



## Quels modèles pour guider l'adaptation des forêts au changement climatique ?

Responsable scientifique : Myriam LEGAY, UMR SILVA/AgroParisTech – équipe EcoSilva

Partenaires Labex : Julien SAINTE MARIE, UMR SILVA/AgroParisTech ; Christian PIEDALLU, UMR SILVA/AgroParisTech ; Vincent BADEAU UMR SILVA/INRAE ; Nikola BESIC, LIF/IGN ; Alexandre PIBOULE, ONF ; Céline PERRIER and Hedi KEBLI, RMT Aforce-CNPF

Action thématique concernée : WP2 et WP4

### Contexte

Les impacts attendus du changement climatique sur la forêt interpellent la gestion forestière. Le secteur forêt-bois est d'ores et déjà perturbé par des crises liées à des accidents climatiques qui devraient s'intensifier dans un proche futur. L'adaptation des forêts est devenue un enjeu majeur, inscrit dans les politiques publiques (Feuille de route pour l'adaptation des forêts au changement climatique, plan de relance...). Dans ce contexte de transition et d'incertitude, les gestionnaires forestiers expriment le besoin d'outils pour assister les décisions sylvicoles, et notamment le choix des essences.

### Objectifs

- (1) Définition d'un cadre analytique pour une évaluation comparative des prédictions des modèles ;
- (2) Cartographie et description de la diversité des modèles forestiers sensibles au climat ;
- (3) Cartographie et description de la diversité des décisions forestières à différentes échelles ;
- (4) Etude de cas d'évaluation comparative des prédictions de différents modèles ;
- (5) Recommandations pour le développement de l'offre d'aide à la décision basée sur les modèles forestiers sensibles au climat.

## **Démarche**

Le cadre d'analyse comparative de modèles proposé est basé sur la réduction de la sortie du modèle à une information relativement simpliste de présence/absence des espèces adaptée à la gestion forestière, la rendant comparable aux observations largement disponibles. Le cadre est accompagné d'une nouvelle métrique, basée sur l'utilisation conjointe de l'analyse en composantes principales et de l'analyse de co-inertie, qui évalue le modèle par rapport aux observations correspondantes en mettant l'accent sur la dynamique de son espace de phase, c'est-à-dire sa dépendance aux variables environnementales externes, plutôt que sur sa précision spatiale. Le cadre et la métrique sont élaborés et décrits en utilisant conjointement des données réelles et synthétiques, tandis que la pertinence de l'approche multi-échelle proposée est démontrée sur l'exemple de la comparaison de modèles de distribution des espèces.

La description et la cartographie des modèles forestiers sensibles au climat ont été réalisées à partir d'une revue de la littérature et d'entretiens avec des modélisateurs. La méthode de description proposée est applicable à tout modèle forestier sensible au climat, et permet d'en décrire les caractéristiques utiles pour saisir son potentiel d'aide à la décision forestière. L'article est accompagné d'une base de données des modèles décrits dans l'article selon les attributs définis dans l'article.

La description et la cartographie des décisions forestières sensibles au climat ont été réalisées à partir de la littérature et d'un atelier avec des experts forestiers ayant des points de vue métier et échelles différents.

## **Résultats marquants**

- Le nouveau cadre d'analyse développé inclut une nouvelle métrique pour l'analyse comparative des modèles forestiers intégrant l'impact des variables climatiques externes et traite le cas le plus général des espaces de phase disjoints entre les modèles, réduisant la comparaison à l'évaluation des présences prédites vs observées dans l'espace des variables externes de chacun des modèles.
- La quasi-totalité des modèles forestiers climato-sensibles développés en France sont postérieurs à 2000, alors que le développement des modèles de dynamique forestière en France est beaucoup plus ancien, ce qui indique que nous sommes actuellement encore dans une phase d'exploration radiative des possibilités offertes par la modélisation forestière climato-sensible.
- Le choix d'un modèle peut être déterminant dans la réalisation de prédictions pour appuyer les décisions forestières.
- Il existe une diversité de décisions forestières sensibles à différentes échelles liées à différents contextes décisionnels.
- Pour chaque question forestière à chaque échelle, plusieurs modèles sont disponibles. Pour les décideurs, l'enjeu est de connaître la diversité des modèles afin de choisir des modèles adaptés à la question posée et idéalement de comparer la diversité des projections afin d'apprécier pleinement l'incertitude.

