséquence une phase interprétative pour la formulation d'un diagnostic. La cartographie des interfaces reste donc un outil incontournable d'aide à la décision d'aménagement intégré des territoires pour la maîtrise du risque feu de végétation, dont l'opérationnalité est soumise à son intégration à l'expertise locale.

Modèles pour la cartographie des interfaces en France

En France, différents modèles de cartographie et de caractérisation des interfaces sont ou ont été utilisés par les services en charge de l'aménagement des territoires pour la réduction du risque incendie de végétation. Le modèle WUImap (Bouillon et al. 2014) initialement spécifié par le Cemagref/IRSTEA, utilisait deux zones tampons, l'une autour des massifs forestiers pour la sélection des bâtiments définissant l'interface, correspondant à la zone d'obligation légale de débroussaillement, et un jeu de zones d'influence autour de ces bâtis, définissant des agrégats de bâtis de différentes densités. 4 classes de densité étaient proposées : bâti dispersé, bâti diffus, bâti groupé dense et bâti groupé très dense. Dans la zone générée par la confluence de ces différentes zones tampons, un indice d'agrégation de la végétation arbustive et arborée est calculé (initialement sur la base d'analyse d'images satellites SPOT à 20 m de résolution) puis distribué en trois classes : agrégation forte (AI > 90 %), agrégation moyenne (10 % < AI < 90 %), et agrégation faible (<10 %). Les types d'interface résultent du croisement des quatre classes de densité du bâti avec les trois classes d'agrégation de la végétation (12 types) (Lampin-Maillet, Bouillon, et al. 2010).

Ce modèle avait pour objectif de représenter le « risque global » aux échelles locales. L'auteur avait partiellement corrélé les principaux types d'interfaces ainsi spécifiés au nombre de feux affectant l'interface et aux surfaces totales brûlées par ces incendies (Lampin-Maillet, Jappiot, et al. 2010). Il s'agit de l'un des rares travaux expérimentaux de validation d'un modèle d'interface, la plupart restant théoriques : ils sont fondés sur l'hypothèse d'un potentiel de propagation fonction de la continuité de la biomasse combustible, d'une probabilité d'occurrence qui serait principalement fonction de la densité d'enjeux (y compris les infrastructures),

mais également de la continuité de la biomasse combustible, et enfin d'une vulnérabilité fonction de l'exposition, mais inversement corrélée à la densité des enjeux.

L'Office National des Forêts notamment par sa cellule DFCI (Défense des Forêts Contre l'Incendie) utilisait aussi un modèle d'interface légèrement différent pour l'aménagement des zones forestières en contact avec les zones bâties. Ce dernier modèle (non publié en revue) répondait plus spécifiquement aux contraintes de la lutte contre les incendies aux interfaces. Il différait du modèle WUIMap par certains de ses paramètres, notamment la définition d'une zone tampon de 15 m autour du bâti, correspondant à une zone de défendabilité dans laquelle toute végétation arbustive ou arborée expose les personnels de lutte à des risques lors de la défense de l'enjeu.

Ces deux versions ont été fusionnées dans un modèle de structure de la distribution spatiale du bâti dit « unifié », défini, toujours à dire d'experts, dans le document technique en référence. Plusieurs innovations le caractérisent, notamment :

- Il inclut une dimension purement sémantique en distinguant des classes d'interfaces urbaines et non urbaines. En ce sens, il propose une définition formelle de l'espace urbain fondé sur l'analyse spatiale de la distribution du bâti.
- Il utilise des indices de forme géométrique des agrégats ainsi que des indices topologiques de relation entre agrégats pour distinguer certaines classes d'interface (en particulier la classe « urbaine complexe »).
- Il distingue les zones périphériques et les zones internes des agrégats bâtis.

La composante végétation du modèle n'est actuellement pas spécifiée : le modèle unifié n'est donc pas un modèle d'interface en tant que tel, mais plutôt de structure des zones de bâti discontinu.

D'origine experte, la pertinence du modèle à représenter diverses composantes du risque à l'échelle locale est toujours en cours de validation.

D'après Le Fur et al. (2024).

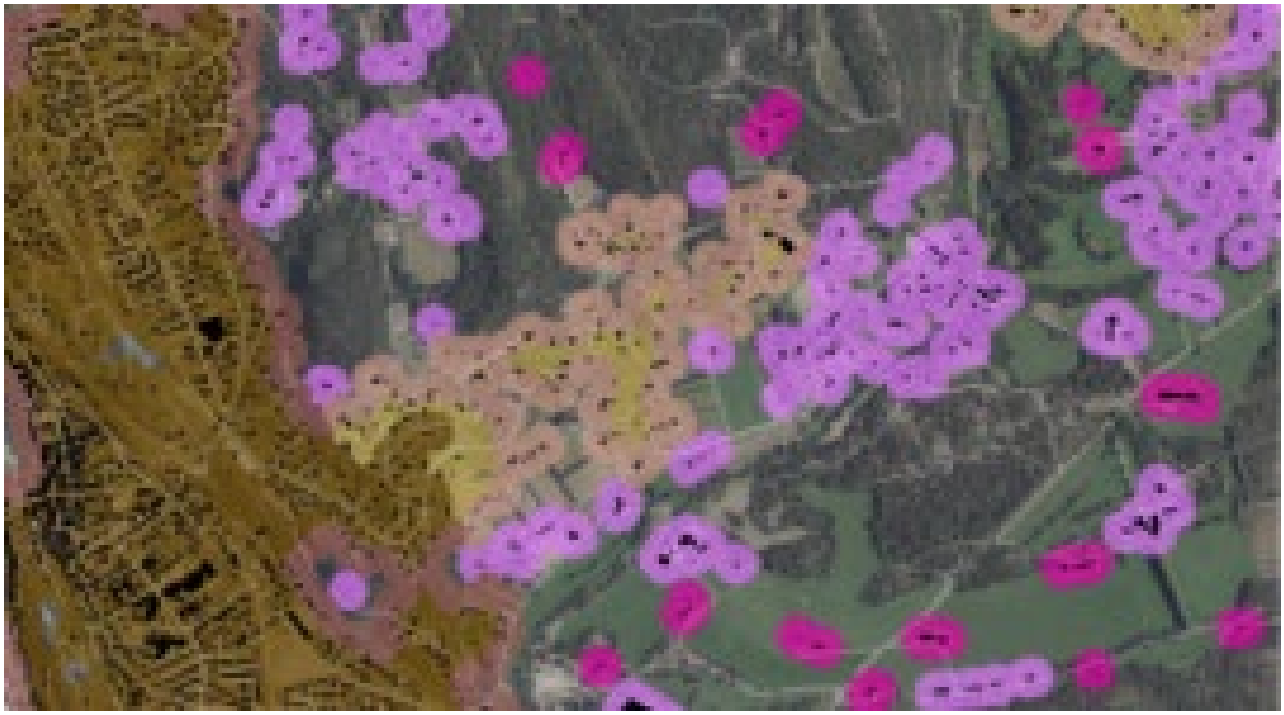


Figure 12 : Un exemple de modèle d'interface — carte des structures du bâti du « modèle unifié » (Le Fur et al. 2024)

3.5.4.3. Dynamique du risque liée aux dynamiques d'interfaces

D'un point de vue dynamique, le lien existant entre les types d'interfaces et différentes composantes du risque permet de montrer voire de modéliser le lien entre les dynamiques territoriales, et les dynamiques d'interfaces qui en résultent, et ces mêmes composantes du risque : Vilar et al. (2016) montre la relation entre l'évolution de la densité d'interface ville — espace naturel et celle des occurrences d'incendies dans les départements du sud-est de la France. Dans cette même zone, qui relie la dynamique du risque aux dynamiques d'interface, en prenant en compte le changement climatique Fox et al. (2015), obtiennent des résultats plus contrastés, interprétés par l'efficacité de la doctrine d'attaque massive des feux naissants en pleine émergence durant la période d'étude (voir Chap. 5, Changements globaux). Dans le contexte nord-américain, Syphard et al. (2013) montrent le lien existant entre divers scénarios de planification territoriale et le risque d'incendie, puis analysent les potentialités de l'utilisation des typologies d'interface pour l'aide à la planification territoriale à objectif de réduction du risque, (Syphard et al. 2022).

