

Projet de thèse 2024-2027 / PhD thesis project 2024-2027

à / at CNRM, Université de Toulouse, Météo-France, CNRS, Toulouse, France

Jean-Christophe Calvet (jean-christophe.calvet@meteo.fr), Bertrand Bonan (bertrand.bonan@meteo.fr) (CNRM, Toulouse), Josiane Mothe (josiane.mothe@irit.fr) (IRIT, Toulouse)

INTELLIGENCE ARTIFICIELLE POUR LE SUIVI ET LA PRÉVISION DES RISQUES DE FEUX ET DE LEUR IMPACT ÉCOLOGIQUE

Dans un contexte de réchauffement global et accéléré, les événements extrêmes se multiplient. L'évolution des conditions de températures et de sécheresse favorise le développement des feux de forêt et de végétation autour du Bassin Méditerranéen et plus largement en France. Les modèles actuels du danger météorologique de feux ne prennent pas en compte l'aléa humain et les facteurs explicatifs des feux de végétation ne sont actuellement modélisés que de manière empirique. L'objectif de cette thèse est d'introduire de nouvelles méthodes de prévision plus précises, faisant intervenir l'observation de la Terre et les techniques d'apprentissage automatique. On évaluera l'apport de l'apprentissage automatique et sa complémentarité avec les approches de modélisation classiques. On évaluera quelles sont les observations les plus pertinentes pour améliorer le suivi et la prévision du risque, pour divers types de paysages (forêts, cultures, zones naturelles protégées). Appliquées à l'Occitanie et à la France métropolitaine, les méthodes seront également validées à l'échelle mondiale. Dans un premier temps, les données jugées nécessaires (in situ, satellitaires, atmosphériques, ...) seront rassemblées et prétraitées. Des modèles seront construits afin de répondre aux questions de recherche de la thèse. Ils seront spatialisés et validés sur l'Occitanie, la France métropolitaine, et l'échelle mondiale. Le travail de thèse impliquera l'analyse de données d'observations (in situ et satellitaires) et de sorties de modèles. Une bonne connaissance est requise des techniques de traitement et analyse de données, d'apprentissage automatique, et de codage informatique (Python, Fortran), ainsi qu'une connaissance de la modélisation des surfaces terrestres. Des compétences en communication écrite et orale sont également indispensables.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR MONITORING AND FORECASTING FIRE RISKS AND THEIR ECOLOGICAL IMPACT

In the context of accelerating global warming, extreme events are increasing. Changes in temperature and drought conditions favor the development of forest and vegetation fires around the Mediterranean basin and, more generally, in France. Current meteorological fire hazard models do not take into account the human hazard and the explanatory factors of vegetation fires are currently only empirically modeled. The aim of this thesis is to introduce new, more accurate forecasting methods by integrating earth observation and machine learning techniques. The contribution of machine learning and its complementarity with traditional modeling approaches will be evaluated. We will evaluate which observations are most relevant to improve risk monitoring and forecasting for different types of landscapes (forests, crops, protected natural areas). Applied to Occitanie and mainland France, the methods will also be validated on a global scale. First, the data deemed necessary (in situ, satellite, atmospheric, etc.) will be collected and pre-processed. Models will be built to answer the research questions of the thesis. They will be spatialized and validated over Occitanie, metropolitan France and the global scale. The thesis work will involve the analysis of observational data (in situ and satellite) and model outputs. Good knowledge of data processing and analysis techniques, machine learning and computer coding (Python, Fortran) is required, as well as knowledge of land surface modeling. Written and oral communication skills are also essential.

Objectifs

Météo-France apporte, dans le cadre de sa mission de sécurité des personnes et des biens, un soutien opérationnel aux acteurs de la lutte contre les feux et à la direction générale de la sécurité civile et de la gestion des crises. Ces actions font l'objet d'améliorations continues sur les diagnostics et modélisations utilisées sur le danger météorologique de feux de végétation. Ce projet va favoriser le développement d'un volet recherche associé à ce service, en introduisant de nouvelles méthodes de prévision du risque de feux de végétation ainsi qu'une précision géographique renforcée. Outre l'Occitanie et la France métropolitaine, le projet comportera un volet mondial, afin de valider les méthodes dans des situations climatiques et géographiques contrastées.

Méthode

De nombreuses données externes peuvent être intégrées dans des modèles de suivi du risque de feux, comme des données d'observation de la Terre. Les approches d'apprentissage profond permettent un traitement plus efficace de ces données. Aujourd'hui, ces approches reposant sur des données satellitaires restent déconnectées des autres modèles utilisant les prévisions météorologiques. Ces deux types d'approches ont aussi pour inconvénient de ne prendre aucune donnée provenant de modèles numériques des surfaces continentales. Or plusieurs variables fournies par ces modèles (contenu en eau du sol à diverses profondeurs, biomasse sèche en surface, ...) ont un lien direct avec les facteurs explicatifs des feux de végétation, qui ne sont actuellement modélisés que de manière empirique. Ces données de surface modélisées forment un ensemble riche à exploiter dans un tel contexte. Leur association avec des données d'observation de la Terre pourrait améliorer les modèles de suivi du risque de feux. Météo-France développe un modèle des surfaces terrestres, ISBA (Interactions Sol, Biosphère, Atmosphère), utilisé dans diverses applications (conditions de surface pour la prévision numérique du temps et la modélisation du climat futur, simulation des ressources en eau en France). Un système d'assimilation de données satellitaires, LDAS-Monde (Land Data Assimilation System pouvant être utilisé sur toute région du monde), permet de corriger les simulations du modèle ISBA en intégrant des données satellitaires liées aux variables simulées par ISBA (par exemple le LAI, Leaf Area Index). Des études ont montré l'intérêt de l'approche LDAS pour le suivi de la végétation, des sécheresses, et de leur prévision. Voir par exemple Albergel et al. 2019 pour le cas de la vague de chaleur de 2018. Des travaux ont montré que l'IA rend possible la construction d'opérateurs d'observation pour l'assimilation de nouvelles données satellitaires dans le modèle ISBA (Corchia et al. 2023). Le système LDAS contribue à une meilleure connaissance de l'évolution des conditions de surfaces, déterminantes pour les risques non seulement des feux de forêts mais aussi des feux de végétation agricole. Ce système et les sorties modèles associées ne sont, pour le moment, pas exploitées dans de tels contextes.

