

# Offre de thèse : Avancement méthodologique pour l'aide à la décision adaptative en gestion forestière

**Date de fin de candidature** : 30 juin 2024

**Date du début du contrat** : 1<sup>re</sup> Octobre 2024

**Discipline** : Mathématiques appliquées, écologie forestière, modélisation, sylviculture

## **Sujet de thèse** :

### ➤ Contexte et objectif :

Le changement climatique augmente les risques associés aux écosystèmes en augmentant les aléas climatiques et la vulnérabilité de ces derniers. En effet, les écosystèmes sont fortement fragilisés avec : (i) l'augmentation progressive de la température<sup>1</sup>, (ii) l'augmentation de la fréquence des événements extrêmes<sup>2</sup>, ainsi que (iii) l'augmentation de vulnérabilité face aux risques biotiques<sup>3</sup>. On peut associer, à l'augmentation conjointe des aléas et de la vulnérabilité des écosystèmes, une augmentation de la vulnérabilité des populations humaines, dépendantes des services écosystémiques<sup>4</sup> (SE). Dans ce contexte de risques multiples, les socio-écosystèmes forestiers sont un exemple parlant de cette interdépendance entre changements climatiques et biotiques, dérèglements fonctionnels des écosystèmes et approvisionnement en services pour les sociétés humaines. En effet, les forêts offrent des SE qui nécessitent une gestion collective en tant que ressources communes en raison : (i) de leurs bénéfices universellement reconnus pour les populations, (ii) de l'impossibilité de les exclure de l'accès à ces bénéfices, et (iii) de leur susceptibilité à l'épuisement dû aux circonstances changeantes<sup>5</sup> ou à l'extraction non raisonnée de la ressource.

La gestion durable de ces systèmes passe par un changement à la fois de la planification forestière et des pratiques sylvicoles. Cependant, cette nouvelle planification ne peut pas se faire sans un effort de recherche : (i) pour identifier les leviers et verrous et (ii) pour conceptualiser les méthodes permettant de la mettre en place de la manière la plus efficace possible. Or la structure biotique multi-espèces des écosystèmes forestiers couplée à leur dynamique non-linéaire multi-échelles, en font des systèmes complexes, voir même compliqués à gérer, particulièrement lorsque les actions de gestion sont censées équilibrer des contraintes et objectifs à court et long termes. Les écosystèmes forestiers ont de plus la particularité de regrouper énormément d'acteurs aux objectifs divers (et parfois contradictoire) dans la prise de décision de gestion<sup>6</sup>, ce qui peut induire des situations difficiles à arbitrer. Sans des outils intégrés et adaptés pour aider à animer/aiguiller cette prise de décision elle peut déboucher sur des impasses très couteuses pour le maintien et la résilience du fonctionnement des écosystèmes forestiers et des services écosystémiques correspondant<sup>6,7</sup>.

Cette thèse se concentre sur le problème de gestion forestière adaptative en développant une formalisation méthodologique opérationnelle pour la gestion durable des SE en tant que biens communs dans les SE forestiers. Nous proposerons un outil intégré et innovant, modèle mécaniste-théorie du contrôle-voie d'adaptation, qu'un.e étudiant.e développera (avec feed-back des acteurs) et testera sur un cas pratique, en lien avec le Forest'InnLab de l'UMR SILVA<sup>1</sup>. On peut subdiviser cette thèse en 4 grands challenges.

### ➤ Découpage et Méthode envisagés :

#### **Challenge 1 : Analyse des SE forestiers à travers la gestion adaptative**

La première difficulté est liée au besoin de modéliser et prédire les effets de la gestion sur différentes dimensions de l'état du système forestier, des services et des acteurs. Dans le cadre de ce travail, nous faisons le choix de travailler avec le gap-model individus centrés ForCEEPS<sup>8,9</sup>. Des développements seront effectués sur ce modèle pour permettre une meilleure prise en compte de la gestion forestière,

---

<sup>1</sup> <https://www.agroparistech.fr/innovation/innlabs/forestinnlab>

surtout sur le renouvellement, en : (i) améliorant sa dynamique et (ii) implémentant des actions de gestion associées. Ce qui permettra enfin de modéliser la gestion forestière dans toute la richesse des choix qu'elle permet réellement (renouvellement, comme éclaircie).

