

Projet de stage : Integrative Models for Forests: Understand and Simulate the Impacts Of Novel climates (IMFUSION)

Sous la supervision d'Anne Baranger (INRAE) et de Victor Van der Meersch (CNRS, Univ. Montp.)

Résumé : Dans le cadre du financement d'équipes de recherche junior par le CEMEB (labex-cemeb.org), nous proposons un stage de 6 mois dont une partie se déroulera au *Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive* (CEFE, CNRS) de **Montpellier** et l'autre partie au *Laboratoire des Ecosystèmes et Sociétés en Montagne* (LESSEM, INRAE) de **Grenoble**.

Contexte : Les arbres tempérés subissent des stress climatiques importants tout au long de leur vie. En particulier, les espèces rencontrées en Europe ont dû s'adapter pour résister au froid durant l'hiver (période de dormance) et aux gels tardifs durant le printemps (période de débourrement). L'adéquation entre ces processus physiologiques et les conditions climatiques est essentielle pour la survie des espèces, et explique en partie la distribution observée des arbres. Il existe aujourd'hui deux approches pour modéliser la répartition des arbres en fonction du climat ([Dorrmann et al., 2012](#)) : (i) les modèles corrélatifs, qui s'appuient sur des relations statistiques entre présence/absence des espèces et prédicteurs bioclimatiques, et (ii) les approches plus mécanistes, qui sont aussi plus complexes et cherchent à modéliser explicitement certains processus écologiques. Alors qu'il n'y a pas de consensus sur l'évolution du risque lié au froid avec le changement climatique, la complémentarité entre ces deux approches de modélisation peut permettre d'apporter un nouveau regard sur la vulnérabilité future des arbres, en identifiant les processus importants et les incertitudes liées aux projections.

Plan de recherche : Le travail de l'étudiant·e s'inscrira directement dans le cadre des thèses de V. Van der Meersch (CNRS, Univ. Montpellier) et A. Baranger (INRAE, Univ. Grenoble Alpes). Pour 6 espèces européennes (*Abies alba*, *Fagus sylvatica*, *Picea abies*, *Pinus sylvestris*, *Quercus robur*, *Quercus ilex*), il·elle mobilisera des approches de modélisation de complexités différentes, à plusieurs niveaux le long du gradient entre approche corrélative et approche mécaniste ([Figure 1](#)) :

- une version du modèle PHENOFIT calibrée à partir de données expérimentales (calibration classique effectuée dans l'esprit de la modélisation mécaniste ([Chuine and Beaubien, 2001](#)))
- une version du modèle PHENOFIT calibrée à partir de la distribution des espèces (calibration inverse, intermédiaire entre l'approche mécaniste et l'approche corrélative ([Van der Meersch and Chuine, 2023](#)))
- un modèle statistique reposant sur la reformulation des variables climatiques en stress physiologiques, en prenant en compte les seuils de tolérance physiologique de chaque espèce (approche corrélative hybride avec des prédicteurs mécanistes ([Baranger et al., in revision](#)))

L'étudiant·e sera hébergé·e au CEFE (Montpellier), ainsi qu'au LESSEM (Grenoble). Au sein des deux équipes d'accueil, il·elle prendra en main les différents modèles, afin de comprendre leur structure, les hypothèses sous-jacentes et les avantages et inconvénients de chaque approche. Il·elle effectuera des premières simulations dans les conditions climatiques historiques (1970-2020) à l'échelle de l'Europe, afin d'appréhender en pratique le fonctionnement et le comportement des modèles et de comparer leurs prédictions à la distribution actuelle des espèces (pour évaluer leur performance). Il·elle se concentrera ensuite sur limites altitudinales et latitudinales, en identifiant