Ces travaux ne vont jamais jusqu'à la spécification de modèles intégrés de simulation qui permettraient l'anticipation d'une évaluation du risque incendie de végétation sur la base de scénarios de changement d'occupation du sol, et plus spécifiquement des dynamiques d'interface, sur le modèle des scénarios de changement climatique (voir le Chap. 5, Changements globaux). Les facteurs déterminants essentiellement anthropiques des dynamiques d'occupation du sol (décisions de gestion territoriale multi-objectifs, décision individuelle d'utilisation des sols par les exploitants, etc.), restent difficiles à anticiper sur toute la gamme d'échelles concernée, et la réaction des écosystèmes les moins artificialisés aux variations d'usage reste encore imparfaitement prédite par les modèles de l'écologie. Un large champ de recherche reste ouvert dans ce domaine, tourné vers l'aide à la décision de gestion planifiée des territoires pour la maîtrise du risque incendie de végétation.

4. Lacunes de connaissance et controverses

4.1. Déficit de modèles formels de la relation entre les types d'interface et le risque

La spécification de modèles d'interface pour la cartographie et l'aide à la décision de maîtrise du risque incendie requiert l'assemblage d'un large éventail de thématiques de recherche. Alors que plusieurs revues de littérature telles que Manzello et al. (2018) identifient plusieurs voies de recherche à explorer pour la réduction du risque aux interfaces (les matériaux, la lutte et la gestion de crise, les questions environnementales…), la question du modèle d'interface lui-même et sa corrélation aux diverses composantes du risque (aléa, vulnérabilité) semblent encore insuffisamment abordées. Même si les approches formelles de spécification des modèles d'interface existent, sur la base d'une évaluation du risque qui lui est associée, notamment par simulation, les approches utilisées sont plutôt inductives, au sens où les modèles sont formulés a priori, notamment sur la base de dires d'experts ou de connaissances empiriques, la corrélation au risque ou à ses composantes étant vérifiée a posteriori. Ce type d'approche trouve son origine dans l'objectif de gestion territoriale multi-domaines (urbanisme et développement économique, gestion de l'environnement et du patrimoine paysager, gestion multi-risque) de la cartographie des interfaces, plutôt que dans un objectif spécialisé dans la gestion du risque incendie.

4.2. Données et métriques pour la cartographie des interfaces : perspectives nouvelles pour l'exploitation des données satellitales

Les travaux de recherche sur l'interface n'utilisent que secondairement les données satellites de façon directe — ce qui permettrait d'affiner localement les analyses. Les travaux ont recours massivement aux bases de données SIG normalisées issues des grands organismes producteurs de données géographiques.

Mesurer les interfaces, leurs formes et qualifier leurs structures est ainsi un challenge permanent. La haute résolution spatiale et les variations temporelles ne sont que partiellement prises en charge dans l'évaluation du risque incendie. Ce phénomène classique, qui concerne aussi la cartographie du bâti, implique que la variabilité des zones végétalisées, en particulier intermédiaires, reste sous-évaluée (essentiellement l'intermix). Seules des analyses issues de protocoles de traitement d'imagerie satellite haute résolution (Sentinel 2 par exemple, 10 m) permettent de qualifier précisément (spatialement et spectralement) les zones végétalisées, mais de façon non systématique et actualisée. En milieu méditerranéen « sensible », la détection des formations végétales « intermédiaires », y compris maquis et garrigues, nécessite l'application d'algorithmes spécifiques que l'on retrouve rarement dans la littérature, d'où une augmentation de l'incertitude. Une solution classique consiste à se concentrer sur la biomasse, sans distinction des espèces végétales, mais dans ce cas, les effets de seuil lors de la mise en carte limitent également la pertinence de la cartographie restitutive. Ce type d'approche par la biomasse, sans discrimination spécifique d'espèces ou de types de couverts végétaux, est la plus adaptée à l'appréciation du niveau d'intermix.

4.3. Déficit de conceptualisation

Une des difficultés majeures que les publications scientifiques peinent à aborder est une sortie de la pensée binaire urbain vs non-urbain, bâti vs végétation, etc. La logique de confrontation permanente de deux « mondes » prive les aménageurs, écologues, forestiers, urbanistes et autres acteurs de la sécurité civile de moyens d'appréhension de ces espaces complexes que sont les zones d'entre-deux, interfaciques et interstitielles. Ces zones se déploient sur des superficies étendues et leurs spécificités méritent d'être étudiées *en*

propre, ce qui suppose de s'appuyer sur un « arsenal » théorique et conceptuel renouvelé de l'aménagement du territoire.

Une autre difficulté relève du caractère statique des analyses et cartographies des zones d'interface/intermix. Pour mieux appréhender les logiques d'interaction entre éléments bâtis et naturels, l'intégration d'éléments d'analyse dynamique peut se révéler utile :

1. Du point de vue de l'écologie politique, la progression périphérique des espaces urbains aux dépens des zones naturelles peut être considérée comme une atteinte à des écosystèmes d'autant plus fragiles que l'expansion périphérique s'effectue le plus souvent par fragmentation des paysages (Radeloff et al. 2010, johnsonNatureFragmentsLegacy2005). La défendabilité des espaces naturels est entendue comme préservation de l'intégrité d'écosystèmes fragiles.
2. Du point de vue des politiques urbaines, l'expansion périphérique résulte d'une dynamique de croissance démographique et économique potentiellement menacée par une trop grande proximité avec les formations végétales inflammables. La défendabilité du bâti suppose une distanciation et une réduction de la biomasse de proximité, à travers la réalisation de corridors de sécurité.

Lorsque le front urbain est expansif en zone périphérique, consommation d'espace et artificialisation des sols (*land taking*) et défrichement/déboisement (*land clearance*) s'associent pour repousser les zones végétalisées environnantes. Les zones agricoles périurbaines sont souvent des cibles prioritaires de la spéculation foncière et immobilière, mais les secteurs boisés peuvent être recherchés pour leurs aménités. Les friches se développent sur les terres en attente d'urbanisation (friches industrielles et/ou agricoles transitoires). Les zones boisées et/ou végétalisées reculent, mais l'intermix peut croître de manière exponentielle en fonction de la densité des constructions autorisées et des modes de régulation politique de la croissance.