Objectives

As part of its mission to ensure the safety of people and property, Météo-France provides operational support to fire-fighters and to the French directorate general for civil protection and crisis management. These actions are the subject of ongoing improvements to the diagnostics and modelling used to assess the meteorological danger of vegetation fires. This project will encourage the development of a research component associated with this service, by introducing new methods for forecasting the risk of wildfire, as well as greater geographical precision. In addition to Occitanie and mainland France, the project will include a global component, to validate the methods in contrasting climatic and geographical situations.

Method

A wide range of external data can be integrated into fire risk monitoring models, such as Earth observation data. Deep learning approaches enable these data to be processed more efficiently. Today, these approaches based on satellite data remain disconnected from other models using weather forecasts. Another disadvantage of these two types of approach is that they do not take any data from numerical models of continental surfaces. Yet several variables provided by these models (soil water content at various depths, surface dry biomass, etc.) have a direct link with the factors explaining wildfire, which are currently only modelled empirically. These modelled surface data form a rich set to be exploited in such a context. Combining them with Earth observation data could improve fire risk monitoring models. Météo-France is developing a land surface model, ISBA (Interactions Soil, Biosphere, Atmosphere), used in various applications (surface conditions for numerical weather forecasting and future climate modeling, simulation of water resources in France). A satellite data assimilation system, LDAS-Monde (Land Data Assimilation System which can be used over any region of the world), enables ISBA model simulations to be corrected by integrating satellite data linked to the variables simulated by ISBA (e.g. LAI, Leaf Area Index). Studies have shown the value of the LDAS approach for monitoring vegetation, droughts and their forecasting. See for example Albergel et al. 2019 for the case of the 2018 heat wave. Work has shown that AI makes it possible to build observation operators for assimilating new satellite data into the ISBA model (Corchia et al. 2023). The LDAS system contributes to a better understanding of the evolution of surface conditions, which are decisive for the risks not only of forest fires but also of agricultural wildfires. This system and the associated model outputs are not currently used in such contexts.

Résultats attendus

- Démonstrateur de système de suivi et de prévision du risque de feu de végétation sur l'Occitanie en priorité, la France métropolitaine dans un second temps.
- Développement de l'utilisation de l'IA : opérateurs d'observation dans un système d'assimilation de données, fonction de transfert entre les données et les produits utilisables dans un contexte opérationnel de suivi et de prévision du risque de feux.
- Un inventaire des sources de données pertinentes pour la prévision du risque de feu ainsi qu'un nouveau jeu de données annotées.
- Validation de la méthodologie à grande échelle et mesure de l'apport de données satellitaires.

Expected results

- *Demonstrator of a system for monitoring and forecasting the risk of wildfire in Occitania as a priority, with metropolitan France to follow in a second phase.*
- *Development of the use of AI: observation operators in a data assimilation system, transfer function between data and products usable in an operational context of fire risk monitoring and forecasting.*
- *An inventory of relevant data sources for fire risk forecasting and a new annotated dataset.*
- *Large-scale validation of the methodology and measurement of the contribution of satellite data.*

Employeur / Employer

CNRS

Références bibliographiques / References

Albergel et al. (2019), Monitoring and Forecasting the Impact of the 2018 Summer Heatwave on Vegetation. *Remote Sens.* 11, 520. <https://doi.org/10.3390/rs11050520>

Corchia et al. (2023), Assimilation of ASCAT Radar Backscatter Coefficients over Southwestern France. *Remote Sens.* 15, 4258. <https://doi.org/10.3390/rs15174258>

Di Giuseppe, F., F. Pappenberger, F. Wetterhall, B. Krzeminski, A. Camia, G. Libertá, and J. San Miguel, 2016: The Potential Predictability of Fire Danger Provided by Numerical Weather Prediction. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 55, 2469–2491, <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-15-0297.1>.

Dlamini, W. M. (2011). Application of Bayesian networks for fire risk mapping using GIS and remote sensing data. *GeoJournal*, 76(3), 283–296. <https://doi.org/10.1007/s10708-010-9362-x>

Eddin MHS, Roscher R and Gall J (2023) Location-aware Adaptive Normalization: A Deep Learning Approach For Wildfire Danger Forecasting. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*: 1–1. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2023.3285401>

Van Wagner (1987), Development and structure of the Canadian forest fire weather index, <https://d1ied5g1xfqpx8.cloudfront.net/pdfs/19927.pdf>