Il sera ensuite nécessaire de poser le(s) problème(s) de contrôle en réfléchissant au problème de changement d'échelle spatiale lié à la différence entre l'échelle d'application du contrôle et celle d'application des contraintes (Figure 1-B). De plus, nous travaillerons dans un contexte où les contraintes pourront évoluer au cours du temps. Pour préparer l'articulation avec la démarche Living Lab, les informations nécessaires pour définir les objectifs, de manière qualitative ou quantitative, en terme de services pourvu, i.e. les contraintes à appliquer lors de la définition du problème de contrôle, seront issus des concertations entre acteurs, mené dans une démarche Living Lab<sup>10</sup> (Figure 1-A). Cette partie du travail sera faite en collaboration avec un ingénieur de recherche spécialisé.

### **Challenge 2 : Définition des politiques d'actions adaptives en mobilisant la théorie de la viabilité**

Ce challenge est lié à la sélection de l'enchaînement d'actes de gestions (ou itinéraire de gestion) qui permettent de satisfaire un ensemble de contraintes d'approvisionnement en SE. Potentiellement les actions ciblées font partie d'un ensemble beaucoup plus grand d'actions possibles d'intérêt. Faire une sélection a priori d'un sous-ensemble d'itinéraires sylvicoles, en utilisant l'expertise des forestiers pour définir les plans d'action ou de simulation, comme il est plus classique de le faire, comporte des risques, mais est aussi moins à même de générer des solutions innovantes pour répondre aux enjeux émergent liés à la gestion sylvicole sous conditions socio-écologiques nouvelles.

Les outils issus des sciences décisionnelles et particulièrement de la théorie du contrôle ont pour objectif de systématiser et accélérer cette recherche, en permettant de trouver au moins une séquence d'actions qui satisfasse un ensemble de contraintes associées à de nombreux SE. Cependant cette approche analytique a été majoritairement testé avec des modèles de systèmes dynamiques simples possédant un nombre plus restreint de variables<sup>11</sup> et pas sur des modèles plus explicites, comme les modèles mécanistes. Ce deuxième challenge consiste donc à développer/consolider depuis des modèles mécanistes des approches probabilistes qui permettent d'approximer les solutions exactes qui seraient proposées par la théorie de la viabilité : par exemple les méthodes fiabilistes<sup>12</sup> ou l'apprentissage par algorithmes génétiques combinées à des approches multi-variées type ACP (Malara et al., in prep).

### **Challenge 3 : Utilisation du cadre des voies d'adaptation pour formaliser les scénarios de gestion**

Les parties prenantes du SEF ont besoin de trouver la meilleure représentation des solutions pouvant émerger de la modélisation pour assurer une gestion forestière adaptative viable. Cependant les actions d'adaptation viable à court terme peuvent devenir non viable à plus long-terme en raison de changement (environnementaux ou économiques, par exemple). Inversement, les actions adaptées à long terme peuvent être en conflit avec des objectifs à court terme. Cela nécessite que l'ensemble des parties prenantes adapte régulièrement dans le temps ses objectifs, ses contraintes et son organisation opérationnelle, ce qui a été formalisé par des "Dynamic Adaptive Policy Pathway" (DAPP<sup>13,14</sup>). Les acteurs, intégrés dans le processus de Living Lab, utiliseront le DAPP pour définir collectivement différentes formes d'actions comportant chacune plusieurs itinéraires sylvicoles. Puis ils définiront une succession de nœuds décisionnels pour planifier les transitions éventuelles entre les différentes options d'adaptation, en prévision de circonstances changeantes imprévisibles. La sélection de ces itinéraires de transition (appelées voies d'adaptation) est faite en fonction des retours des acteurs.

Le DAPP n'a pas encore été couplée avec des modèles quantitatifs, en particulier les modèles mécanistes forestiers, et encore moins avec les outils issus de la théorie du contrôle viable, comme nous le proposons dans ce travail de thèse (Figure 1-C). Un formalisme méthodologique devra donc être développé, en s'appuyant sur de précédents travaux (Brias et al., in prep).