Lorsque le front urbain est régressif, les zones végétalisées progressent, mais cette progression reste étroitement dépendante du maintien, de la disparition prolongée ou du retour des exploitations agricoles. La déprise démographique conduit à une fermeture progressive des paysages, et à une proximité accrue bâti-végétation. Déprises urbaine et agricole simultanées en périphérie peuvent produire des situations à haut risque incendie.

La littérature scientifique sur la France se focalise souvent sur des cas particuliers (évènements singuliers, catastrophes) localisés. Peu d'analyses permettent de couvrir des régions entières et les comparaisons inter-régionales sont rares. Les travaux manquent de systématicité.

Certains auteurs mesurent la croissance des zones d'interface à l'aune de deux dynamiques :

1. humaine : (a) *pull factors*, développement exurbain dans ou à proximité d'écosystèmes naturels (désir de bénéficier d'aménités par exemple) ; (b) *push factors*, croissance des prix du foncier et de l'immobilier en zone urbaine poussant la population à coloniser les zones rurales.
2. végétale : la croissance est essentiellement due à l'abandon des terres agricoles (Bar-Massada et al. 2023).

Ces dynamiques anthropiques, végétales et paysagères sont somme toute assez mal appréhendées par les bases de données spatiales. En effet, les mises à jour sont pluri-annuelles et ne tiennent pas compte des variations saisonnières, de sorte qu'il faut assumer un décalage systématique entre données terrain instantanées et données cartographiques normalisées.

La notion d'interface perpétue ainsi l'idée sous-jacente d'une contradiction ville — nature. Il s'agit ici d'une construction historique et culturelle très documentée. En France, cette opposition peut sembler factice. L'histoire urbaine depuis la révolution industrielle exprime une relation ambiguë. Très tôt, l'industrialisation, la pollution et autres nuisances associées, les populations pauvres en grand nombre, ont poussé les groupes sociaux les plus aisés à rechercher les espaces périurbains pour y établir des domaines (bastides provençales, chartreuses bordelaises, folies montpelliéraines et autres maisons de campagne). Loisirs, hygiène et statut social motivent ces déplacements temporaires, mais la proximité avec les espaces naturels, en particulier boisés, est à la fois cause et conséquence de ces projections d'habitat urbain en milieu rural. Le phénomène n'est pas universel (certains

centres-villes ont conservé un habitat bourgeois permanent). Jardins d'agrément, chasse et pêche, plantations exotiques, promenades touristiques, et cultures productives contrôlées constituent un modèle de proximité reproduit massivement après-guerre à travers l'expansion urbaine périphérique diffuse de basse densité.

L'entre-deux résidentiel (entre ville et nature) est constitutif de l'habitat pavillonnaire que l'on retrouve aujourd'hui au nombre des « victimes » des incendies. Sous-estimer la perpétuation de ce modèle d'habitat (en particulier dans les zones touristiques mixtes) à travers un schéma conceptuel binaire espace naturel — espace urbain peut entraîner des erreurs d'appréciation susceptibles de masquer la nature des risques réels (partiellement) assumés par les investisseurs qui continuent de promouvoir des projets immobiliers à haute valeur ajoutée sur un principe de contact voire d'immersion dans les espaces naturels végétalisés. Les secteurs les plus sensibles à l'interface sont-ils ceux précisément qui font l'objet d'une plus grande valorisation foncière et immobilière parce qu'ils organisent ce voisinage naturel dans les périmètres les plus « sensibles » ?

Tandis qu'en France, les lois SRU (2000, SCOT et PLU), ALUR (2014), ELAN (2018) et Climat et résilience (2021, dispositif ZAN) ont organisé une limitation de la dispersion et une augmentation de la compacité de l'habitat, riches et pauvres aux deux extrêmes se retrouvent dans leur capacité à échapper aux normes réglementaires, par le haut (aménités environnementales maximales et faible densité dérogatoire) ou par le bas (habitat précaire, cabanes, cabanons et mobile home aux marges de l'oikoumène), et à être en première ligne des victimes potentielles d'incendies d'interface. Prenons ainsi les cas emblématiques du Cap Bénat, des Parcs de Saint-Tropez et Ramatuelle ou du Cap Ferret, qui associent villas/domaines de grand luxe, parfois sur de vastes superficies, en contact direct avec des massifs forestiers et d'autres formations végétales intermédiaires, cumulant interface et intermix. À l'inverse, les campements itinérants d'habitat précaire ont colonisé les vallons boisés varois tandis que les cabanons s'installent au contact direct des landes de garrigue de l'Aude-Hérault, et s'établissent sur des terrains non constructibles en périphérie de grandes aires urbaines et touristiques. Les interfaces peuvent ainsi tout à la fois être recherchées ou subies, mais avec un niveau de risque estival très élevé. De même, les politiques publiques de « maîtrise » du risque doivent composer avec la recherche d'aménités (cadre de vie, loisirs, filières touristiques…) et les impératifs du développement urbain.

Il faut ainsi clairement dissocier narratifs et représentations collectives des interfaces à risque souvent calés sur un mode binaire de leur réalité matérielle complexe et subtile.

Enfin, la littérature manque de données récentes sur les mutations du marché foncier et immobilier urbain et périurbain après l'an 2000, et sur les changements impulsés par la PAC (Politique Agricole Commune), notamment dans le soutien apporté aux jachères. Les friches sont peu étudiées et peu mesurées. Ce sont pourtant des indicateurs de changement très utiles, liés à des phases de crises. Entre politiques de suppression et systématisation des pauses productives dans les cycles agricoles à des fins de régulation du marché, les friches manifestent les contradictions des systèmes régulés tout comme elles traduisent les dynamiques de changement à l'aval de la financiarisation de la production de l'espace

5. Conclusion

L'analyse conceptuelle démontre à quel point la notion d'interface ville — espace naturel peut être pertinente pour appréhender l'enjeu majeur que constituent aujourd'hui les incendies de végétation en marge des espaces urbains. Enjeux opérationnels, impératifs régulateurs d'aménagement, encadrement normatif et impératif de défendabilité déterminent une domination des approches paramétriques dans l'appréhension de l'interface-feu. Cette mécanique aboutit également à l'expression d'une domination formelle dans la littérature académique : les « forestiers » s'imposent très largement au détriment des « urbanistes », de sorte que la connexion entre incendies urbains et incendies d'interface reste marginale.

La plupart des définitions socle ressortissent des grands opérateurs publics producteurs de données spatiales et suivent leurs cahiers des charges. Hautes résolutions spatiales et grandes échelles dominent au détriment des approches à échelle intermédiaire.

La prise en compte des dynamiques agricoles périurbaines reste marginale et se réduit souvent à l'intégration d'un élément fondamental d'évolution des paysages périurbains modernes : la réduction drastique des espaces agricoles de proximité et l'enfrichement qui accompagne le développement urbain. Or, précisément, les notions d'espace naturel, d'urbain et de rural sont des notions méso-scalaires. Il existe donc des décalages systématiques entre les métriques haute résolution adoptées et les notions moyenne résolution mobilisées. De même, les analyses à échelle continentale ou mondiale reproduisent ce décalage scalaire et conceptuel qui affaiblit la signification des résultats.

