

## Impact des mégafeux sur l'équilibre des écosystèmes forestiers : simulation et étude d'un modèle numérique

**Encadrants :** Benoît Delahaye, Guillaume Cantin, Adam Ali

**Laboratoire d'accueil :** Laboratoire des Sciences du Numérique de Nantes, UMR 6004

**Équipe de recherche :** équipe VELO (Vérification pour l'Environnement et le LOGiciel)

### Contexte

Dans un contexte international marqué par un accroissement sensible des événements climatiques extrêmes, la préservation des écosystèmes terrestres et océaniques est un enjeu sociétal majeur. La communauté scientifique est fortement sollicitée afin de produire une meilleure compréhension des mécanismes complexes qui menacent leur équilibre, notamment pour aider à mettre en place des solutions de mitigation ou d'adaptation. En particulier, les écosystèmes forestiers tropicaux, tempérés ou boréaux sont très impactés par les mégafeux. Ces événements déstabilisent les écosystèmes forestiers, qui représentent à la fois une réserve de biodiversité, un puits de carbone, et une ressource économique.

Le projet de recherche TOUNDRA (*Mathematical modeling and analysis of boreal forests vulnerability to climate change : a hybrid approach*), financé par l'Agence Nationale de la Recherche, propose d'étudier la stabilité des écosystèmes forestiers boréaux en réponse au changement climatique, par une approche de modélisation hybride, visant à reproduire la dynamique biologique de la forêt perturbée par les mégafeux. Le projet s'articule donc autour d'un modèle mathématique obtenu par couplage d'un système d'équations différentielles décrivant la dynamique forestière, avec un processus probabiliste discret modélisant l'impact des mégafeux. Ce modèle est décrit en détail dans les articles suivants : [CDF23], [CDF21] et [KABA94]. Ce stage de Master s'inscrit pleinement dans ce projet de recherche.

### Objectifs du stage

L'objectif principal de ce stage de Master consiste à étudier les propriétés du modèle hybride de dynamique de forêt, construit par l'équipe de chercheurs composant le projet TOUNDRA. Ce modèle présente en effet un caractère novateur qui rend les méthodes mathématiques connues difficilement applicables. Néanmoins, ce modèle peut être facilement simulé numériquement. La première tâche consistera donc pour le candidat ou la candidate à s'appropriier le modèle, ses paramètres, et à en réaliser des simulations numériques. Un logiciel de visualisation sera développé pour faciliter l'interprétation des simulations. La deuxième tâche consistera à étudier les propriétés dynamiques du modèle, afin notamment de garantir sa capacité à reproduire les observations de l'écosystème forestier boréal réalisées par les écologues forestiers impliqués dans le projet TOUNDRA, qui ont produit une base de données paléoécologiques unique (voir notamment [AAL+08]). Pour réaliser cette étude, le candidat ou la candidate s'appuiera sur des méthodes récentes permettant la vérification de modèles dynamiques hybrides, telles que présentées dans [Tab09].

Selon la qualité des résultats obtenus, une poursuite en thèse pourra être envisagée, sous réserve d'obtention d'un financement.

## Profil du candidat ou de la candidate

Pour réaliser ce travail de recherche, le candidat ou la candidate devra disposer de solides compétences en informatique, aussi bien computationnelle (simulation numérique, calcul intensif) que théorique (méthodes formelles de vérification de modèles). Le candidat ou la candidate devra également montrer de l'intérêt pour les sciences environnementales. Une expérience sur l'étude de modèles en écologie forestière sera fortement appréciée. Enfin, le candidat ou la candidate devra disposer de qualités rédactionnelles et d'une aptitude pour le travail en équipe.

## Contrat

- Statut : stage rémunéré sous convention.
- Domaines : informatique, modélisation, écologie forestière.
- Durée du contrat : 6 mois.
- Date de prise de poste souhaitée : janvier 2025.

## Modalités de candidature

- Date limite pour l'envoi des dossiers : 1er décembre 2024.
- Envoyer une lettre de motivation et un CV à [guillaume.cantin@univ-nantes.fr](mailto:guillaume.cantin@univ-nantes.fr), [benoit.delahaye@univ-nantes.fr](mailto:benoit.delahaye@univ-nantes.fr) et [ahmed-adam.ali@umontpellier.fr](mailto:ahmed-adam.ali@umontpellier.fr).

## Références

- [AAL<sup>+</sup>08] Adam A Ali, Hugo Asselin, Alayn C Larouche, Yves Bergeron, Christopher Carcaillet, and Pierre JH Richard. Changes in fire regime explain the Holocene rise and fall of *Abies balsamea* in the coniferous forests of western Québec, Canada. *The Holocene*, 18(5) :693–703, 2008.
- [CDF21] Guillaume Cantin, Arnaud Ducrot, and Beatriz M Funatsu. Mathematical modeling of forest ecosystems by a reaction–diffusion–advection system : impacts of climate change and deforestation. *Journal of Mathematical Biology*, 83(6) :66, 2021.
- [CDF23] Guillaume Cantin, Benoît Delahaye, and Beatriz M Funatsu. On the degradation of forest ecosystems by extreme events : Statistical model checking of a hybrid model. *Ecological Complexity*, 53 :101039, 2023.
- [KABA94] Yu A Kuznetsov, M Ya Antonovsky, VN Biktashev, and EA Aponina. A cross-diffusion model of forest boundary dynamics. *Journal of Mathematical Biology*, 32 :219–232, 1994.
- [Tab09] Paulo Tabuada. *Verification and control of hybrid systems : a symbolic approach*. Springer Science & Business Media, 2009.