

Stage M2 / Ingénieur : Effet de la sévérité du feu sur la perte de services écosystémiques en forêt

Contexte

Les forêts méditerranéennes constituent un écosystème rare, à l'origine d'une forte diversité de services écosystémiques d'approvisionnement (bois, gibier, plantes à usage), de régulation (séquestration du carbone, atténuation de l'érosion, maintien de la fertilité du sol, régulation du microclimat) et culturels (valeur esthétique, activités récréatives). Avec les changements globaux, les écosystèmes forestiers expérimentent un bouleversement des conditions climatiques et des régimes de perturbations naturelles (Grünig et al. 2026; Senf and Seidl 2021). Dans l'arc méditerranéen, ces changements se traduisent notamment par un environnement de plus en plus aride et un contexte de plus en plus favorable aux incendies (Ruffault et al. 2020). Dans ce contexte, une meilleure compréhension de l'impact de perturbations telles que les incendies sur les services fournis par les écosystèmes forestiers est ainsi indispensable pour préserver la résilience et la multifonctionnalité des forêts méditerranéennes dans un contexte de changement climatique.

Les régimes de perturbations sont généralement caractérisés par trois dimensions : leur taille, leur fréquence et leur sévérité. La sévérité, qui se définit comme la perte de biomasse organique (aérienne et/ou souterraine) induite par le feu (Keeley 2009), est l'un des principaux facteurs caractérisant l'impact d'un incendie sur l'écosystème. En plus de l'effet immédiat sur la biomasse, une forte sévérité peut également affecter la capacité de résilience de l'écosystème (e.g. densité et composition de la régénération) (Fernández-García et al. 2019). Cependant, dans quelle mesure la sévérité, généralement mesurée à partir de la perte de biomasse aérienne, se traduit en termes d'impact sur les services fournis par l'ensemble des compartiments de l'écosystème forestier (sol, couverts herbacés, arbustifs et arborés), reste largement méconnu.

Dans le cas des services liés à la strate arborée (séquestration de carbone aérien, fourniture en bois), on peut logiquement s'attendre à une forte corrélation positive entre perte de biomasse aérienne et perte de services. Cependant, alors que les feux de cime, considérés comme les plus sévères, affectent relativement peu le sol (Zavala et al. 2014), la relation entre des métriques de sévérité basées principalement sur la biomasse arborée (e.g. CBI, dNBR) et la fourniture de services liés aux autres compartiments de l'écosystème (sol, flore de sous-bois) reste à déterminer. Dans le cas des services liés au sol (maintien de la fertilité du sol, séquestration du carbone, support de biodiversité, recyclage des nutriments), les effets du feu peuvent à la fois résulter de processus directs (combustion de la matière organique du sol, hausse de la température), et de processus indirects via des modifications du couvert végétal en surface. Des effets négatifs de la sévérité ont ainsi été documentés sur certaines communautés souterraines comme sur l'abondance et la diversité de champignons ectomycorhiziens (Salo and Kouki 2018) ou sur la biomasse microbienne (Fernández-García, Miesel, et al. 2019), tandis que des exemples d'effets positifs de la sévérité sur l'abondance florale (Mola and Williams 2018) ont été observés. Ces résultats suggèrent des réponses différentes à la sévérité entre les services liés au sol et à la flore de sous-bois (pollinisation, approvisionnement en plantes à usage), et soulignent l'intérêt de mener des études englobant l'ensemble des compartiments de l'écosystème.

Objectif et méthodologie envisagée

L'objectif de ce stage est d'apporter un premier éclairage sur l'effet de la sévérité du feu sur la fourniture d'une multitude de services écosystémiques d'approvisionnement (bois, plantes comestibles et médicinales), et de régulation (régulation du microclimat, atténuation de l'érosion, support de biodiversité, séquestration du carbone, maintien de la fertilité du sol, recyclage des nutriments). Nous explorerons en particulier l'hypothèse que les services associés à la strate arborée sont plus impactés à haute sévérité que les services liés au cortège floristique et au sol.

Pour cela, le/la stagiaire recruté.e s'appuiera sur un réseau d'un quarantaine de placettes dans le massif de Justin (Drôme), au sein du périmètre du feu ayant ravagé 4,200ha au sud de Die en Juillet 2026. Ces placettes ont été mises en place dans le cadre des suivis de sévérité du feu effectués par l'URFM (INRAE d'Avignon), et dans le cadre du projet PERSEVERE financé par le département ECODIV de l'INRAE, et couvrent un gradient de sévérité du feu (incluant des témoins non affectés par le feu). Une première campagne de terrain a permis de sélectionner les placettes à échantillonner et d'évaluer la sévérité à partir de la méthode du Composite Burn Index (CBI). Le/la stagiaire recruté.e aura pour mission de mener la campagne de terrain et d'analyses au printemps 2027, incluant :

- Prélèvement de 4 échantillons par placette de carottes de sol sur les 10 premiers centimètres et analyse en laboratoire de ces échantillons pour quantifier le stock de carbone, la fertilité et la biodiversité du sol.
- Des relevés floristiques exhaustifs (protocole Braun-Blanquet) sur une sous-placette de 10 m de rayon pour quantifier l'approvisionnement en plantes à usage, la biodiversité floristique et le service de pollinisation.
- Des relevés dendrométriques (hauteur, diamètre et essences de tous les arbres au dessus d'un diamètre seuil) pour quantifier la séquestration de carbone aérien et la fourniture en bois.
- Une expérimentation de décomposition des litières, mise en place cet automne, pour suivre le service de recyclage des nutriments en utilisant un substrat carboné standardisé dans les différentes placettes (i.e. litière standard de pin d'Alep).