Les traitements directs à partir d'imagerie satellite sont rares, l'immense majorité des analyses se référant à des données standardisées. Les spécificités locales du développement urbain et des biomes, la diversité des morphologies spatiales, la complexité des dynamiques d'évolution passent souvent au second plan dans l'objectif d'assurer une comparabilité des résultats à échelle nationale ou internationale. De nombreux auteurs soulignent toutefois la non-reproductibilité de nombreux résultats entre pays faute de contextes historiques ou topologiques comparables.

On notera également la focalisation sur des logiques binaires majoritaires (ville — espace naturel, bâti-végétation) qui simplifient ou réduisent toutes les formations intermédiaires ou interstitielles. Métriques et cartographies expriment leur efficacité en « sacrifiant » la diversité et la complexité des situations locales.

6. À retenir

L'interface ville — espace naturel se définit comme l'endroit où la ville et les zones de végétation naturelle ou sub-naturelle[17] 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'éclosions et les personnes et les biens exposés au risque.

Dès lors, la délimitation et la cartographie des interfaces sont 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.

Toutefois, les approches binaires associant ville et espace naturel qui prédominent, simplifient ou réduisent toutes les formations intermédiaires ou interstitielles comme les friches. Métriques et cartographies rendent mal compte de la diversité, de la complexité des situations locales et des dynamiques territoriales.

7. Liste des références du chapitre I

Ager, Alan A., Michelle A. Day, Palaiologos Palaiologou, Rachel Houtman, Chris Ringo, et Cody R. Evers. 2019. « Cross-boundary wildfire and community exposure: A framework and application in the western U.S. »

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

U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. doi : 10.2737/rmrs-gtr-392.

Ager, Alan A., Michelle A. Day, Karen C. Short, et Cody Evers. 2016. « Assessing the impacts of federal forest planning on wildfire risk mitigation in the Pacific Northwest, USA ». *Landscape and Urban Planning*. doi : 10.1016/j.landurbplan.2015.11.007.

Ager, Alan A., Palaiologos Palaiologou, Cody R. Evers, Michelle A. Day, et Ana M. G. Barros. 2018. « Assessing Transboundary Wildfire Exposure in the Southwestern United States. » *Risk Analysis*. doi : 10.1111/risa.12999.

Ahmed, M. Razu, Khan Rubayet Rahaman, et Quazi K. Hassan. 2018. « Remote Sensing of Wildland Fire-Induced Risk Assessment at the Community Level ». *Sensors*. doi : 10.3390/s18051570.

Amato, Federico, Marj Tonini, Beniamino Murgante, et Mikhail Kanevski. 2018. « Fuzzy Definition of Rural Urban Interface: An Application Based on Land Use Change Scenarios in Portugal ». *Environmental Modelling & Software* 104:171-87. doi : 10.1016/j.envsoft.2018.03.016.

Augé, M. 1992. *Non-lieux : introduction à une anthropologie de la surmodernité*. Librairie du XXe siècle. Seuil.

Ban, Hyowon, et Ola Ahlqvist. 2009. « Representing and Negotiating Uncertain Geospatial Concepts — Where Are the Exurban Areas? » *Computers, Environment and Urban Systems* 33(4) : 233-46. doi : 10.1016/j.compenvurbsys.2008.10.001.

Barbosa, Bruno, Sandra Oliveira, Mário Caetano, et Jorge Rocha. 2024. « Mapping the Wildland-Urban Interface at Municipal Level for Wildfire Exposure Analysis in Mainland Portugal ». *Journal of Environmental Management* 368:122098. doi : 10.1016/j.jenvman.2024.122098.

Bar-Massada, Avi, Fermin Alcasena, Franz Schug, et Volker C. Radeloff. 2023. « The Wildland — Urban Interface in Europe: Spatial Patterns and Associations with Socioeconomic and Demographic Variables ». *Landscape and Urban Planning* 235:104759. doi : 10.1016/j.landurbplan.2023.104759.

Bar-Massada, Avi, Susan I. Stewart, Roger B. Hammer, Miranda H. Mockrin, et Volker C. Radeloff. 2013. « Using structure locations as a basis for mapping the wildland urban interface ». *Journal of Environmental Management*. doi : 10.1016/j.jenvman.2013.06.021.

Bartlett, Anthony. 2012. « Fire management strategies for' Pinus radiata' plantations near urban areas ». *Australian Forestry*. doi : 10.1080/00049158.2012.10676384.

Bédard, Mario, et Sandra Breux. 2011. « Non-lieux et grands projets urbains. Une inéluctable équation ? Perspectives théoriques et propositions analytiques » ». *Annales de géographie* 678(2) : 135-56. doi : 10.3917/ag.678.0135.

Bento-Gonçalves, António, et António Vieira. 2020. « Wildfires in the wildland-urban interface: Key concepts and evaluation methodologies. » *Science of The Total Environment*. doi : 10.1016/j.scitotenv.2019.135592.

Beverly, Jennifer L., P. M. Bothwell, J. C. R. Conner, et Emily P. K. Herd. 2010. « Assessing the exposure of the built environment to potential ignition sources generated from vegetative fuel ». *International Journal of Wildland Fire*. doi : 10.1071/wf09071.

Bouillon, Christophe, MM Fernandez Ramiro, C. Sirca, B. Fierro Garcia, F. Casula, B. Vila, M. Long Fournel, G. Pellizzaro, B. Arca, et Fantina Tedim. 2014. « A tool for mapping rural-urban interfaces on different scales, in advances in forest fire research ». *Advances in forest fire research*. doi : 10.14195/978-989-26-0884-6_70.

Brunori, Elena, Luca Salvati, Roberto Mancinelli, Daniela Smiraglia, et Rita Biasi. 2017. « Multi-temporal land use and cover changing analysis: the environmental impact in Mediterranean area ». *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*. doi : 10.1080/13504509.2016.1205156.

Brzuszek, Robert, Jason Walker, Timothy Schauwecker, Chris Campany, Marc Foster, et Steve Grado. 2010. « Planning Strategies for Community Wildfire Defense Design in Florida ». *Journal of Forestry* 108(5) : 250-57. doi : 10.1093/jof/108.5.250.

Butler, C. P. 1976. « The urban/wildland fire interface ». *Fire Prevention Notes* 10.

Caballero, D., I. Beltrán, et A. Velasco. 2007. « Forest fires and wildland-urban interface in Spain: types and risk distribution ». P. 13-17 in *En : IV Conferencia Internacional sobre Incendios Forestales. Sevilla*.

Caggiano, Michael D., Todd J. Hawbaker, Benjamin M. Gannon, et Chad Hoffman. 2020. « Building loss in WUI disasters: Evaluating the core components of the wildland-urban interface definition ». *null*. doi : 10.3390/fire3040073.

Çakır, Günay, C. Ün, Emin Zeki Başkent, Selahattin Köse, Fatih Sivrikaya, et Sedat Keleş. 2008. « Evaluating urbanization, fragmentation and land use/land cover change pattern in Istanbul city, Turkey from 1971 TO 2002 ». *Land Degradation & Development*. doi : 10.1002/ldr.859.

