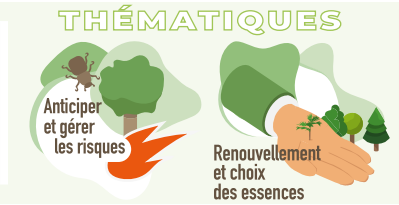
PROJET VULNEFEU

Exposition et vulnérabilité des peuplements forestiers au feu dans le contexte du changement climatique

RESUMÉ

Catégorie de l'appel d'offre : Appel à projets.
Coordination : M. François Pimont (INRAE URFM).
Durée : 18 mois (1 Sept. 2023 - 28 Fev. 2025).
Partenaires du projet : INRAe, ONF, DSF.
Montant de la subvention AFORCE : 40 618,04 €.



AFORCE

CONTEXTE ET OBJECTIFS DU PROJET

Le changement climatique va intensifier le risque d'incendies de forêts et d'espaces naturels dans les zones déjà exposées, et faire émerger ce risque dans de nouveaux territoires, y compris dans des territoires de montagne où le relief complique l'analyse du risque. Des peuplements historiquement peu ou pas exposés au feu seront ainsi plus fréquemment confrontés aux incendies, alors que leur vulnérabilité à cet aléa est mal connue des services opérationnels.

Les objectifs du projet sont :

- de mettre à disposition des gestionnaires et opérationnels les projections d'expansion de la zone à risque incendie de forêt ;
- de faire la synthèse des connaissances scientifiques et expertes en matière de vulnérabilité des essences ;
- de mieux appréhender le danger d'incendie en zone de montagne, notamment les variations liées aux gradients altitudinaux ;
- d'étudier les perspectives d'amélioration de la connaissance et leur diffusion.

PRINCIPAUX LIVRABLES ET PUBLICS CIBLES

Catégorie	Livrable	Description	Publics cibles
Rapport de stage (École Nationale de la Météorologie).	RIZZIATO T., 2024. Amélioration des indices climatiques utilisés pour la prévention des incendies de forêt en zone de montagne. >>>>	Indice de danger raffiné spatialement en montagne.	Gestionnaires et experts, chercheurs.
Rapport d'études	REVERTEGAT C. & al., 2025. Synthèse sur la vulnérabilité des peuplements forestiers au feu. >>>>	Synthèse portant sur la vulnérabilité des essences.	Agents de la R&D, conseillers forestiers / développement, gestionnaires et experts, enseignants et formateurs, services de l'état, chercheurs, pépiniéristes, propriétaires.

PARTENAIRES DU PROJET

INRAe

Office National des Forêts

Département de la santé des forêts

MODE D'EMPLOI

Indice Forêt Météo (IFM)

L'évaluation du risque en zone de montagne s'appuie largement sur la cartographie de l'Indice Forêt Météo (IFM), le plus souvent calculé avec des données météorologiques à une résolution « safran » de 8 km, trop grossière pour représenter le danger en zone de montagne, en particulier dans les zones présentant de forts gradients altitudinaux (Fig. 1).
Dans le projet Vulnéfeu, des techniques de réanalyse à partir du jeu de données SAFRAN SYMPOSIUM sont explorées au LESSEM pour améliorer la résolution spatiale des cartes et l'estimation du niveau de danger qui en découle pour les peuplements concernés.

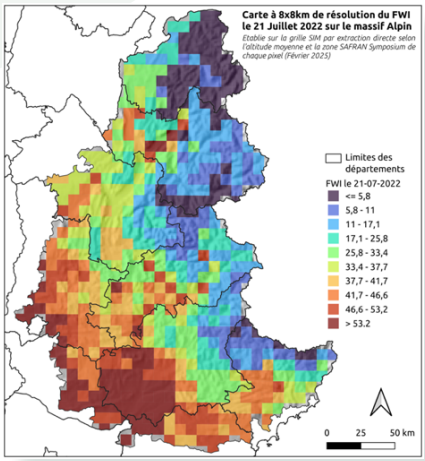


Figure 1 : Exemple d'illustration d'une métrique de danger (FWI/IFM) calculée avec une résolution SAFRAN basique de 8 km.

Projections climatiques d'occurrence des feux

Des projections climatiques d'occurrence des feux > 20 ha ont été réalisées à INRAE URFM pour anticiper les effets du changement climatique sur l'exposition des territoires pour le compte du Ministère en charge de l'Agriculture en 2023. Réalisées à partir du modèle probabiliste Firelihood, ajusté sur les feux passés, elles permettent d'anticiper l'évolution potentielle de l'activité des feux dans le futur. Cependant, ces analyses ont été conduites selon différents scénarios de réchauffement, ce qui rend la donnée complexe à exploiter pour les gestionnaires. Dans le projet Vulnéfeu, nous avons produit un scénario unique correspondant à la Trajectoire de réchauffement de référence pour l'adaptation au changement climatique (TRACC) qui doit accompagner l'adaptation de l'activité économique de la France au travers d'études de vulnérabilité (Fig. 2).