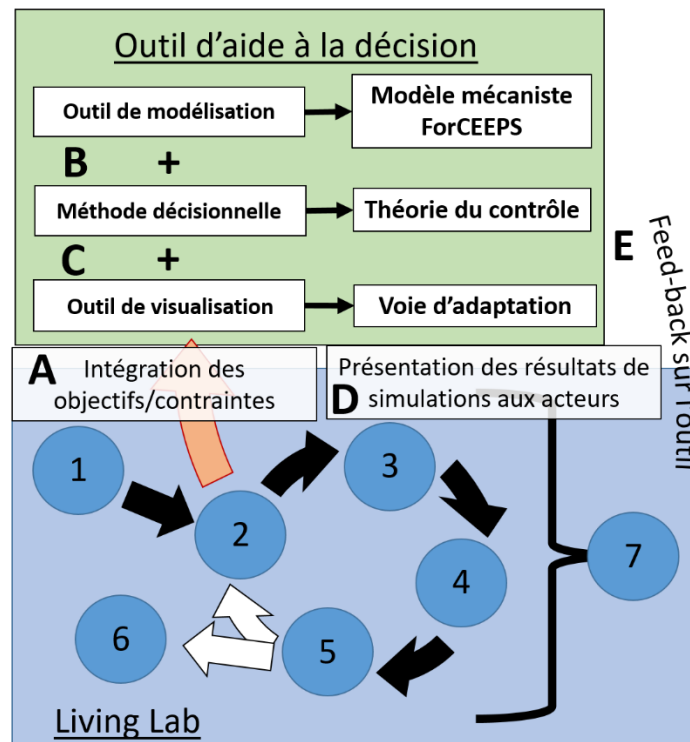
### **Challenge 4 : Confrontation des résultats de l'outil d'aide à la décision aux retours des acteurs**

Ce challenge consistera à participer à la présentation des résultats opérationnels aux acteurs sollicités initialement dans la co-construction des scénarios de gestion souhaitable (Figure 1-D) en collaboration avec un ingénieur spécialisé dans l'animation de Living-Lab.

La méthode Living Lab<sup>15</sup>, dans laquelle s'inscrit l'utilisation de l'outil d'aide à la décision développé dans cette thèse, n'a jamais intégré, comme éléments de réflexion donnés aux acteurs, le résultat de projections issues de modèle, encore moins avec le formalisme proposé dans cette thèse. Cette démarche

permettrait de dégager sans à priori un ensemble de scénario de gestion viable, et de les confronter au panel de scénario proposé par les acteurs. Nous espérons voir émerger des solutions nouvelles en réponse aux grands enjeux associés aux SE forestiers.

Il est également important d'évaluer le niveau réel d'opérationnalité de ce couplage modèle mécaniste-théorie du contrôle-voie d'adaptation face aux acteurs de terrain. Cette première confrontation permettra à minima de mettre en lumière les points forts, faibles et d'amélioration de cette formalisation, et si possible d'intégrer certains changements nécessaires (Figure 1-E). Cette partie du travail sera faite avec un ingénieur de recherche spécialisé dans les Living Lab.



**Figure 1 :** Schéma synthétique de coordination des différents challenges inclus dans la thèse. Le travail du doctorant se focalisera principalement sur l'outil de l'aide à la décision (*vert*), les étapes clés (A-E) sont détaillées dans le document. Un ingénieur spécialisé sera en soutien pour la partie Living Lab (*bleu*). Les chiffres représentent les différentes étapes du Living Lab : 1-Planification, 2-Exploration, 3-Co-construction, 4-Expérimentation, 5-Evaluation, 6-Déploiement et 7-Evaluation du processus.

#### ➤ Encadrement et cadre de travail

**Directrice :** Meriem Fournier (DR APT, UMR SILVA)

#### **Co-directeurs :**

- Marion Jourdan (CR INRAE, UMR SILVA)
- Jean-Denis Matthias (DR INRAE, UR LISC)
- Jean-Baptiste Pichancourt (CR INRAE, UR LISC)

#### **Laboratoires associés :**

La thèse sera basée à Nancy dans l'UMR SILVA, sous la direction de Meriem Fournier et Marion Jourdan. L'UMR SILVA rassemble des acteurs d'AgroParisTech, d'INRAE et de l'Université de Lorraine pour mener des recherches pluridisciplinaires sur le bois, les arbres et les écosystèmes forestiers. L'objectif scientifique principal de l'UMR SILVA est de développer des recherches appliquées pour répondre aux questions de la société, y compris des gestionnaires forestiers, sur (1) le rôle et l'avenir des écosystèmes forestiers dans le contexte des changements globaux, y compris le changement climatique, et (2) l'avenir de l'industrie du bois (<https://silva.nancy.hub.inrae.fr/>).

Le doctorant bénéficiera d'un cadre de travail agréable et stimulant en terme de recherche forestière, dans une équipe dynamique autant sur les questions d'écologie, que de sciences sociales, et favorisant le travail interdisciplinaire. La possibilité de faire du télétravail sera offerte au doctorant.

Des échanges réguliers et plusieurs déplacements se feront à Clermont-Ferrand, pour optimiser la collaboration avec Jean-Denis Mathias et Jean-Baptiste Pichancourt de l'UR LISC. Les thématiques de recherche de l'UR LISC de l'INRAE se concentre sur l'étude des systèmes complexes. Le laboratoire s'intéresse notamment aux systèmes dynamiques contrôlés et à la théorie de la viabilité (<https://lisc.inrae.fr/>).

