

---

## EFFET DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'ÉVOLUTION DE L'ALÉA INCENDIE DE FORÊT EN FRANCE MÉTROPOLITAINE AU 21<sup>ÈME</sup> SIÈCLE

Thèse de Hélène **FARGEON**<sup>1</sup>

Analysée par Yves **BIROT**<sup>2</sup>

Directeur de thèse : Jean-Luc **DUPUY** Directeur de recherche INRAE - Avignon

Co-encadrement de la thèse : Nicolas **MARTIN**, Chargé de recherche INRAE - Avignon, François **PIMONT** Ingénieur de recherche INRAE Avignon, Ecologie des Forêts Méditerranéennes (INRAE URFM) Avignon

En dépit de progrès notables au cours des dernières décennies dans la détection et l'extinction précoces des feux, les incendies de forêt restent un sujet de préoccupation en France et dans le monde, comme les médias nous le rappellent à chaque saison estivale.

Malgré de lourds investissements consentis, surtout dans la lutte, les impacts environnementaux, sociétaux, économiques et même politiques des incendies de forêt sont très importants dans le monde. Plus récemment, on assiste à l'émergence de feux d'un type nouveau du fait de leur ampleur, de leur intensité et de leur sévérité, qui échappent à tout contrôle car ils dépassent toutes les capacités d'extinction. On observe également un allongement de la saison des feux ainsi qu'une extension spatiale des incendies à des zones éco-géographiques peu concernées jusqu'alors (par exemple, la Scandinavie en Europe). De telles évolutions conduisent à s'interroger sur les conséquences sur les incendies de forêt du changement climatique en marche, dont on sait que, dans certaines régions du monde, il se traduira par un glissement tendanciel vers des pluies moins abondantes et des températures plus élevées, ainsi que par des événements extrêmes plus fréquents, plus longs et plus intenses (vagues de chaleur et de sécheresse).

En France métropolitaine, les risques d'incendie de forêt sont actuellement principalement localisés dans le Sud-est méditerranéen et en Aquitaine (forêt landaise). Avec le changement climatique, les risques seront-ils aggravés dans ces régions, à quels rythmes et à quels horizons temporels ? Vont-ils s'étendre plus au nord ? Répondre à ces questions est crucial pour pouvoir anticiper et élaborer dans le futur des stratégies de prévention et de gestion des feux dans un contexte de moyens publics contraints. Le travail de thèse d'Hélène Fargeon s'inscrit dans cette problématique.

---

<sup>1</sup> Thèse de doctorat préparée à l'Institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement (AgroParisTech) pour obtenir le grade de Docteur de l'Institut agronomique vétérinaire et forestier de France, Spécialité : Sciences forestières et du bois - École doctorale n°581 Agriculture, alimentation, biologie, environnement et santé (ABIES). La thèse a été réalisée à l'unité de recherche sur l'écologie des forêts méditerranéennes de l'INRAe à Avignon, soutenue le 03/12/2019.

<sup>2</sup> Membre émérite de l'Académie d'agriculture de France - Section 2 « Forêts et filière bois ».

## Les approches mises en œuvre

L'ignition et le développement des feux sont aussi influencés par des facteurs non climatiques (végétation, facteurs humains) ; pour prendre en compte les seules évolutions climatiques, ils ont été considérés comme constants dans le travail de thèse. Celui-ci a été articulé en cinq étapes :

### 1) Projection d'un indice de danger sous climat futur et étude des incertitudes associées

Le changement dans l'aléa conjoncturel de feu est abordé sous l'angle de l'évolution liée au réchauffement climatique, le danger étant évalué par un indice empirique (le Fire Weather Index, FWI), lié à l'intensité des feux. Cet indice de danger météorologique, le plus utilisé en Europe, est aussi celui utilisé par les services opérationnels en France. Il a été projeté sous climat futur à l'aide de cinq modèles climatiques contrastés et deux scénarios d'émission de gaz à effet de serre. Ceci est une avancée par rapport à la seule étude disponible en France (Chatry 2010), fondée sur un seul modèle climatique. H. Fargeon a ensuite adapté au cas du risque de feu de forêt en Europe des outils d'analyse des incertitudes liées aux simulations climatiques développés dans d'autres domaines disciplinaires, afin de répondre à la question de la part de variance attribuable aux modèles climatiques, aux scénarios d'émission et aux fluctuations inter-annuelles, dans les évolutions projetées.

### 2) Construction d'un modèle probabiliste d'activité de feu

En région méditerranéenne française, l'activité des feux telle qu'elle ressort de la base de données Prométhée, se traduit par : une dynamique saisonnière bimodale, des variations spatiales prononcées, une tendance à la baisse du nombre et des surfaces de feux. L'approche de modélisation basée sur le seul danger météorologique (FWI) ne permet pas de retrouver ces caractéristiques, car cet index ne tient pas compte de la végétation ou des facteurs humains du feu.

H. Fargeon a donc élaboré un modèle probabiliste d'activité de feu permettant d'exploiter les observations de feu passées dans la zone Prométhée pour clarifier la relation climat-feu, et isoler la part attribuable au climat considéré au travers du FWI. Le modèle construit distingue l'impact du climat sur la probabilité d'occurrence du feu et sur le développement du feu, une fois le feu survenu. L'intérêt du modèle construit dans une démarche de projection à l'aide d'un modèle climatique « médian » a été démontré. Les conséquences de l'absence de prise en compte des aspects spatio-temporels en projection sont soulignées, ainsi que l'intérêt de la dimension stochastique du modèle afin d'évaluer les incertitudes associées à la projection.