	2030	2050	2100
Monde *(pré-industriel)*	+ 1,5 °C	+ 2,0 °C	+ 3,0 °C
Fr-Hex *(pré-industriel)*	+ 2,0 °C	+ 2,7 °C	+ 4,0 °C
Fr-Hex *(ref 1976-2005)*	+ 1,4 °C	+ 2,1 °C	+ 3,4 °C

Tableau 2. Lignes 1 : *niveaux de réchauffement planétaire par rapport à la période pré-industrielle 1850–1900.* ***Lignes 2 et 3 :*** *niveaux de réchauffement correspondants sur la France hexagonale par rapport à la période pré-industrielle et 1976–2005.*

Figure 2 : Description de la TRACC. (Source Météo-France)

Vulnérabilité des peuplements

Par ailleurs, les connaissances en matière de vulnérabilité des peuplements aux incendies de forêt sont généralement dispersées dans de nombreuses études scientifiques ou techniques, portant parfois sur des études locales non généralisables. De plus, il existe également de la connaissance experte, au sein des différents métiers en rapport avec l'incendie. Il n'existe pas actuellement de synthèse de ces connaissances exploitables par les gestionnaires. Dans le projet, une CDD ingénieure, Camille Revertegat, a été recrutée pour synthétiser les connaissances disponibles pour 28 essences courantes et d'avenir (Fig. 3), à la fois dans la littérature (environ 350 documents consultés) et auprès des experts (au travers d'une enquête qui a mobilisé 28 experts).

Chêne sessile (Quercus petraea)
Chêne vert (Quercus ilex)
Chêne liège (Quercus suber)
Chêne pédonculé (Quercus robur)
Chêne pubescent (Quercus pubescens)
Chêne chevelu (Quercus cerris)
Chêne des Canaries (Quercus canariensis)
Chêne des Pyrénées (Quercus pyrenaica).
Châtaignier (Castanea sativa)
Hêtre (Fagus sylvatica)
Charme (Carpinus betulus)
Érable (Acer opalus)
Copalme d'Amérique (Liquidambar styraciflua)
Pin d'Alep (Pinus halepensis)
Pin de Turquie (Pinus brutia)
Pin pignon (Pinus pinea)
Pin noir (Pinus nigra)
Pin maritime (Pinus pinaster)
Pin sylvestre (Pinus sylvestris) .
Sapin de Douglas (Pseudotsuga menziesii)
Sapin blanc (Abies alba)
Cèdre (Cedrus atlantica)
Épicéa (Picea abies)
Sapin de Céphalonie (Abies cephalonica)
Mélèze (Larix decidua)
Séquoia (Sequoia sempervirens)
Calocèdre (Calocedrus decurrens)
Cyprès (Cupressus sempervirens)

Figure 3 : Essences sélectionnées pour l'étude de vulnérabilité au feu.

RÉSULTATS

Indice Forêt Météo (IFM)

En ce qui concerne l'IFM en montagne, les travaux menés ont permis d'aboutir à un premier produit très intéressant décrit dans le rapport de stage de Tom Rizziato (Rizziato T., 2024). Depuis, ces travaux ont été poursuivis et affinés grâce à financement de la DGPR du Ministère de la Transition Ecologique, ce qui a permis de lever un certain nombre de verrous résiduels de la méthode développée durant le stage (notamment des discontinuités en bordure des zones SYMPOSIUM). La carte ci-contre (Fig. 4) bénéficie également des apports méthodologiques obtenus après le stage de Tom Rizziato dans Vulnéfeu, sur financement du Ministère de la Transition Ecologique (DGPR 2024-2025).

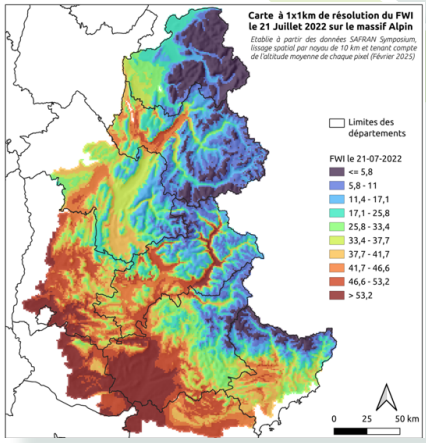


Figure 4 : Nouvelle carte d'IFM issue de l'approche développée au LESSEM (1 km de résolution).