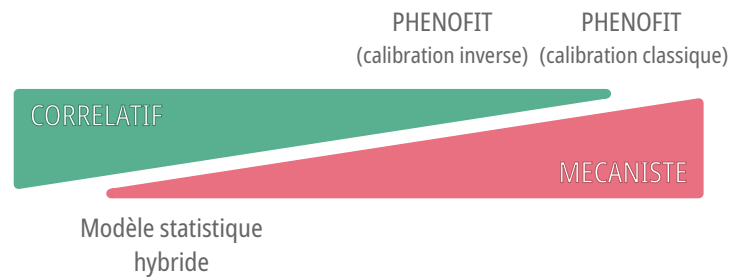


Figure 1: Les trois approches de modélisation du projet

les zones où les simulations convergent ou au contraire divergent (**Figure 2**), et les processus clés qui semblent limiter la présence des espèces dans les deux cas (dommages impactant la croissance, le succès reproducteur, ou la survie). Ensuite, il-elle réalisera des simulations avec des projections climatiques à horizon 2100 avec chaque modèle à l'échelle de l'Europe. Dans les zones identifiées sous climat historique, l'étudiant-e évaluera – pour les différents modèles – l'évolution du risque lié au froid, et son impact sur la distribution future des espèces. Il-elle examinera également si de nouvelles zones à risque apparaissent, et si ce sont toujours les mêmes processus qui impactent la survie des espèces. Enfin, il-elle déterminera quels sont les mécanismes climatiques (augmentation de la variabilité, fréquence des extrêmes, ...) qui expliquent l'évolution de la vulnérabilité des espèces en fonction des processus décrits dans chacun des modèles, et les incertitudes associées à ces projections.

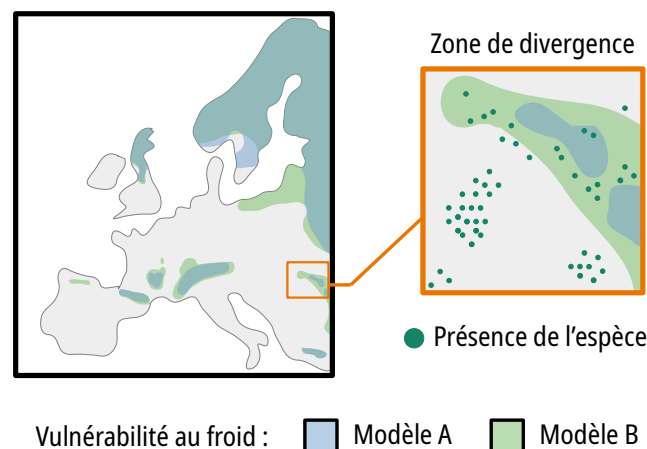


Figure 2: Exemple schématique des sorties qui seront analysées

Ce projet permettra ainsi de rassembler des résultats sur deux axes :

- l'identification des zones sensibles (i.e. où le froid limite la présence des espèces) et l'analyse des facteurs de vulnérabilité dans les conditions climatiques historiques selon chaque modèle, en déterminant dans quelle mesure ce sont les mêmes processus à l'œuvre, et d'où viennent les différences observées (processus manquant, mal caractérisé...)
- la prédiction de la vulnérabilité future des arbres au froid, en caractérisant les facteurs climatiques (comme l'intensification de la variabilité et des extrêmes) qui influencent le risque lié au froid et l'augmentation potentielle de la divergence entre les modèles.

Au cours du stage, l'étudiant-e découvrira plusieurs approches de modélisation, dans deux laboratoires différents. Il-elle obtiendra ainsi un bon aperçu des outils actuellement mobilisés dans cette communauté scientifique, et une expérience essentielle s'il-elle souhaite poursuivre sa carrière dans la recherche. Les données nécessaires au bon déroulement des simulations ont déjà été rassemblées et formatées par A. Baranger et V. Van der Meersch, ce qui permettra à l'étudiant-e de se concentrer sur la compréhension des approches de modélisation et l'analyse fine des simulations.

Organisation : L'organisation exacte du stage sera discutée avec l'étudiant-e, mais nous proposons la suivante : 3.5 mois à Montpellier, puis 2.5 mois à Grenoble. Il-elle recevra une gratification de stage (au taux horaire minimum en vigueur). Le trajet aller/retour entre les deux villes sera pris en charge.

Tout au long du stage, l'étudiant-e interagira avec ces deux encadrants, ainsi qu'avec leurs directeurs de thèse respectifs (Georges Kunstler, Thomas Cordonnier, Isabelle Chuine). Pour faciliter ces échanges, il-elle sera fortement incité-e à utiliser des outils collaboratifs favorisant l'analyse et la reproductibilité des résultats (Git, Markdown).

Profil recherché : M2 Ecologie/Elève ingénieur agronome (dernière année ou césure). Fort intérêt pour les écosystèmes forestiers et la modélisation. Compétences en statistiques et en programmation (R).

References

- Chuine, I. and Beaubien, E. G. (2001). Phenology is a major determinant of tree species range. *Ecology Letters*, 4(5):500–510.
- Dormann, C. F., Schymanski, S. J., Cabral, J., Chuine, I., Graham, C., Hartig, F., Kearney, M., Morin, X., Römermann, C., Schröder, B., and Singer, A. (2012). Correlation and process in species distribution models: bridging a dichotomy. *Journal of Biogeography*, 39(12):2119–2131.
- Van der Meersch, V. and Chuine, I. (2023). Estimating process-based model parameters from species distribution data using the evolutionary algorithm CMA-ES. *Methods in Ecology and Evolution*, 14(7):1808–1820.