### 3) Projection de l'activité du feu sous différents modèles et scénarios climatiques en Méditerranée.

A l'aide du modèle statistique décrit ci-dessus, les projections de FWI obtenues avec les cinq modèles climatiques mentionnés plus haut sont traduites en métriques plus parlantes : occurrences et surfaces brûlées attendues. L'analyse quantitative de l'évolution du régime de feu sur la zone méditerranéenne montre une augmentation globale attendue d'après chacun des modèles et scénarios, mais aussi une saisonnalité et une répartition spatiale de cette augmentation.

### 4) Projection sur le reste du territoire métropolitain à l'horizon 2100

Le modèle construit a été utilisé en projection sur le reste du territoire métropolitain structuré selon les sylvo-éco-régions de l'IGN ; l'allongement potentiel de la saison du feu a pu aussi être analysée. Une correction de l'activité du feu a été réalisée pour améliorer son ajustement aux données de la base de données générales sur les incendies de forêt en France (2006-2017) dans

les départements où l'information est suffisamment fiable : moitié sud du pays, y compris la région des Landes de Gascogne.

#### 5) Perspectives concernant l'intégration du combustible

Un travail exploratoire concernant l'effet de la structure du combustible sur l'activité de feu, comprenant une classification structurelle des placettes de l'Inventaire Forestier National (IGN), a été engagé, mais n'a pu déboucher en raison de difficultés méthodologiques. Mais les réflexions ouvrent des pistes d'amélioration pour l'avenir.

**Les résultats et avancées les plus significatifs** concernent les points suivants :

1) Les projections à l'horizon 2100 du FWI, sous différents scénarios de climats, ont montré une augmentation du niveau de danger sur l'ensemble du territoire national. Ceci confirme des résultats antérieurs, mais l'originalité de la thèse a été de quantifier l'effet des différentes sources d'incertitude (scénarios, modèles et variabilité naturelle du climat) sur ces projections. Ainsi, l'incertitude liée aux modèles domine largement les autres sources et augmente au fil du temps ; elle est aussi spatialement variable. L'augmentation du danger est très élevée et certaine en région Méditerranéenne, alors que l'amplitude de l'augmentation du danger au Nord et à l'Ouest, bien qu'existante, apparaît plus incertaine.

2) Le modèle probabiliste d'activité d'incendie (nombre de feux, surfaces brûlées) a été développé pour la région méditerranéenne française sous climat futur. En Europe, c'est original dans la mesure où les résultats antérieurs concernent seulement les surfaces brûlées, et non le nombre de feux, et qu'ils sont fondés sur l'estimation des corrélations inter-annuelles entre la surface brûlée observée et des variables ou indices climatiques. Ici, on a considéré les feux comme résultant de processus aléatoires sous-jacents qui déterminent l'occurrence et la taille des feux, en fonction du FWI et de différents facteurs spatio-temporels.

3) Les projections du modèle ainsi construit sur la période écoulée (une quarantaine d'années) et dans le futur ont permis de montrer que les différents facteurs de la relation feu-climat (localisation, saison, continuité de la forêt) affectent fortement les patrons spatio-temporels d'activité des feux. Cela signifie qu'un même niveau de FWI n'entraîne pas une même probabilité de feu en deux points différents du territoire ou à deux saisons différentes. Par ailleurs, les projections de FWI sous-estiment les augmentations d'activité de feu, principalement du fait de la non-linéarité de la relation feu-climat. Ceci justifie *a posteriori* d'avoir spécifiquement étudié l'activité des feux et pas seulement le danger météorologique, ainsi que le choix du modèle d'activité.

4) Le modèle construit a pu être extrapolé au reste de la moitié Sud de la France où les données disponibles étaient suffisantes : l'activité des feux devrait y augmenter notablement en saison estivale, mais resterait au niveau actuel en hiver. En comparaison, la région méditerranéenne devrait de loin connaître les plus lourds bilans, avec une augmentation en été et en hiver.

Les retombées opérationnelles de la thèse sont très importantes car elles questionnent les futures politiques de gestion forestière et de gestion des feux dans les zones à risque actuelles et futures, qui seront en forte augmentation, notamment en termes de priorisation des moyens de prévention et de lutte. Le modèle probabiliste construit dans le cadre de cette thèse pourrait être appliqué, car il permet de simuler une activité attendue du feu sur une zone donnée en conditions climatiques changeantes, en tenant compte de l'activité passée du feu.

Le travail de thèse d'Hélène Fargeon me semble donc remarquable sur bien des points. Il portait sur un sujet difficile du fait notamment de jeux de données divers et hétérogènes qu'elle a su bien

maîtriser, ainsi que de la spécificité et des principes des outils utilisés. Il a fait progresser les connaissances sur une question qui concernent les écosystèmes comme la société, et a ouvert la voie à des applications opérationnelles.

Pour ces raisons, cet excellent travail justifie d'être valorisé par la mise de cette analyse sur le site de l'Académie d'agriculture de France.