

Sujet de stage niveau Master2

Suivi de la croissance des plantations de pins maritimes par télédétection satellitaire : découplage des effets génétiques et environnementaux

Contexte

Depuis quelques années, l'application de méthodes d'Intelligence Artificielle (IA) de type Computer Vision (basées sur le Deep Learning) a permis des avancées majeures dans l'analyse des données de télédétection. Jusqu'alors, l'interprétation des images satellites de très haute résolution était freinée par la complexité des processus de transfert radiatif. L'IA a permis de lever ces verrous donnant lieu à de nombreux travaux réalisés à des échelles continentales, par exemple, pour la délimitation de la couronne des arbres (Feng et al., 2024), l'estimation du stock de carbone (Tucker et al., 2023) ou encore la mesure de la hauteur des arbres (Ticehurst and Newnham, 2024).

Au niveau de la France, des travaux menés par le Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE) en collaboration avec INRAE Villenave d'Ornon ont permis de produire des cartes de hauteur des arbres à une résolution spatiale de 10m (Schwartz et al., 2024). Cette année, le même consortium a publié les premières séries de cartes annuelles sur la période 2016-2024 permettant de suivre l'évolution de la croissance des forêts : la base de données FORMS-T: Forest Multiple Source Temporal (Schwartz et al., 2025). Ce produit satellitaire sur les forêts est amené à devenir un des produits phares du pôle national de télédétection (THEIA).

Objectifs

Chaque année, environ 20 millions de pins maritimes, issus des variétés du programme d'amélioration génétique géré par INRAE et le FCBA, sont plantés en France, essentiellement dans les Landes de Gascogne. Le suivi de la croissance des plantations de pins maritimes par télédétection ouvre la possibilité de mieux estimer les performances des variétés améliorées en fonction des stations et du climat. Les modèles d'estimation de la hauteur des arbres développés par IA à partir d'images satellites offrent désormais la possibilité de suivre quasiment en temps réel la croissance des plantations alors que, jusqu'à présent, seules les coupes permettaient d'avoir une estimation de la productivité des peuplements. Nous utiliserons les estimations de hauteur et de biomasse obtenues par télédétection pour mieux caractériser la croissance des peuplements en fonction de l'origine génétique des arbres (générations successives des variétés améliorées pour la croissance et la rectitude : VF2, VF3, variétés interprovenances de type Landes x Corse LC1, LC2) et en fonction de la station forestière (caractéristiques du sol et du climat). Pour cela, nous collaborerons avec la coopérative Alliance Forêt-Bois qui est la première coopérative forestière française et qui réalise presque 50% des plantations de pins maritimes. Elle dispose d'une base de données avec des informations sur les plantations réalisées depuis 2001 (localisation du peuplement, origine génétique des plants, opérations sylvicoles depuis la plantation). Des données quantitatives de récolte de bois lors des coupes d'éclaircie et des coupes de renouvellement pourront également être utilisées afin de calibrer les modèles.

Ce travail de Master a pour objectif, en s'appuyant sur la base de données télédétection de croissance (FORMS-T), d'évaluer les performances de croissance et production des pins en fonction des variétés génétiques et des conditions environnementales de la station forestière (propriétés des sols, climat).

Méthodologie

La première partie du travail portera sur la constitution d'une base de données (localisation, âge, variété génétique) sur un réseau de peuplements de pins gérés par ALLIANCE, et localisés sur des sites contrastés (au niveau pédologique et climatique).

La deuxième étape portera sur la validation de FORMS-T sur le réseau de peuplements de ALLIANCE. Un travail de terrain permettra de compléter les informations pour certains peuplements du réseau de ALLIANCE, en particulier pour acquérir des mesures de hauteurs des arbres afin de valider les données de hauteur de FORMS-T. Le stagiaire travaillera avec l'UMR BIOGECO pour réaliser ces mesures qui se feront par survol drone des peuplements.

En termes de validation, une des étapes possibles sera aussi d'évaluer la base de données FORMS-T de biomasse avec les données ALLIANCE de volume de bois, collectées au moment des coupes forestières.

Dans une 3ème étape, une fois validée, la base de données FORMS-T permettra d'estimer la croissance sur chaque peuplement du réseau ALLIANCE.

Une analyse statistique des données FORMS-T sera menée afin d'identifier les déterminants génétiques (variété) et environnementaux (station forestière, sylviculture) de la croissance / productivité des plantations de pins maritimes, ainsi que les éventuelles interactions entre génétique et environnement.

Encadrement

Ce stage bénéficiera d'un co-encadrement entre les UMR ISPA (INRAE Villenave d'Ornon, Jean-Pierre Wigneron, Frédéric Frappart) et BIOGECO (INRAE Pierroton, Laurent Bouffier). Le stagiaire se rendra sur le site de ALLIANCE et sera en interaction avec Loïc Cotten, directeur du Développement de la coopérative Alliance Forêt Bois pour constituer le réseau de peuplements.

Le stagiaire bénéficiera d'un bureau sur les deux sites INRAE (Villenave d'Ornon et Cestas-Pierroton, qui est juste à proximité du site ALLIANCE). Les deux sites INRAE sont accessibles en transport en commun depuis Bordeaux.

Compétences

- connaissance et intérêt pour la filière forêt-bois et les enjeux climatiques
- SIG
- statistiques
- curiosité / goût pour le travail en équipe
- des compétences en télédétection seraient un plus

Indemnité

L'indemnité de stage sera d'environ 600€ mensuels. INRAE prend en charge 50% des abonnements de transport en commun.

Durée stage

Le stage débutera début 2026 pour une durée de 6 mois. La date de début pourra être adaptée en fonction du candidat.

Processus de recrutement

Un CV et une lettre de motivation sont à envoyer à laurent.bouffier@inrae.fr avant le 31 octobre 2025. Un entretien sera organisé pour les candidats sélectionnés.

Bibliographie

Feng, Y., Ciais, P., Wigneron, J.P. *et al.* (2024) Global patterns and drivers of tropical aboveground carbon changes. *Nat. Clim. Chang.* **14**, 1064–1070, <https://doi.org/10.1038/s41558-024-02115-x>

Ticehurst, C., & Newnham, G. (2024). Producing annual Australia-wide vegetation height images from GEDI and Landsat data. *International Journal of Remote Sensing*, 45(18), 6445–6469. <https://doi.org/10.1080/01431161.2024.2391093>

Tucker, C., Brandt, M., Hiernaux, P. *et al.* (2023) Sub-continental-scale carbon stocks of individual trees in African drylands. *Nature* **615**, 80–86, <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05653-6>

Schwartz M., Ciais C., Ottlé C., De Truchis A., Vega C., Fayad I., Brandt M., Fensholt R., Baghdadi N., Morneau F., Morin D., Guyon D., Dayau S., Wigneron J.P. (2024) High-resolution canopy height map in the Landes forest (France) based on GEDI, Sentinel-1, and Sentinel-2 data with a deep learning approach, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, **128**, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.103711>

Schwartz M., Ciais P., Sean E., de Truchis A., Vega C., Besic N., Fayad I., Wigneron J.P., Brood S., Pelissier-Tanon A., Pauls J., Belouze G., Xu Y. (2025), Retrieving yearly forest growth from satellite data: A deep learning based approach, *Remote Sensing of Environment*, **330**, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2025.114959>