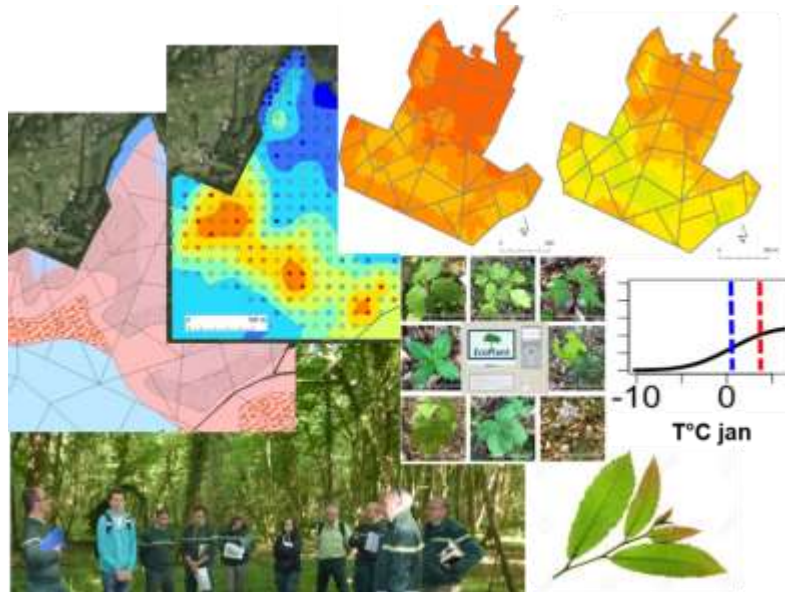




FORMANCLIM



New tools for site classification and choice of tree species: Application to Forest Management in Climatic change context.

Responsable scientifique : Paulina PINTO GONZALEZ, UMR Silva

Partenaires Labex : Myriam Legay, Noemie Pousse (RDI-ONF) ; Jean-Claude Gégout, Eric Lacombe, Christian Piedallu (UMR Silva-AgroParisTech).

Collaborations : Quentin Ponette (Earth and life Institute, Forest Science, Université de Louvain (Belgique), Gersande Gérard (ONF-Agence de Verdun), Milène Gentils (ONF-Agence Versailles).

Contexte — Le choix des essences à favoriser dans le cadre d'un aménagement forestier, repose sur la bonne adéquation entre les caractéristiques du milieu et l'écologie des essences choisies. Pour ce choix, l'aménagiste dispose d'outils traditionnels d'aide à la décision (i.e. catalogues de stations et guides pour le choix des essences) ne lui permettant pas d'intégrer les évolutions du climat dans le processus de prise de décision. Des méthodes formalisées reliant la distribution des essences aux paramètres du climat ont été développées à partir des années 2000. Couplées à des modèles de changement climatique, elles sont susceptibles de permettre le choix d'essences adaptées à la fois au climat actuel et au climat futur. En parallèle à ces travaux, des modèles spatialisés d'évaluation quantitative de l'acidité, de la disponibilité en azote et de l'engorgement des sols par des méthodes optimisées de bioindication avec la flore forestière ont été développés. Les modèles climatiques et édaphiques ont été intégrés avec succès pour produire des modèles environnementaux permettant de prédire la variabilité de distribution et de croissance des essences à l'échelle nationale en fonction des conditions actuelles et futures de sol et de climat. Ces modèles n'ont pas encore été évalués aux échelles locales de la forêt et du peuplement. Le manque de connaissances sur leur précision à cette échelle rend délicat de préconiser ces nouveaux outils pour la gestion opérationnelle des forêts.

Objectifs — Appliquer à l'échelle locale ces nouveaux outils de caractérisation des conditions du milieu et de la distribution des essences afin d'intégrer l'impact des changements climatiques lorsque les gestionnaires sont confrontés au choix des essences. Objectifs spécifiques : (i) évaluer l'efficacité de la cartographie de l'acidité du sol en utilisant le nouveau protocole d'évaluation des propriétés du sol basé sur la bio-indication des plantes, (ii) évaluer l'efficacité des modèles de distribution calibrés à l'échelle nationale en utilisant des prédicteurs climatiques et édaphiques pour évaluer les zones adaptées aux essences à l'échelle de la gestion forestière.

Démarche — En utilisant les valeurs indicatrices EcoPlant et des inventaires floristiques partiels, l'acidité du sol, l'azote et la nutrition minérale ont été estimés sur 274, 210 et 293 placettes réalisées sur une grille d'échantillonnage systématique de 50 x 50 à 250 m x 250 m dans trois forêts de plaine du Centre et du Nord-Est de la France (respectivement Marly-le-Roi, Cierges-sous-Montfaucon et Neuville-en-Argonne). Les estimations du pH au niveau de la placette ont été cartographiées au niveau de la forêt à l'aide de méthodes d'interpolation. Un jeu de données complémentaires comprenant 37, 20 et 55 placettes réparties de manière aléatoire à Marly-le-Roi, Cierges-sous-Montfaucon et Neuville, avec des inventaires floristiques et des mesures du pH du sol, a permis d'évaluer la qualité de l'approche de bio-indication et des cartes de pH. La performance des prédictions spatialisées localement a été évaluée par le carré de la corrélation linéaire (R^2) et l'erreur quadratique moyenne (EQM) entre le pH mesuré et le pH cartographié. Des modèles de distribution calibrés à l'échelle de la France pour neuf espèces de feuillus et de conifères de grande importance économique ont été appliqués sur les 777 placettes des 3 forêts étudiées et sur 168 placettes de la forêt de Rupt-Sur-Moselle, une forêt de montagne du nord-est de la France. L'efficacité des modèles de distribution a été évaluée par les indices AUC et TSS calculés à partir des occurrences prévues et observées des espèces à échelle locale.