Calviño-Cancela, María, María Luisa Chas Amil, Eduardo D. García-Martínez, et Julia Touza. 2016. « Wildfire risk associated with different vegetation types within and outside wildland-urban interfaces ». *Forest Ecology and Management*. doi : 10.1016/j.foreco.2016.04.002.

Carril, Valeríà Paül i, et Matthew Tonts. 2005. « Containing Urban Sprawl: Trends in Land Use and Spatial Planning in the Metropolitan Region of Barcelona ». *Journal of Environmental Planning and Management*. doi : 10.1080/09640560420003081 39.

Chappaz, François, et Anne Ganteaume. 2023. « Role of Land-cover and WUI Types on Spatio-temporal Dynamics of Fires in the French Mediterranean Area ». *Risk Analysis* 43(5) : 1032-57. doi : 10.1111/risa.13979.

Chen, Bin, Shengbiao Wu, Yufang Jin, Yimeng Song, Chao Wu, Sergey Venevsky, Bing Xu, Chris Webster, et Peng Gong. 2024. « Wildfire Risk for Global Wildland—Urban Interface Areas ». *Nature Sustainability* 7(4) : 474-84. doi : 10.1038/s41893-024-01291-0.

Chen, Keping, et John McAneney. 2004. « Quantifying Bushfire Penetration into Urban Areas in Australia ». *Geophysical Research Letters* 31(12) : 2004GL020244. doi : 10.1029/2004GL020244.

Christopoulou, Olga, Serafeim Polyzos, et Dionissios Minetos. 2007. « Peri-urban and urban forests in Greece: obstacle or advantage to urban development? » *Management of Environmental Quality: An International Journal*. doi : 10.1108/14777830710753794.

Cillis, G., A. Lanorte, G. Nolè, V. Santarsiero, et Francesco Vito Ronco. 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*. doi : 10.5194/isprs-archives-xlviii-4— w1-2022-97-2022.

Cohen, Jack D. 2000. « Preventing disaster: home ignitability in the wildland-urban interface. » *Journal of Forestry*. doi : 10.1093/jof/98.3.15.

Cohen, Jack D. 2004. « Relating Flame Radiation to Home Ignition Using Modeling and Experimental Crown Fires ». *Canadian Journal of Forest Research* 34(8) : 1616-26. doi : 10.1139/x04-049.

Colantoni, Andrea, Efstathios Grigoriadis, Adele Sateriano, Giuseppe Venanzoni, et Luca Salvati. 2016. « Cities as Selective Land Predators? A Lesson on Urban Growth, Deregulated Planning and Sprawl Containment ». *Science of The Total Environment* 545-546:329-39. doi : 10.1016/j.scitotenv.2015.11.170.

Consalès, Jean-Noël. 2019. « Urbanisation, espaces naturels et incendies : une analyse multiscalaire en France méditerranéenne ». *Forêt Méditerranéenne* 40(2) : 93-99.

Couch, Chris, Λιλα Λεοντιδου, Lila Leontidou, et Gerhard Petschel-Held. 2007. *Urban sprawl in Europe : landscapes, land-use change & policy*. Blackwell Publishing.

Curt, Thomas, Thibaut Fréjaville, et Sébastien Lahaye. 2016. « Modelling the spatial patterns of ignition causes and fire regime features in southern France: implications for fire prevention policy ». *International Journal of Wildland Fire*. doi : 10.1071/wf15205.

Dadashpoor, Hashem, et Somayeh Ahani. 2019. « A Conceptual Typology of the Spatial Territories of the Peripheral Areas of Metropolises ». *Habitat International* 90:102015. doi : 10.1016/j.habitatint.2019.102015.

Darques, Régis. 2015. « Mediterranean Cities under Fire. A Critical Approach to the Wildland—Urban Interface ». *Applied Geography* 59:10-21. doi : 10.1016/j.apgeog.2015.02.008.

Davis, James B. 1990. « The Wildland-Urban Interface: Paradise or Battleground? » *Journal of Forestry* 88(1) : 26-31. doi : 10.1093/jof/88.1.26.

Duane, Andrea, Marc Castellnou, et Lluís Brotóns. 2021. « Towards a comprehensive look at global drivers of novel extreme wildfire events ». *Climatic Change*. doi : 10.1007/s10584-021-03066-4.

Ezz, Ahmad Abo El, Jean Boucher, Anne Cotton-Gagnon, et Alexandre Godbout. 2022. « Framework for spatial incident-level wildfire risk modelling to residential structures at the wildland urban interface ». *Fire Safety Journal*. doi : 10.1016/j.firesaf.2022.103625.

Filkov, Alexander, Virginie Tihay-Felicelli, Nima Masoudvaziri, David Rush, Andrés Valencia, Yu Wang, David L. Blunck, Mario M. Valero, Kamila Kempna, Jan Smolka, J. De Beer, Zakary J. Campbell-Lochrie, Felipe Roman Centeno, Muhammad Asim Ibrahim, Calisa Katiuscia Lemmertz, et Wai Cheong Tam. 2023. « A Review of Thermal Exposure and Fire Spread Mechanisms in Large Outdoor Fires and the Built Environment ». *Fire Safety Journal* 140:103871-103871. doi : 10.1016/j.firesaf.2023.103871.

Fox, Dennis, Pierre Carrega, Yueping Ren, Yangang Ren, P. Caillouet, Christophe Bouillon, Robert Salais, et Samuel Robert. 2018. « How wildfire risk is related to urban planning and Fire Weather Index in SE France (1990-2013). » *Science of The Total Environment*. doi : 10.1016/j.scitotenv.2017.11.174.

Fox, Dennis, Nicolas Martin, Pierre Carrega, Julien Andrieu, Cyriel Adnès, Karine Emsellem, O. Ganga, F. Moebius, N. Tortorollo, et Elizabeth Fox. 2015. « Increases in fire risk due to warmer summer temperatures and wildland urban interface changes do not necessarily lead to more fires ». *Applied Geography*. doi : 10.1016/j.apgeog.2014.10.001.

Galster, George, Royce Hanson, Michael R. Ratcliffe, Harold Wolman, Stephen Coleman, et Jason Freihage. 2001. « Wrestling sprawl to the ground: defining and measuring an elusive concept ». *Housing policy debate* 12(4) : 681-717. doi : 10.1080/10511482.2001.9521426.

Ganatsas, Petros, Nikolaos Oikonomakis, et Marianthi Tsakaldimi. 2022. « Small-Scale Analysis of Characteristics of the Wildland—Urban Interface Area of Thessaloniki, Northern Greece ». *Fire*. doi : 10.3390/fire5050159.

Ganteaume, Anne, Renaud Barbero, Marielle Jappiot, et Eric Maillé. 2021. « Understanding Future Changes to Fires in Southern Europe and Their Impacts on the Wildland-Urban Interface ». *Journal of Safety Science and Resilience* 2(1) : 20-29. doi : 10.1016/j.jnlssr.2021.01.001.

Ganteaume, Anne, Bruno Guillaume, Bertrand Girardin, et Fabien Guerra. 2023. « CFD Modelling of WUI Fire Behaviour in Historical Fire Cases According to Different Fuel Management Scenarios ». *International Journal of Wildland Fire* 32(3) : 363-79. doi : 10.1071/WF22162.

