

Sujet proposé : **Evaluation de la résilience des peuplements et des services écosystémiques associés au changement de régime de feu en fonction de la stratégie d'adaptation au feu des espèces**

Contexte

Dans les forêts européennes, les régimes de perturbations évoluent également, avec une augmentation des incendies, des tempêtes et des épidémies d'insectes (Patacca et al. 2022). L'augmentation de la fréquence et de l'intensité des perturbations, notamment les feux, met en danger la résilience des forêts et leur aptitude à maintenir les fonctions écosystémiques (Lecina-Díaz et al. 2021). La diversité fonctionnelle des traits de régénération (tolérance au feu, résistance, capacité de rejets) influence plus fortement la récupération de la productivité après un incendie, les facteurs topographiques (pente, altitude, exposition) modifiant la récupération de la productivité via leur impact sur le microclimat (Spasojevic et al. 2016). La récupération des écosystèmes dépend donc en grande partie de la stratégie d'adaptation des espèces au feu (i.e. à un régime de feu donné ; Keeley et al. 2011) dans la mesure où le changement de régime de feu n'entraîne pas le dépassement de la capacité de tolérance ou de résistance des espèces (Pausas and Keeley 2014; Pausas 2015 ; Fernández-García et al. 2019). En effet, les espèces tolérantes au feu, se régénérant par graines après le feu (e.g. *Pinus halepensis*, *P. canariensis*) ou rejetant (e.g. chênes, eucalyptus) ne sont pas impactés par des événements de forte intensité à partir du moment où l'intervalle entre les feux permet la maturation des peuplements (e.g. Arévalo et al 2014). Cependant, une fréquence accrue des incendies et donc une réduction de l'intervalle entre incendies est susceptible de réduire significativement la capacité de résilience des écosystèmes forestiers, avec des effets variables selon les stratégies fonctionnelles des espèces. Les forêts de chênes qui rejettent montrent une plus grande résilience initiale, mais une diminution plus marquée après un second feu comparé aux forêts de pins (Díaz Delgado et al 2002). Le régime actuel des incendies menace également la survie des espèces résistantes comme le pin noir dans le bassin méditerranéen, nécessitant des traitements de combustible à grande échelle (Fernandes et al. 2012). La récurrence élevée des incendies représente également une menace pour de nombreux services écosystémiques (SE). Si la grande majorité des services écosystémiques ont tendance à être négativement impactés par les incendies, la séquestration du carbone, la régulation des perturbations, la mitigation de l'érosion et la valeur esthétique des peuplements semblent particulièrement affectées par la récurrence des incendies (Pereira et al. 2021, Taboada et al. 2021, Moghli et al 2022). Dans quelle mesure cet impact varie en fonction de la récurrence des feux et de la stratégie d'adaptation des espèces reste cependant largement à déterminer. De récents travaux théoriques suggèrent que dans les écosystèmes dominés par les semenciers, les SE se rétablissent progressivement pour retrouver 90 % de leur capacité après un incendie de forte intensité, contrairement aux systèmes dominés par les espèces rejetant après incendie qui se rétablissent plus rapidement pour le même type de perturbation (Roche et al. 2024). Ces tendances restent cependant à valider à l'aide de données empiriques. Cette thèse propose ainsi d'investiguer dans quelle mesure la récurrence des feux et la stratégie d'adaptation au feu des espèces dominantes affecte la dynamique de résilience des peuplements méditerranéens à la fois en terme de démographie et au niveau des services écosystémiques rendus.

Hypothèses principales

1. La résilience en terme de densité d'arbre, de croissance en hauteur du peuplement, et de services écosystémiques est plus rapide chez les espèces à régénération végétative et plus lente chez les espèces résistantes.

2. Quelle que soit la stratégie d'adaptation au feu, la résilience tend à diminuer lorsque la récurrence des feux est plus importante que le temps depuis le dernier feu.

Etapes de travail envisagées et objectifs

Le travail proposé se basera principalement sur la base de données des feux géoréférencés de l'ONF.

On priorisera les étapes suivantes :

1. Estimer la résilience en terme de hauteur du peuplement pour l'ensemble des feux géoréférencés en comparant la base de données aux hauteurs estimées grâce au Lidar HD de l'IGN. Des comparaisons avec les données IFN qui incluent l'âge et la hauteur des peuplements échantillonnés seront aussi envisagées pour voir comment se positionne la dynamique post-incendie par rapport à une dynamique non perturbée. L'influence du climat, de la topographie, du type de forêt (feuillu / conifère a/ mixte) sur la vitesse de résilience serait aussi testée.
2. Estimer la résilience des peuplements dominés par des espèces exploitant trois stratégies d'adaptation au feu différentes (tolérance par régénération post-incendie par graines, tolérance par régénération post-incendie végétative par rejets, et résistance au feu). Il s'agira d'aller échantillonner sur le terrain des placettes ciblées de la base de données de l'ONF en mesurant une plus grande variété de métriques pour décrire de manière plus globale l'écosystème forestier et la dynamique de résilience (e.g. en terme de composition du peuplement, de la régénération, en composition floristique, et en services écosystémiques), en comparant des placettes brûlées et non brûlées dans la même zone. Pour une même stratégie, le plan d'échantillonnage nécessitera la prise en compte de la la récurrence des feux (un feu vs deux ou plus) ainsi que de la date du dernier feu (a priori 3 dates : 5 ans, 15/15 ans et 40/50 ans).
3. Un dernier axe de travail serait d'évaluer dans quelle mesure le changement climatique va affecter la capacité de résilience des peuplements aux incendies. Pour cela, il s'agira de construire une expérience de modélisation simulant la dynamique de peuplements aux trois stratégies d'adaptation suite à un incendie jusqu'à un horizon 2100 sous différents scénarios de changement climatique. Une collaboration avec le CREAIF en Catalogne sera envisagé pour cet axe, en s'appuyant sur le modèle Medfate (De Cáceres et al. 2023), qui permet de simuler la dynamique des peuplements méditerranéens et des services écosystémiques associés.