### ➤ Compétences attendues

#### **Profil recherché :**

Master 2 en mathématique appliqué avec une forte appétence pour l'écologie, Master 2 en écologie avec une forte appétence pour les mathématiques ou ingénieur agronome. Les profils issus de cursus croisant sciences sociales, sciences de l'environnement et/ou modélisation seront également étudiés.

**Compétences techniques supplémentaires :** Maitrise d'au moins un langage de programmation (Python, R, java, C++), maitrise de l'anglais (oral et écrit)

**Aptitudes recherchées :** Autonomie, aptitude à travailler en équipe et avec des acteurs opérationnels, curiosité, rigueur, appétence pour l'interdisciplinaire et les collaborations multi-laboratoires/sites

#### **Permis B**

### ➤ Comment postuler ?

Offre complète sur le site de l'ED SIRENa : <http://doctorat.univ-lorraine.fr/fr/les-ecoles-doctorales/sirena/offres-de-these/cd-couplage-de-modele-mecaniste-avec-les-theories-du>

Envoyer un mail avec CV, lettre de motivation et lettres de recommandations (si pertinentes) aux adresses ci-dessous : [marion.jourdan@inrae.fr](mailto:marion.jourdan@inrae.fr), [jean-denis.mathias@inrae.fr](mailto:jean-denis.mathias@inrae.fr), [jean-baptiste.pichancourt@inrae.fr](mailto:jean-baptiste.pichancourt@inrae.fr) et [meriem.fournier@inrae.fr](mailto:meriem.fournier@inrae.fr)

### ➤ Bibliographie :

1. Breshears, D. D. *et al.* Underappreciated plant vulnerabilities to heat waves. *New Phytol* **231**, 32–39 (2021).
2. Gampe, D. *et al.* Increasing impact of warm droughts on northern ecosystem productivity over recent decades. *Nat. Clim. Chang.* **11**, 772–779 (2021).
3. MacLean, D. A. & Clark, K. L. Mixedwood management positively affects forest health during insect infestations in eastern North America. *Can. J. For. Res.* **51**, 910–920 (2021).
4. Weiskopf, S. R. *et al.* Climate change effects on biodiversity, ecosystems, ecosystem services, and natural resource management in the United States. *Science of The Total Environment* **733**, 137782 (2020).
5. Allen, C. D. *et al.* A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management* **259**, 660–684 (2010).
6. Houballah, M., Cordonnier, T. & Mathias, J.-D. Which infrastructures for which forest function? Analyzing multifunctionality through the social-ecological system framework. *E&S* **25**, art22 (2020).
7. Houballah, M., Cordonnier, T. & Mathias, J.-D. Maintaining or building roads? An adaptive management approach for preserving forest multifunctionality. *Forest Ecology and Management* **537**, 120957 (2023).
8. Morin, X. *et al.* Beyond forest succession: A gap model to study ecosystem functioning and tree community composition under climate change. *Funct Ecol* **35**, 955–975 (2021).
9. Jourdan, M. *et al.* Managing mixed stands can mitigate severe climate change impacts on French alpine forests. *Reg Environ Change* **21**, 78 (2021).
10. Arnould, P. M. Construction d'un cadre de référence méthodologique pour piloter des Living Labs forestiers.
11. Mathias, J.-D., Bonté, B., Cordonnier, T. & de Morogues, F. Using the Viability Theory to Assess the Flexibility of Forest Managers Under Ecological Intensification. *Environmental Management* **56**, 1170–1183 (2015).
12. Mathias, J.-D. & Lemaire, M. Reliability analysis of bonded joints with variations in adhesive thickness. *Journal of Adhesion Science and Technology* **27**, 1069–1079 (2013).
13. Haasnoot, M., Van 't Klooster, S. & Van Alphen, J. Designing a monitoring system to detect signals to adapt to uncertain climate change. *Global Environmental Change* **52**, 273–285 (2018).
14. Haasnoot, M., Kwakkel, J. H., Walker, W. E. & Ter Maat, J. Dynamic adaptive policy pathways: A method for crafting robust decisions for a deeply uncertain world. *Global Environmental Change* **23**, 485–498 (2013).
15. Arnould, M., Morel, L. & Fournier, M. Embedding non-industrial private forest owners in forest policy and bioeconomy issues using a Living Lab concept. *Forest Policy and Economics* **139**, 102716 (2022).