

Monitoring spatial et déterminisme environnemental du dépérissement des résineux tempérés Français

Etablissement : institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement (AgroParisTech)

Ecole doctorale : SIRENa - SCIENCE ET INGENIERIE DES RESSOURCES NATURELLES

Doctorat : Doctorat de l'Institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement (Agro Paris Tech)

Spécialité : Biologie et écologie des forêts et des agrosystèmes

jeudi 19 mars 2026 à 9h00

AgroParisTech , Amphithéâtre A, 14 rue Girardet, Nancy (54)

Salle : Amphithéâtre A

Composition du jury proposé

M. David SHEEREN	Professeur	INP-AgroToulouse	Rapporteur
M. Jérôme OGÉE	Directeur de recherche	INRAE (centre de Bordeaux-Aquitaine)	Rapporteur
Mme Cécile VINCENT BARBAROUX	Maîtresse de conférences	Université d'Orléans	Examinatrice
Mme Meriem FOURNIER	IGPEF	AgroParisTech	Examinatrice
M. Hugues CLAESSENS	Professor	Université de Liège	Examineur

Mots-clés : foresterie, télédétection, écologie forestière

Keywords: forestry, remote sensing, Forest ecology

Résumé :

Les résineux des forêts tempérées d'Europe fournissent d'importants services écosystémiques, menacés par la hausse des dépérissements constatée depuis une décennie, dont une part importante est attribuée aux modifications climatiques récentes. Les dispositifs de suivi actuels basés sur des inventaires de terrain sont limités pour fournir une vision d'ensemble de l'ampleur et de la dynamique du dépérissement. De plus, peu d'études quantifient le risque associé aux conditions climatiques, et en particulier l'importance des événements climatiques extrêmes. Cette thèse a pour objectif d'évaluer et d'optimiser le suivi des dépérissements forestiers à l'aide de séries temporelles d'images satellites, et d'étudier les facteurs climatiques extrêmes à l'origine de dépérissements, chez trois espèces de conifères tempérés : le sapin pectiné, l'épicéa commun et le pin sylvestre. Dans un premier temps, nous avons évalué la capacité de la méthode liée à la chaîne de traitement FORDEAD élaborée au sein de l'UMR TETIS, à détecter un gradient continu de dépérissement. Nous avons analysé à l'échelle de la France entière les anomalies spectrales de différents indices spectraux à partir d'une série temporelle d'images Sentinel-2 (2016-2023) Nous avons utilisé pour cela 1.691 placettes de terrain collectées en montagne par l'Institut Géographique National (IGN) (2018-2023), et décrivant le dépérissement des trois essences étudiées. Nous avons constaté des différences selon l'essence en ce qui concerne les performances, le choix de l'indice spectral, et la capacité à détecter le dépérissement en mélange et à des stades précoces. Nos travaux montrent le potentiel et les limites de l'analyse des séries

temporelles satellitaires pour la surveillance du dépérissement des conifères tempérés. Des difficultés de détection des peuplements dépérissant sont cependant rencontrées pour les peuplements mélangés et les faibles taux de dépérissement. Ces résultats soulignent l'importance de développer des méthodes spécifiques à chaque espèce pour le suivi du dépérissement à large échelle. Dans un second temps, nous avons quantifié l'apport d'une approche combinant de multiples indices dans la détection du dépérissement à l'aide de séries temporelles, par rapport à une approche basée sur un unique indice spectral couramment pratiquée. Enfin, nous avons modélisé le dépérissement observé sur les placettes de l'IGN à l'aide des caractéristiques dendrométriques des peuplements et d'extrêmes climatiques. Nous avons utilisé 19,056 observations d'arbres relevés entre 2018 et 2023 sur l'ensemble du territoire français et inclus des facteurs climatiques d'événements extrêmes de sec, chaud et froid calculés à l'aide de l'outil Climact de l'Organisation météorologique mondiale (OMM), à partir des données de SAFRAN de Météo France. Nous avons mis en évidence que les facteurs climatiques relatifs au froid expliquent une part élevée de la variabilité de mortalité, avec un effet principalement bénéfique, dû à une limitation probable des populations de pathogènes par les froids extrêmes. Nos résultats soulignent la nécessité d'accorder davantage d'attention à la diminution des extrêmes climatiques de froid extrême, qui pourrait devenir un facteur majeur de mortalité des arbres. Ces résultats permettent une amélioration de nos connaissances à la fois sur le potentiel des approches satellitaire pour la détection du dépérissement et sur la compréhension de l'influence des événements climatiques extrêmes dont l'amélioration conjointe est essentielle pour mieux anticiper les effets des changements climatiques sur les forêts françaises.

Abstract:

Temperate conifer forests in Europe provide critical ecosystem services, yet these are increasingly threatened by a rise in forest decline observed over the past decade, much of which is attributed to recent climate change. Current monitoring schemes based on field inventories remain limited in their ability to capture the broad-scale extent and dynamics of decline. Moreover, few studies quantify the risks associated with climatic conditions, in particular the role of extreme climate events. This dissertation aims to assess and improve the monitoring of forest decline using satellite image time series, and to investigate the extreme climatic drivers of decline in three temperate conifer species: silver fir, Norway spruce, and Scots pine. First, we evaluated the ability of the FORDEAD processing chain developed at UMR TETIS to detect a continuous gradient of decline. Using a nationwide Sentinel-2 time series (2016–2023), we analysed spectral anomalies across multiple vegetation indices, relying on 1,691 field plots surveyed in mountain areas by the French National Geographic Institute (IGN) between 2018 and 2023, documenting decline in the three species. We found species-specific differences in performance, in the optimal spectral index, and in the ability to detect decline in mixed stands and at early stages. Our results highlight both the potential and the limitations of satellite time-series analysis for monitoring decline in temperate conifers. Detection challenges remain for mixed stands and for low levels of decline, underscoring the need for species-specific approaches for large-scale monitoring. We then quantified the added value of combining multiple indices for decline detection relative to the more common single-index approach. Finally, we modelled decline observed in the IGN plots as a function of stand dendrometric attributes and extreme climatic conditions. We used 19,056 tree-level observations collected between 2018 and 2023 across France, and incorporated climate extremes related to dryness, heat, and cold derived with the WMO Climact tool from SAFRAN data (Météo-France). We found that cold-related climatic factors explained a substantial share of mortality variability, with a predominantly beneficial effect likely due to the limiting action of extreme cold on pathogen populations. These findings highlight the need to pay closer attention to the ongoing reduction in extreme cold events, which may emerge as a major driver of tree mortality. Overall, this work advances our understanding of both the potential of satellite-based approaches for detecting forest decline and the influence of extreme climatic events—two complementary aspects that are essential for anticipating climate-change impacts on French forests.