Résultats marquants — (présentés sous forme de puces séparées)

- Nos résultats ont montré que l'optimisation des méthodes de bioindication permet aux gestionnaires de décrire la variation spatiale intra-forêt de l'acidité, la disponibilité en azote et la nutrition minérale (pH, C/N, S/T, respectivement). Nous avons également confirmé la cohérence du nouveau protocole de caractérisation écologique des sites forestiers dans le cadre de la gestion des forêts.

- Les cartes d'acidité basées sur les méthodes de bio-indication permettent de distinguer les situations oligotrophes et eutrophes à l'échelle de la forêt avec une précision proche de 0.5 unité de pH (EQM de 0,47, 0,45 et 0,61 à Cierges, Neuville et Marly-le-Roi, respectivement).

- Les modèles de distribution des espèces (SDM) incluant le climat, l'acidité du sol et la disponibilité d'azote peuvent expliquer de manière significative la distribution des 9 espèces étudiées à l'échelle locale avec un succès de prédiction atteignant 85%. La performance locale des SDM, évaluée par l'aire sous la courbe (AUC) calculée à l'échelle de la forêt, a révélé des bons à excellents niveaux (de 0,70 à 0,91) avec une performance inférieure (AUC de 0,52) pour *Pinus sylvestris*, une espèce pionnière. La variation spatiale de la distribution des espèces d'arbres est mieux prédite pour les espèces ayant une niche fortement contrôlée par les conditions du sol (par exemple, les espèces exigeantes en nutriments comme *Fraxinus excelsior* ou les espèces acidiphiles comme *Castanea sativa* avec une AUC de 0,85 et 0,91, respectivement). La performance maximale du modèle a été atteinte dans un contexte montagneux où les conditions climatiques et de sol sont très variables (l'AUC moyenne dans les forêts de plaine et de montagne était de 0,70 et 0,78, respectivement).

Principales conclusions incluant des points-clés de discussion —

- Nos résultats ont permis de confirmer que le protocole optimisé en temps pour l'acquisition des relevés floristiques, défini dans le cadre du projet Labex OBUP, est une méthode utile et suffisamment précise pour la cartographie des propriétés du sol à l'échelle du peuplement dans le contexte de la gestion forestière.

- Nos résultats soulignent que, au sein d'une enveloppe climatique favorable, les modèles de niche étudiés ont permis d'identifier des variations environnementales à fine échelle de la probabilité de présence des essences, ce qui est utile lorsque l'objectif est de cartographier les zones favorables ou non pour les essences à l'échelle de la forêt. Cette approche, prenant en compte à la fois les conditions de sol et de climat, permet d'intégrer les futurs changements environnementaux dans les outils de décision pour la gestion forestière.

Perspectives —

Les écosystèmes méditerranéens n'ont pas été inclus dans nos recherches malgré leur vulnérabilité dans un contexte de changement climatique. Le protocole d'étude de la végétation optimisé dans le temps pourrait être une méthode utile pour la cartographie des caractéristiques du sol au niveau des peuplements dans les forêts méditerranéennes. Couplée à des modèles de niche et de croissance, cette approche de la description des sites pourrait produire des informations utiles pour les gestionnaires forestiers.



Effet levier du projet

Dans le cadre de l'évaluation des conditions stationnelles, le projet Formanclim rend les **méthodes de bio-indication** plus accessibles aux gestionnaires pour évaluer la qualité du site en utilisant les espèces végétales. L'utilisation du protocole d'étude de la végétation optimisé dans le temps, employé dans ce projet pour le choix des essences, a récemment **été élargie avec succès pour le classement des sites dans la typologie Habitat** de la directive européenne Natura 2000 (Thèse Lise Maciejewski 2021). La simplification des protocoles flore ouvre aussi la voie aux sciences participatives pour une surveillance plus large des écosystèmes.

Dans un contexte environnemental changeant, l'applicabilité à l'échelle locale des méthodes quantitatives de bioindication, qui permettent de relier, à fine échelle, la qualité du site aux **modèles de distribution** et de productivité des essences, apporte de nouvelles informations aux gestionnaires forestiers tenant compte des effets attendus du changement climatique sur les essences en place. Le Projet FormanClim contribue enfin, de par ses résultats et nouveaux dispositifs de données, à l'amélioration de la cartographie à large échelle des variables sol et à leur test pour le choix d'une résolution pertinente (MSc. Eloise Pederosi, 2019 ; Projet RESCAL, en cours, dirigé par Christian Piedallu).