Ganteaume, Anne, Marielle Jappiot, et Corinne Lampin. 2013. « Assessing the flammability of surface fuels beneath ornamental vegetation in wildland-urban interfaces in Provence (South-Eastern France). » *International Journal of Wildland Fire*. doi : 10.1071/wf12006.

Ganteaume, Anne, et M. Long-Fournel. 2015. « Driving factors of fire density can spatially vary at the local scale in south-eastern France ». *International Journal of Wildland Fire*. doi : 10.1071/wf13209.

Garreau, Joel. 2011. *Edge city: Life on the new frontier*. Anchor.

Gibbons, Philip, Linda Van Bommel, A. Malcolm Gill, Geoffrey J. Cary, Don A. Driscoll, Ross A. Bradstock, Emma Knight, Max A. Moritz, Scott L. Stephens, et David B. Lindenmayer. 2012. « Land Management Practices Associated with House Loss in Wildfires » édité par R. H. Clarke. *PLoS ONE* 7(1) : e29212. doi : 10.1371/journal.pone.0029212.

Giudice, Liliana Del, Bachisio Arca, Carla Scarpa, Grazia Pellizzaro, Pierpaolo Duce, et Michele Salis. 2021. « The wildland-anthropic interface raster data of the Italy-France maritime cooperation area (Sardinia, Corsica, Tuscany, Liguria, and Provence-Alpes-Côte d'Azur). » *Data in Brief*. doi : 10.1016/j.dib.2021.107355.

Grishin, A. M., A. I. Filkov, E. L. Loboda, V. V. Reyno, A. V. Kozlov, V. T. Kuznetsov, D. P. Kasymov, S. M. Andreyuk, A. I. Ivanov, et N. D. Stolyarchuk. 2014. « A Field Experiment on Grass Fire Effects on Wooden Constructions and Peat Layer Ignition ». *International Journal of Wildland Fire* 23(3) : 445-49. doi : 10.1071/WF12069.

Guo, Yongxuan, Jianghao Wang, Yong Ge, et Chenghu Zhou. 2024. « Global Expansion of Wildland-Urban Interface Intensifies Human Exposure to Wildfire Risk in the 21st Century ». *Science Advances* 10(45) : eado9587. doi : 10.1126/sciadv.ado9587.

Haight, Robert G., David T. Cleland, Roger B. Hammer, Volker C. Radeloff, et T. Scott Rupp. 2004. « Assessing fire risk in the wildland-urban interface ». *Journal of Forestry*. doi : 10.1093/jof/102.7.41.

Hanberry, Brice B. 2020. « Reclassifying the wildland-urban interface using fire occurrences for the United States ». *Land*. doi : 10.3390/land9070225.

Hughes, Rachel, et David Mercer. 2009. « Planning to Reduce Risk: The Wildfire Management Overlay in Victoria, Australia ». *Geographical Research*. doi : 10.1111/j.1745-5871.2008.00556.x.

Janin, Claude, et Lauren Andres. 2008. « Les friches : espaces en marge ou marges de manœuvre pour l'aménagement des territoires ?: » *Annales de géographie* n° 663(5) : 62-81. doi : 10.3917/ag.663.0062.

Jenerette, G. Darrel, Kurt E. Anderson, Mary L. Cadenasso, Mark Fenn, Janet Franklin, Michael L. Goulden, Loralee Larios, Stephanie Pincetl, Helen M. Regan, Sergio J. Rey, Louis S. Santiago, et Alexandra D. Syphard. 2022. « An Expanded Framework for Wildland—Urban Interfaces and Their Management ». *Frontiers in Ecology and the Environment* 20(9) : 516-23. doi : 10.1002/fee.2533.

Johnson, Elizabeth A., et Michael W. Klemens. 2005. *Nature in fragments : the legacy of sprawl*. Columbia University Press.

Johnston, Lynn M., et Mike D. Flannigan. 2017. « Mapping Canadian wildland fire interface areas ». *International Journal of Wildland Fire*. doi : 10.1071/wf16221.

Knapp, Eric E., Yana Valachovic, Stephen L. Quarles, et Nels G. Johnson. 2021. « Housing arrangement and vegetation factors associated with single-family home survival in the 2018 Camp Fire, California ». *Fire Ecology*. doi : 10.1186/s42408-021-00117-0.

Kramer, H. Anu, Miranda H. Mockrin, Patricia M. Alexandre, Susan I. Stewart, et Volker C. Radeloff. 2018. « Where wildfires destroy buildings in the US relative to the wildland—urban interface and national fire outreach programs ». *International Journal of Wildland Fire*. doi : 10.1071/wf17135.

Kustov, Maksym, Oleg Fedoryaka, Viacheslav Kononovych, Batyr Khalmuradov, Pavlo Borodych, Tymur Kurtseitov, Anatolii Nikitin, Valentyn Romaniuk, Іван Мещеряков, et Julia Veretennikova. 2023. « Level of Fire Danger of the Local Territory ». *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* 2 (10 [122]) : 31-38. doi : 10.15587/1729-4061.2023.276653.

Lampin-Maillet, Corinne, C. Bouillon, M. Long-Fournel, D. Morge, et M. Jappiot. 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* 68.

Lampin-Maillet, Corinne, Marielle Jappiot, Marlène Long, Christophe Bouillon, Denis Morge, et Jean-Paul Ferrier. 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* 91(3) : 732-41. doi : 10.1016/j.jenvman.2009.10.001.

Lampin-Maillet, Corinne, Marielle Jappiot, Marlène Long, Denis Morge, et Jean-Paul Ferrier. 2009. « Characterization and mapping of dwelling types for forest fire prevention ». *Computers, Environment and Urban Systems*. doi : 10.1016/j.compenvurbsys.2008.07.003.

Lampin-Maillet, Corinne, M. Long-Fournel, Anne Ganteaume, Marielle Jappiot, et Jean-Paul Ferrier. 2011. « Land cover analysis in wildland—urban interfaces according to wildfire risk: A case study in the South of France ». *Forest Ecology and Management*. doi : 10.1016/j.foreco.2010.11.022.

Lampin-Maillet, Corinne, A. Mantzavelas, Laura Galiana, M. Jappiot, M. Long, Marlène Long, G. Herrero, Oskar Karlsson, A. Iossifina, L. Thalia, et P. Thanassis. 2010. « Wildland urban interfaces, fire behaviour and vulnerability: characterization, mapping and assessment ». *owards Integrated Fire Management - Outcomes of the European Project Fire Paradox*. https://hal.science/hal-00593577.

Le Fur, O., R. Savazzi, E. Maillé, B. Reymond, et L. Kizirian. 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)*.

Leone, Vittorio, Raffaella Lovreglio, M. Pilar Martín, J. Julio Camarero, Jesús I. Martínez, et Lara Vilar. 2009. « Human Factors of Fire Occurrence in the Mediterranean ». *Earth Observation of Wildland Fires in Mediterranean Ecosystems*. doi : 10.1007/978-3-642-01754-4_11.

Leray, Alexis, Béatrice Plottu, et Éric Plottu. 2024. « Les espaces délaissés comme jachères urbaines, préfiguration d'un nouveau modèle urbain ». *Revue d'Économie Régionale & Urbaine* Juin (3) : 401-401-20. doi : 10.3917/reru.243.0401.