Projections climatiques d'occurrence des feux

Les cartes issues des projections climatiques selon la TRACC du modèle Firelihood, permettent de cartographier l'évolution attendue des effets du changement climatique sur le nombre de feux de forêt > 20 ha en France métropolitaine (Fig. 5).

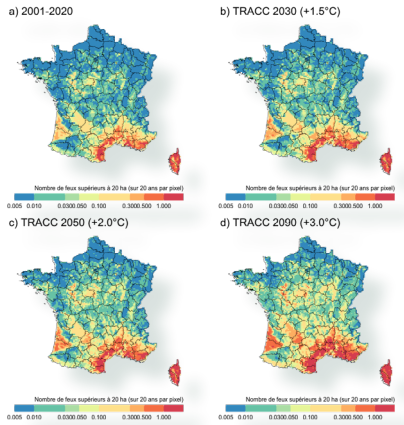


Figure 5 : Projections du nombre de feux supérieurs à 20 ha selon la TRACC, réalisé à partir du modèle Firelihood développé à l'URFM. Suite au rapport Pimont et al. (2023), les projections ont été réanalysées pour produire des sorties cartographiques correspondant à la TRACC (voir Fig. 2).

Vulnérabilité des peuplements

Les résultats du travail de synthèse sur la vulnérabilité font l'objet d'un rapport de 152 pages (REVERTEGAT C. & al., 2025) comprenant une description du contexte et des généralités (18 pages), les peuplements face aux feux (22 pages) et les connaissances en matière de sylviculture et de gestion préventive (10 pages). Le rapport est richement illustré par des figures originales et pédagogiques (Fig. 6).

Le rapport comprend également 28 fiches essences (Fig. 7), synthétisant la connaissance disponible. La vulnérabilité y est représentée par le vulnéscore, qui exprime la sensibilité de chaque essence selon les différentes facettes de la vulnérabilité (Combustibilité, Résistance et Résilience). Un indice de fiabilité a été donné pour chacune des notes, en fonction du nombre de références trouvées et du niveau de consensus au sein de la littérature, des experts interrogés et entre les deux. Des textes descriptifs mettent en évidence les différentes informations fournies par la littérature et les experts. Une deuxième partie de la fiche essence montre les caractéristiques structurelles, architecturales des essences et des peuplements, pouvant influencer leur vulnérabilité face au feu.

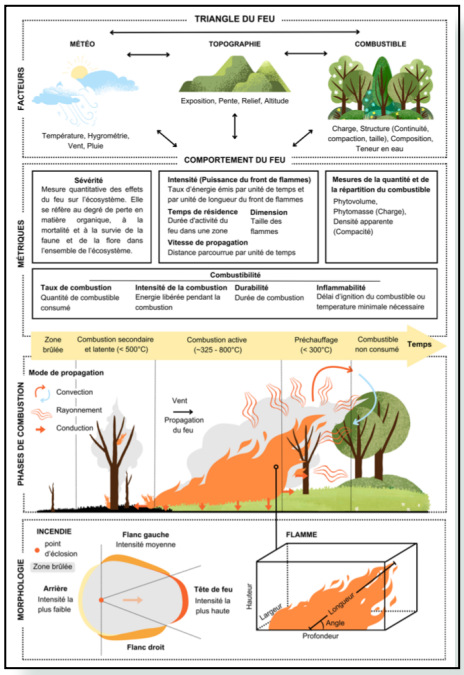


Figure 6 : Exemple d'illustration figurant dans le rapport.

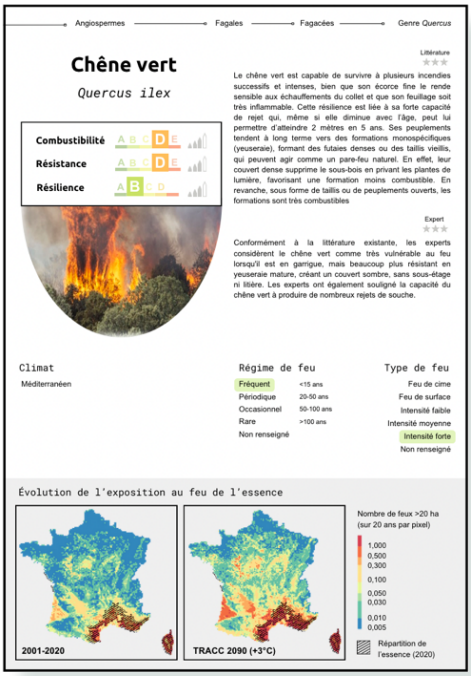
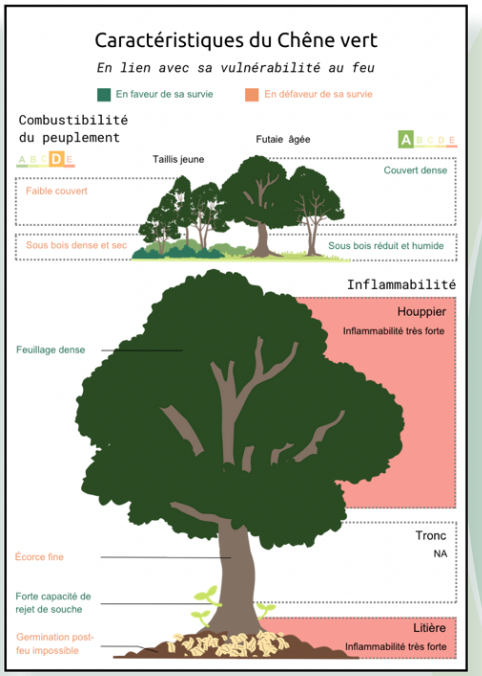