Il s'agira ensuite de conduire des analyses statistiques pour tester l'effet de la sévérité du feu sur la fourniture des différents services écosystémiques cités.

Formations et compétences recherchées

Stage de niveau BAC+5 à pourvoir par un.e étudiant.e en sciences de l'environnement (M2 écologie ou école d'ingénieur agronome).

Compétences techniques attendues : connaissances théoriques en écologie, connaissances en botanique, maîtrise d'un langage de programmation (de préférence R ou Python), analyses statistiques.

Compétences transverses : attrait fort pour la recherche académique, autonomie et prises d'initiatives, attrait pour le travail de terrain, sens du travail en équipe, maîtrise de l'anglais pour la lecture d'articles scientifiques, capacité de rédaction.

Conditions d'accueil

Vous serez accueilli à l'INRAE au sein de l'UMR RECOVER, dans l'équipe EMR qui porte des travaux dans le domaine de l'écologie des forêts méditerranéennes, du risque incendie et des services écosystémiques. Vous serez co-encadré par Julien Barrere (UMR RECOVER), Julien Ruffault (URFM, INRAE Avignon) et Mathieu Santonja (IMBE, Marseille). L'INRAE est situé au Tholonet, à 25 min en bus ou à vélo de la ville d'Aix-en-Provence. Un déplacement d'une à deux semaine à Die est à prévoir pour le terrain, auquel s'ajouteront des sessions d'analyses en laboratoire à Marseille. La date de démarrage et la durée du stage sont flexibles (entre 5 et 6 mois, avec un démarrage entre Janvier et Mars selon les disponibilités).

Pour candidater, merci d'envoyer CV, lettre de motivation et éventuellement lettres de recommandation à Julien Barrere (julien.barrere@inrae.fr), Julien Ruffault (julien.ruffault@inrae.fr) et Mathieu Santonja (mathieu.santonja@imbe.fr). A noter que l'usage abusif de l'intelligence artificielle pour l'écriture de la lettre de motivation sera évalué et pris en compte dans la sélection des dossiers.

Bibliographie

Fernández-García, Víctor, Peter Z. Fulé, Elena Marcos, and Leonor Calvo. 2019. "The Role of Fire Frequency and Severity on the Regeneration of Mediterranean Serotinous Pines under Different Environmental Conditions." *Forest Ecology and Management* 444 (July): 59–68. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.04.040>.

Fernández-García, Víctor, Jessica Miesel, M. Jaime Baeza, Elena Marcos, and Leonor Calvo. 2019. "Wildfire Effects on Soil Properties in Fire-Prone Pine Ecosystems: Indicators of Burn Severity Legacy over the Medium Term after Fire." *Applied Soil Ecology* 135 (March): 147–56. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.12.002>.

Grünig, Marc, Werner Rammer, Cornelius Senf, et al. 2026. "Climate Change Will Increase Forest Disturbances in Europe throughout the 21st Century." *Science* 391 (6789): eadx6329. <https://doi.org/10.1126/science.adx6329>.

Keeley, Jon E. 2009. "Fire Intensity, Fire Severity and Burn Severity: A Brief Review and Suggested Usage." *International Journal of Wildland Fire* 18 (1): 116–26. <https://doi.org/10.1071/WF07049>.

Mola, John M., and Neal M. Williams. 2018. "Fire-Induced Change in Floral Abundance, Density, and Phenology Benefits Bumble Bee Foragers." *Ecosphere* 9 (1): e02056. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2056>.

Ruffault, Julien, Thomas Curt, Vincent Moron, et al. 2020. "Increased Likelihood of Heat-Induced Large Wildfires in the Mediterranean Basin." *Scientific Reports* 10 (1): 13790. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70069-z>.

Salo, Kauko, and Jari Kouki. 2018. "Severity of Forest Wildfire Had a Major Influence on Early Successional Ectomycorrhizal Macrofungi Assemblages, Including Edible Mushrooms." *Forest Ecology and Management* 415–416 (May): 70–84. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.12.044>.

Senf, Cornelius, and Rupert Seidl. 2021. "Storm and Fire Disturbances in Europe: Distribution and Trends." *Global Change Biology* 27 (15): 3605–19. <https://doi.org/10.1111/gcb.15679>.

Zavala, Lorena M., Reyes de Celis, and Antonio Jordán. 2014. "How Wildfires Affect Soil Properties. A Brief Review." Cuadernos de Investigación Geográfica: Geographical Research Letters. *Cuadernos de Investigación Geográfica: Geographical Research Letters* 40 (2): 311–31. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4847440>.