Long-Fournel, Marlène, Denis MORGE, Christophe BOUILLON, et Marielle JAPPIOT. 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 ». doi : 10.14758/SET-REVUE.2013.HS.05.

Manzello, Samuel L., Kathleen Almand, Eric Guillaume, Stéphanie Vallerent, Stéphane Hameury, et Tuula Hakkarainen. 2018. « FORUM Position Paper : The Growing Global Wildland Urban Interface (WUI) Fire Dilemma: Priority Needs for Research ». *Fire Safety Journal* 100:64-66. doi : 10.1016/j.firesaf.2018.07.003.

Martín, Luis Galiana, Gema Herrero, et Jesus Solana. 2011. « A Wildland—Urban Interface Typology for Forest Fire Risk Management in Mediterranean Areas ». *Landscape Research*. doi : 10.1080/01426397.2010.549218.

McNamee, Margaret, Claude Pagnon Eriksson, Jonathan Wahlqvist, et Nils Johansson. 2022. « A Methodology for Assessing Wildfire Hazard in Sweden — The First Step towards a Multi-Hazard Assessment Method ». *International Journal of Disaster Risk Reduction* 83:103415. doi : 10.1016/j.ijdrr.2022.103415.

Mercer, D. Evan, et Wayne C. Zipperer. 2012. « Fire in the Wildland—Urban Interface ». *Urban-Rural Interfaces*. doi : 10.2136/2012.urban-rural.c16.

Modugno, Sirio, Heiko Balzter, Beth Cole, et Pasquale Borrelli. 2016. « Mapping Regional Patterns of Large Forest Fires in Wildland—Urban Interface Areas in Europe ». *Journal of Environmental Management* 172:112-26. doi : 10.1016/j.jenvman.2016.02.013.

Navarro-Carrión, José Tomás, Paul León-Cadena, et Alfredo Ramón-Morte. 2021. « Open data repositories and Geo Small Data for mapping the wildfire risk exposure in wildland urban interface (WUI) in Spain: A case study in the Valencian Region ». *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. doi : 10.1016/j.rsase.2021.100500.

Newnham, Glenn J., Anders S. Siggins, Raphaele M. Blanchi, Darius S. Culvenor, Justin E. Leonard, et John S. Mashford. 2012. « Exploiting Three Dimensional Vegetation Structure to Map Wildland Extent ». *Remote Sensing of Environment* 123:155-62. doi : 10.1016/j.rse.2012.02.026.

Palaiologou, Palaiologos, Kostas Kalabokidis, Michelle A. Day, Alan A. Ager, Spyros Galatsidas, et Lampros Papalampros. 2022. « Modelling Fire Behavior to Assess Community Exposure in Europe: Combining Open Data and Geospatial Analysis ». *ISPRS international journal of geo-information*. doi : 10.3390/ijgi11030198.

Parisien, Marc-André, Carol Miller, Sean A. Parks, Evan R. DeLancey, Louise Gallagher, François Robinne, François-Nicolas Robinne, et Mike D. Flannigan. 2016. « The spatially varying influence of humans on fire probability in North America ». *Environmental Research Letters*. doi : 10.1088/1748-9326/11/7/075005.

Pausas, Juli G., et Jon E. Keeley. 2021. « Wildfires and global change ». *Frontiers in Ecology and the Environment*. doi : 10.1002/fee.2359.

Planas, Eulàlia, Ronan Paugam, Alba Àgueda, Pascale Vacca, et Elsa Pastor. 2023. « Fires at the Wildland-Industrial Interface. Is There an Emerging Problem? » *Fire Safety Journal* 141:103906. doi : 10.1016/j.firesaf.2023.103906.

Platt, Rutherford V. 2010. « The Wildland-Urban Interface: Evaluating the Definition Effect ». *Journal of Forestry*. doi : 10.1093/jof/108.1.9.

Price, O. F., et R. A. Bradstock. 2013. « The Spatial Domain of Wildfire Risk and Response in the Wildland Urban Interface in Sydney, Australia ». *Natural Hazards and Earth System Sciences* 13(12) : 3385-93. doi : 10.5194/nhess-13-3385-2013.

Price, Owen, et Ross A. Bradstock. 2013. « Landscape scale influences of forest area and housing density on house loss in the 2009 Victorian bushfires ». *PLOS ONE*. doi : 10.1371/journal.pone.0073421.

Qian, Junxi, Shenjing He, et Darren Smith. 2025. « Rural-Urban Interfaces and Changing Forms of Relational and Planetary Rurality ». *Journal of Rural Studies* 116:103614. doi : 10.1016/j.jrurstud.2025.103614.

Radeloff, Volker C., Roger B. Hammer, Susan I. Stewart, Jeremy S. Fried, S. S. Holcomb, et J. F. McKeefry. 2005. « The wildland-urban interface in the United States ». *Ecological Applications* 15(3) : 799-805. doi : 10.1890/04-1413.

Radeloff, Volker C., David P. Helmers, H. Anu Kramer, Miranda H. Mockrin, Patricia M. Alexandre, Avi Bar-Massada, Van Butsic, Todd J. Hawbaker, Sebastián Martinuzzi, Alexandra D. Syphard, et Susan I. Stewart. 2018. « Rapid Growth of the US Wildland-Urban Interface Raises Wildfire Risk ». *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115(13) : 3314-19. doi : 10.1073/pnas.1718850115.

Radeloff, Volker C., Miranda H. Mockrin, David P. Helmers, Amanda R. Carlson, Todd J. Hawbaker, Sebastián Martinuzzi, Franz Schug, Patricia M. Alexandre, H. Anu Kramer, et Anna M. Pidgeon. 2023. « Rising Wildfire Risk to Houses in the United States, Especially in Grasslands and Shrublands ». *Science* 382(6671) : 702-7. doi : 10.1126/science.ade9223.

Radeloff, Volker C., Susan I. Stewart, Todd J. Hawbaker, Urs Gimmi, Anna M. Pidgeon, Curtis H. Flather, Roger B. Hammer, et David P. Helmers. 2010. « Housing growth in and near United States protected areas limits their conservation value. » *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 107(2):940-45. doi : 10.1073/pnas.0911131107.

Romano, Bernardino, Francesco Zullo, Lorena Fiorini, Serena Ciabò, et Alessandro Marucci. 2017. « Sprinkling: An Approach to Describe Urbanization Dynamics in Italy ». *Sustainability*. doi : 10.3390/su9010097.

Rossi, J. L., A. Simeoni, B. Moretti, et V. Leroy-Cancellieri. 2011. « An analytical model based on Radiative heating for the determination of safety distances for wildland fires ». *Fire Safety Journal* (46) : 520-27. doi : 10.1016/j.fire-saf.2011.07.007.

Safford, Hugh D., David A. Schmidt, et Chris H. Carlson. 2009. « Effects of Fuel Treatments on Fire Severity in an Area of Wildland—Urban Interface, Angora Fire, Lake Tahoe Basin, California ». *Forest Ecology and Management* 258(5) : 773-87. doi : 10.1016/j.foreco.2009.05.024.