Figure 7 : Exemple de fiche essence.



PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS

Une section perspective conclut le rapport en six pages. On retiendra que la vulnérabilité au feu des différentes essences forestières résulte de trois critères distincts et complémentaires (combustibilité, résistance, résilience). Le projet a permis de synthétiser les connaissances pour 28 essences principales. Malgré les recherches approfondies menées durant le projet, les connaissances demeurent encore lacunaires pour certaines essences tempérées. Une autre limitation de l'approche est liée au fait que la vulnérabilité des peuplements ne dépend pas uniquement des essences qui les composent, mais aussi beaucoup des âges et structures de peuplements, qui peuvent fortement varier pour une même composition spécifique, selon le climat et l'historique de gestion. Ces facteurs seront explorés dans une thèse financée par l'ADEME qui débute à l'URFM et au LESSEM en 2025, menée par Camille Revertegat, sous la direction de Jean-Luc Dupuy. Pour aborder de manière plus globale les différents facteurs de la vulnérabilité des peuplements, il s'agira de valoriser l'ensemble des données disponibles (contours de feux, occupations des sols, LiDAR HD, mesure de sévérité satellitaire, etc), afin de mieux comprendre comment interagissent les différents facteurs de la vulnérabilité, en lien avec la gestion.
A plus court terme, les fiches essences devraient faire l'objet d'une diffusion sur le site de ClimEssences (fiche téléchargeable) et les contenus de ClimEssences seront enrichis par l'information disponible dans les fiches.

CONTACT

Le porteur de projet est M. François PIMONT. Ingénieur en Chef des Ponts, des Eaux et des Forêts, chef de l'équipe Physique et Ecologie du Feu à INRAe à Avignon, dans l'Unité Ecologie des Forêts Méditerranéennes (URFM).

Pour plus d'informations sur le projet, vous pouvez aussi contacter M. Eric RIGOLOT (Ingénieur de recherche), M. Jean-Luc DUPUY (Directeur de recherche), M. Julien RUFFAULT (Post Doctorant) et Mme Camille REVERTEGAT (Ingénieure Forestier) au sein de l' INRAe URFM, et M. Sylvain DUPIRE (Ingénieur de recherche) au sein de l'INRAE LESSEM.

Le projet a été mené avec la participation de plusieurs unités au sein d'INRAe (l'INRAe URFM, l'INRAe LESSEM, l'INRAe RECOVER et l'INRAe UR 1456 ETTIS), de l'Agence DFCI et du département RDI de l'ONF, ainsi qu'avec le DSF.

PLUS D'INFORMATIONS

Plus d'informations sont disponibles sur la page projet VULNEFEU du RMT AFORCE.

Références

[1] Pimont F, Dupuy JL, Ruffault J, Rigolot E, Opitz T, Legrand J, Barbero, R. Projections des effets du changement climatique sur l'activité des feux de forêt au 21ème siècle : Rapport final. INRAE. 2023. https://hal.inrae.fr/hal-041499362

[2] Revertegat C, Rigolot E, Dupuy J-L, Dupire S, Toutchkov M, Ruffault J, Deuffic P, Boutte B, Pimont F, 2025. Synthèse sur la vulnérabilité des peuplements forestiers. 152p. >>>>

[3] Rizziato T, 2024. Amélioration des indices climatiques utilisés pour la prévention des incendies de forêt en zone de montagne. Rapport de stage de fin d'études. 38p. >>>>

FINANCEURS DU PROJET

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE LA SOUVERAINETÉ ALIMENTAIRE
Liberté Égalité Fraternité

FRANCE BOIS FORÊT INTERPROFESSION NATIONALE

MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET DE LA COHÉSION DES TERRITOIRES
Liberté Égalité Fraternité