## **Principales conclusions incluant des points-clés de discussion**

La métrique développée fournit une mesure de la pertinence de la dynamique d'un modèle par rapport à celle des observations projetées dans l'espace des variables. La valeur ajoutée de l'approche est illustrée à l'aide d'un jeu de données simulées, mais aussi par l'évaluation multi-échelle d'un modèle de distribution des espèces ainsi que par la comparaison multi-échelle de modèles.

Il existe des lacunes à combler en termes de développement de modèles forestiers et de leur utilisation pour éclairer les décisions forestières. A titre d'exemple, les processus de régénération et de mortalité sont considérés de manière limitée dans les modèles basés sur les processus. Il y a un manque de modèles de feux de forêt et de modèles biotiques qui représentent la couverture forestière. La communication et la collaboration entre les modélisateurs forestiers et les décideurs doivent être soutenues par des moyens spécifiques pérennes pour faciliter le développement de modèles plus orientés vers les questions de gestion forestière et d'adaptation au changement climatique.

Pour chaque question de gestion forestière à chaque échelle, plusieurs modèles sont disponibles. Le nœud gordien à trancher est finalement de savoir comment choisir le modèle approprié, adapté à la question, aux données mobilisables et au niveau de technicité mobilisable. Cependant, dans une perspective d'aide à la décision, le modèle doit rester un support pour clarifier les choix et objectiver la discussion, mais il ne doit pas se substituer au décideur, seul capable d'intégrer un ensemble de facteurs beaucoup plus large.

## **Perspectives**

La perspective la plus évidente du cadre d'analyse développé serait l'exercice analytique de comparaison de plusieurs modèles forestiers sensibles au climat, qu'ils soient statistiques ou basés sur des processus. La perspective la plus ambitieuse serait de construire sur la base de l'approche analytique présentée une méthode de consensus qui combinerait les informations provenant de différents modèles à des échelles multiples. Le cadre d'analyse et la métrique associée pourraient également être adaptés et exploités par les modélisateurs pendant le processus de développement des modèles, par exemple pour vérifier la pertinence des variables prises en compte, ou pour comparer différents ensembles de variables environnementales (par exemple les variables climatiques issues de différents modèles climatiques).

Une autre perspective est de développer un cadre décisionnel qui fournira aux décideurs, à l'échelle de la France, un ensemble de critères de décision basés sur des connaissances d'experts et des modèles forestiers, qui fourniront une orientation pour le choix des espèces forestières comme objectif pour la gestion adaptative des forêts face au changement climatique. Ces décisions peuvent concerner les principales espèces forestières françaises en se basant sur les critères de performance dont la productivité forestière, dérivée de modèles basés sur les processus, le régime de risque forestier, dérivé de modèles d'évaluation des risques, et la probabilité de présence de l'espèce dérivée des modèles de distribution des espèces.

**Valorisation** — (**scientifique** : publications, chapitre d'ouvrage, présentation lors de conférences, ...signaler d'éventuels prix) ; **économique** : enveloppe Soleau, brevet, licence, ... ; **diffusion** : communiqué de presse, interview, ...)

Présentations orales liées au projet :

- 15/6/2021 : Présentation au séminaire FOREM
- 14/10/2021 : Présentation au Colloque international Deepsurf
- 7/12/2021 : Présentation à la journée annuelle d'animation scientifique du laboratoire SILVA
- 22-23/03/2022 : Présentation au séminaire FOREM
- 11/10/2022 : Présentation à la journée des doctorants et postdoctorants Labex ARBRE
- 20/01/2023 : Présentation aux professionnels mobilisés pour l'atelier sur les décisions forestières

Articles en cours de publication dans le cadre du projet :

- Modeling the impact of climate change on the forest: a novel framework and a new metric for the comparative analysis - The Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics (JABES) : soumis, en cours de révision
- Using climate-sensitive forest models to provide guidance for adaptive forest management under climate change - Annals of Forest Science. Soumis.
- Une diversité de modèles pour éclairer les décisions forestières face au changement climatique - Revue forestière française. En cours de rédaction
- Panorama des décisions forestières sensibles au climat à différentes échelles de décision - Revue forestière française. En cours de rédaction

## **Effet levier du projet**

Le financement du labex a permis d'agrèger des financements de la part de la Région Grand Est (23 k€), d'une part, et du RMT Aforce (23 k€) d'autre part, de sorte que le financement du Labex a été triplé.