Salis, Michele, Bachisio Arca, Liliana Del Giudice, Palaiologos Palaiologou, Fermín J. Alcasena-Urdiroz, Alan A. Ager, Michele Fiori, Grazia Pellizzaro, Carla Scarpa, Matilde Schirru, Andrea Ventura, Marcello Casula, et Pierpaolo Duce. 2021. « Application of simulation modeling for wildfire exposure and transmission assessment in Sardinia, Italy ». *International journal of disaster risk reduction*. doi : 10.1016/j.ijdrr.2021.102189.

San-Miguel-Ayanz, Jesús, Marcos Rodrígues, Sandra Oliveira, Claudia Kemper Pacheco, Francisco Moreira, Beatriz Duguy, et Andrea Camia. 2012. « Land Cover Change and Fire Regime in the European Mediterranean Region ». *Managing forest ecosystems*. doi : 10.1007/978-94-007-2208-8_2.

Scarpa, Carla, Mario Elia, Marina D'Este, Michele Salis, Marcos Rodrigues, Bachisio Arca, Pierpaolo Duce, Maria Antonella Francesca Fiori, et Grazia Pellizzaro. 2024. « Modelling Wildfire Activity in Wildland—Urban Interface (WUI) Areas of Sardinia, Italy ». *International Journal of Wildland Fire* 33(12). doi : 10.1071/WF24109.

Schug, Franz, Avi Bar-Massada, Amanda R. Carlson, Heather Cox, Todd J. Hawbaker, David Helmers, Patrick Hostert, Dominik Kaim, Neda K. Kasraee, Sebastián Martinuzzi, Miranda H. Mockrin, Kira A. Pfoch, et Volker C. Radeloff. 2023. « The Global Wildland—Urban Interface ». *Nature* 621(7977) : 94-99. doi : 10.1038/s41586-023-06320-0.

Sirca, Costantino, Franco Casula, Christophe Bouillon, Belén Fierro García, Monica Maria Fernández Ramiro, Beatriz Vila Molina, et Donatella Spano. 2017. « A wildfire risk oriented GIS tool for mapping Rural-Urban Interfaces ». *Environmental modelling & software* 94:36-47. doi : 10.1016/j.envsoft.2017.03.024.

Soja, E. W. 2000. *Postmetropolis: Critical Studies of Cities and Regions*. Wiley.

Solangaarachchi, Daminda, Amy L. Griffin, et Michael D. Doherty. 2012. « Social vulnerability in the context of bushfire risk at the urban-bush interface in Sydney: a case study of the Blue Mountains and Ku-ring-gai local council areas ». *Natural Hazards*. doi : 10.1007/s11069-012-0334-y.

Soto, Miguel E. Castillo, Juan R. Molina Martínez, Santiago Bonilla B, et Roberto A. Moreno García. 2022. « Calculating minimum safety distance against wildfires at the wildland-urban interface in Chile and Spain ». *Heliyon*. doi : 10.1016/j.heliyon.2022.e11238.

Stewart, Susan I., Volker C. Radeloff, Roger B. Hammer, et Todd J. Hawbaker. 2007. « Defining the Wildland-Urban Interface ». *Journal of Forestry*. doi : 10.1093/jof/105.4.201.

Syphard, Alexandra D., Teresa J. Brennan, et Jon E. Keeley. 2014. « The role of defensible space for residential structure protection during wildfires ». *International Journal of Wildland Fire*. doi : 10.1071/wf13158.

Syphard, Alexandra D., Jon E. Keeley, et Teresa J. Brennan. 2011. « Factors affecting fuel break effectiveness in the control of large fires on the Los Padres National Forest, California ». *International Journal of Wildland Fire*. doi : 10.1071/wf10065.

Syphard, Alexandra D., Jon E. Keeley, Mike Gough, Mitchell Lazarz, et John Rogan. 2022. « What Makes Wildfires Destructive in California? » *Fire* 5(5) : 133. doi : 10.3390/fire5050133.

Syphard, Alexandra D., Avi Bar Massada, Van Butsic, et Jon E. Keeley. 2013. « Land Use Planning and Wildfire: Development Policies Influence Future Probability of Housing Loss ». *PLOS ONE*. doi : 10.1371/journal.pone.0071708.

Taccaliti, Flavio, Raffaella Marzano, Tina L. Bell, et Emanuele Lingua. 2023. « Wildland—Urban Interface: Definition and Physical Fire Risk Mitigation Measures, a Systematic Review ». *Fire* 6(9) : 343-343. doi : 10.3390/fire6090343.

Thacker, Fiona E. Newman, Harm Bartholomeus, Martí Rosell Ibarz, Xiaoou Li, et Cathelijne R. Stoof. 2025. « Characterising Land Cover—Wildfire Interactions in Catalonia and Their Implications for Resilience ». *Fire Ecology* 21(1). doi : 10.1186/s42408-025-00372-5.

Theobald, David M., et William H. Romme. 2007. « Expansion of the US Wildland—Urban Interface ». *Landscape and Urban Planning* 83(4) : 340-54. doi : 10.1016/j.landurbplan.2007.06.002.

Thompson, Matthew P., Julie W. Gilbertson-Day, Jill R. Scott, et Joe H. Scott. 2016. « Integrating pixel- and polygon-based approaches to wildfire risk assessment: Application to a high-value watershed on the Pike and San Isabel National Forests, Colorado, USA ». *Environmental Modeling & Assessment*. doi : 10.1007/s10666-015-9469-z.

Tonini, Marj, Joana Parente, et Mário G. Pereira. 2018. « Global Assessment of Rural—Urban Interface in Portugal Related to Land Cover Changes ». *Natural Hazards and Earth System Sciences* 18(6) : 1647-64. doi : 10.5194/nhess-18-1647-2018.

Tsakaldimi, Marianthi, Petros Ganatsas, Nikolaos Oikonomakis, Elias Kouloukouras, et Thanasis Partozis. 2023. « Vegetation Analysis and Silvicultural Suggestions for Mitigating Fire Danger and Protecting Nature the Case of a Natura 2000 Site in Southern Greece ». *Revista de Gestão Social e Ambiental* 17(9) : e03515-e03515. doi : 10.24857/rgsa.v17n9-019.

Vilar, Lara, Andrea Camia, Jesús San-Miguel-Ayanz, et M. Pilar Martín. 2016. « Modeling temporal changes in human-caused wildfires in Mediterranean Europe based on Land Use-Land Cover interfaces ». *Forest Ecology and Management*. doi : 10.1016/j.foreco.2016.07.020.

Williams, C. Jason, Frederick B. Pierson, Peter R. Robichaud, et Jan Boll. 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*. doi : 10.1071/wf12161.

Zambon, Ilaria, Artemi Cerdà, Pavel Cudlín, Pere Serra, Silvia Pili, et Luca Salvati. 2019. « Road Network and the Spatial Distribution of Wildfires in the Valencian Community (1993—2015) ». *Agriculture*. doi : 10.3390/agriculture9050100.

Zambrano-Ballesteros, Andrea, Sabina Florina Nanu, José Tomás Navarro-Carrión, et Alfredo Ramón-Morte. 2021. « Methodological Proposal for Automated Detection of the Wildland—Urban Interface: Application to the Metropolitan Regions of Madrid and Barcelona ». *ISPRS international journal of geo-information*. doi : 10.3390/ijgi10060381.