Références

Arévalo J.R., Fernández-Lugo S., Naranjo-Cigala,A., Salas M., Ruíz R., Ramos R., Moreno M. (2014) Post-fire recovery of an endemic Canarian pine forest. *International Journal of Wildland Fire* 23: 403-409.

Cerioni M., Brabec M., Bače R., Bādgers E., et al. (2024) Recovery and resilience of European temperate forests after large and severe disturbances. *Global Change Biology*, [30\(2\)](#) : e17159

De Cáceres M., Molowny-Horas R., Cabon A., Martínez-Vilalta J., Mencuccini M., García-Valdés R., Nadal-Sala D., et al. (2023) MEDFATE 2.9.3: A Trait-Enabled Model to Simulate Mediterranean Forest Function and Dynamics at Regional Scales . *Geoscientific Model Development* 16, no 11 : 3165-3201. <https://doi.org/10.5194/gmd-16-3165-2023>.

Díaz-Delgado R., Lloret F., Pons X., Terradas J. (2002) Satellite evidence of decreasing resilience in Mediterranean plan communities after recurrent wildfires. *Ecology* 83: 2293–2303.

Fernández-García V., Fulé P.Z., Marcos E., Calvo L. (2019) The role of fire frequency and severity on the regeneration of Mediterranean serotinous pines under different environmental conditions. *Forest Ecology and Management* 444:59–68. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.04.040>

Keeley J.E., Pausas J.G., Rundel P.W., Bond W.J., Bradstock R.A. (2011) Fire as an evolutionary pressure shaping plant traits. *Trends in Plant Science* 16: 406–411.

Lecina-Diaz J., Martínez-Vilalta J., Alvarez A., Vayreda J., Retana J. (2021) Assessing the Risk of Losing Forest Ecosystem Services Due to Wildfires. *Ecosystems* 24, no 7 : 1687-1701. <https://doi.org/10.1007/s10021-021-00611-1>.

Moghli A., Santana V.M., Baeza M.J., Pastor E., Soliveres S. (2022) Fire recurrence and time since last fire interact to determine the supply of multiple ecosystem services by Mediterranean forests. *Ecosystems*, 25 : 1358-1370

Patacca M., Lindner M., Lucas-Borja M.E., Cordonnier T., Fidej G., Gardiner B., Hauf Y., et al. (2022) Significant increase in natural disturbance impacts on European forests since 1950. *Global Change Biology*. <https://doi.org/10.1111/gcb.16531>.

Pausas J.G. (2015) Evolutionary fire ecology: lessons learned from pines. *Trends in Plant Science* 20:318–324. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2015.03.001>

Pausas J.G., Keeley J.E. (2014) Abrupt climate-independent fire regime changes. *Ecosystems* 17(6):1109-1120. doi:10.1007/s10021-014-9773-5.

Pereira P., Bogunovic I., Zhao W., Barcelo D. (2021) Short-Term Effect of Wildfires and Prescribed Fires on Ecosystem Services. *Current Opinion in Environmental Science & Health* 22 : 100266. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100266>.

Roche P.K., Campagne C.S., Ganteaume A. (2024) Post-fire Recovery Dynamics and Resilience of Ecosystem Services Capacity in Mediterranean-Type Ecosystems. *Ecosystems* 27: 833–847 <https://doi.org/10.1007/s10021-024-00924-x>.

Spasojevic M., Bahlai C.A., Bradley B.A. , Butterfield B.J. , Tuanmu M.N. , Sistla S. , RUSCENA Wiederholt R., Suding K.N . (2016) Scaling up the diversity–resilience relationship with trait databases and remote sensing data: the recovery of productivity after wildfire *Global Change Biology* 22 : 1421–1432, doi: 10.1111/gcb.13174

Taboada, Angela, Paula García-Llamas, José Manuel Fernández-Guisuraga, et Leonor Calvo. « Wildfires impact on ecosystem service delivery in fire-prone maritime pine-dominated forests ». *Ecosystem Services* 50 (2021): 101334. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101334>.

Formation :

Diplôme de M2 en écologie ou école d'ingénieur dans le domaine des sciences de l'environnement.

Principales compétences attendues ou à développer :

- Ecologie végétale et/ou écologie du feu
- Utilisation des SIG (ArcGis, QGis)
- Dynamique de population
- Programmation : maîtrise a minima d'un langage informatique (de préférence R ou Python)
- Analyses statistiques

- Communication écrite et orale en anglais et idéalement en français (la thèse reste ouverte aux candidats étrangers non francophones)
- Une connaissance du milieu méditerranéen serait appréciée

Aptitudes recherchées :

- Motivation pour le travail de terrain
- Autonomie et prise d'initiative

Établissement d'accueil :

Nom du laboratoire d'accueil : INRAE UMR Aix-Marseille Université RECOVER.

Nom des tuteur.trice.s :

Anne GANTEAUME (anne.ganteaume@inrae.fr)

Julien BARRERE (julien.barrere@inrae.fr)

Financement de la thèse de doctorat:

100% acquis dans le cadre du programme européen INTERREG VI A Italie-France "Maritime" 2021-2027). La thèse pourra démarrer en septembre-octobre 2025.