

Impact de l'engorgement temporaire sur le statut nutritionnel et la croissance des chênaies du réseau RENECOFOR

Sujet de stage de M2 ou de 3^{ème} année d'école d'ingénieur 2025-2026

Problématique

En France métropolitaine, environ 2,4 millions d'hectares de sols forestiers sur 16,9 millions présentent des traces d'hydromorphie à moins de 60 cm de profondeur. Dans certaines régions, ces sols peuvent couvrir jusqu'à 70 % des surfaces forestières (Petitjean et al. 2022), soulignant l'importance des conditions d'engorgement dans les forêts françaises. Les peuplements installés sur des sols à engorgements temporaires sont exposés à deux risques successifs :

- l'hypoxie liée à l'engorgement, qui limite la diffusion et la disponibilité de l'oxygène pour les racines et les micro-organismes aérobies du sol, perturbant ainsi le cycle des nutriments et la nutrition minérale des arbres (Rennenberg et al. 2009; Kreuzwieser and Gessler 2010) ;
- le déficit hydrique lié à la sécheresse, souvent intensifié par une colonisation limitée des racines fines, ce qui réduit la capacité des arbres à accéder au réservoir en eau profond de ces sols (Lefèvre and Levy 2001).

Les scénarios climatiques pour l'Europe centrale projettent une augmentation des précipitations hivernales et printanières, ainsi que des épisodes pluvieux estivaux plus extrêmes (IPCC 2021), entraînant une fréquence et une intensité accrues des engorgements y compris pendant la saison de croissance (Christensen and Christensen 2003; Lehmkuhl et al. 2022). Dans le même temps, la hausse des températures et la diminution des précipitations estivales devraient augmenter la fréquence et la durée des sécheresses (IPCC 2021). Ainsi, les changements climatiques intensifieront les risques liés à l'eau dans les forêts sur sol à engorgement temporaire, déclenchant des effets en cascade sur les processus et les fonctions du sol, ainsi que sur l'écophysiologie des arbres. À terme, la croissance, la productivité et la survie des peuplements pourraient être menacées.

La sécheresse et l'engorgement perturbent les processus microbiens du sol et affectent la nutrition minérale des arbres en modifiant la disponibilité des nutriments et en limitant la capacité d'absorption des racines. La sécheresse réduit la biomasse microbienne, les activités enzymatiques microbiennes et la mobilité ionique (Rennenberg et al. 2009; Baldrian et al. 2010), tandis que l'engorgement diminue la disponibilité des nitrates en raison d'une dénitrification accrue et d'une nitrification réduite (Rennenberg et al. 2009; Kreuzwieser and Gessler 2010). Bien que des études antérieures aient établi un lien entre la disponibilité en eau du sol ou les fluctuations du niveau de nappe et les paramètres microbiens du sol et le cycle des nutriments, la compréhension mécanistique de la manière dont la dynamique de l'eau du sol influence les cycles des nutriments à travers les échelles spatiales et temporelles reste mal comprise (Zhu et al. 2018). Il est essentiel d'étudier ces interactions dans des conditions naturelles afin de mieux comprendre comment les cycles des nutriments réagissent aux fluctuations de la disponibilité en eau du sol.

Ainsi, il est essentiel de mener des études *in situ* sur les interactions entre la dynamique de l'eau dans le sol, les processus microbiens du sol, le cycle des nutriments et les réponses écophysiologiques des arbres dans les forêts matures aux sols temporairement gorgés d'eau afin d'anticiper les impacts sur la résilience des forêts.

Objectif du stage

Ce stage vise à évaluer l'influence de l'engorgement temporaire des sols sur le statut nutritionnel, sur la croissance radiale et sur la phénologie foliaire des peuplements de chênes du réseau RENECOFOR.

Matériel et méthodes

L'étudiant.e analysera les données existantes du réseau RENECOFOR comprenant des peuplements de chênes matures sur des sols à engorgement temporaire (15 sites dont 10 chênes sessiles et 5 chênes pédonculés) et sans engorgement temporaire (14 sites dont 3 chênes pédonculés, 9 chênes sessiles et 2 en mélange). La diversité géographique du réseau RENECOFOR permet d'intégrer une gamme diversifiée de conditions pédoclimatiques. Ces sites RENECOFOR nous permettront également de tester différentes caractéristiques des peuplements, telles que la surface terrière et l'âge des peuplements (variant de 65 à 169 ans).

Les caractéristiques de sol et de peuplement de chacun des sites RENECOFOR seront mobilisées afin de paramétrer le modèle de bilan hydrique forestier [BILJOU®](#). Les données météorologiques à long terme seront utilisées pour effectuer les simulations. Afin de mieux comprendre les réponses écophysiologiques des arbres face aux risques liés à l'eau, les résultats des simulations du modèle BILJOU® seront confrontées avec les données biologiques de croissance radiale (mesurée depuis 2016) et les analyses foliaires (collectées depuis 1993) traduisant le statut nutritionnel des arbres. Cette analyse devrait permettre d'évaluer les réponses à long terme aux stress multiples des peuplements de chênes sur les sols à engorgement temporaire.

Profil recherché

Aptitudes thématiques

Le/la candidat.e devra avoir un intérêt marqué pour :

- la biologie, l'écologie et/ou l'écophysiologie,
- la manipulation et les analyses statistiques de données et la modélisation avec le logiciel R,
- les outils de bureautique (Excel, Word, PowerPoint).

La connaissance et les expériences préalables dans certains de ces domaines constituent un atout, mais ne sont pas requises.

Aptitudes générales

- Esprit critique et goût pour le travail de modélisation.
- Grande rigueur, soin, sens de l'organisation et bonnes capacités rédactionnelles.
- Aptitude au travail en équipe et à la collaboration interdisciplinaire.
- Ouverture d'esprit, curiosité scientifique.
- Dynamisme et motivation pour le travail d'analyses.

Collaborateurs

- Caroline PETITJEAN, Maîtresse de conférences spécialiste des sols forestiers, équipe ECOSILVA, UMR SILVA, AgroParisTech.
- Joseph LEVILLAIN, Ingénieur de Recherche spécialiste des sols forestiers, équipe ECOSILVA, UMR SILVA, INRAE.
- Nathalie BREDA, Directrice de recherche, spécialiste écophysiologie et changement climatique, équipe ECOSILVA, UMR SILVA, INRAE

Lieux de travail

Le stage se déroulera dans les locaux de l'UMR SILVA (INRAE Champenoux ou AgroParisTech Nancy) en interaction avec l'équipe du projet OASIS (**O**aks **A**nd **S**oil Interactions under **S**tresses).

Conditions pratiques du stage

- Gratification de stage sur les 6 mois : environ 540 à 590 €/mois.
- Accès à tarif préférentiel au self du centre INRAE de Champenoux.
- Droit à une carte de bus pour le transport gratuit depuis Nancy vers le site de Champenoux.
- Comité d'Entreprise (ADAS) pour un accès aux activités sportives et culturelles.
- Dispositifs de développement des compétences : formation, conseil en orientation professionnelle.

Modalités de candidature

Envoyer un CV et une lettre de motivation aux personnes ressources ci-dessous avant le 15 décembre.

Joseph LEVILLAIN, joseph.levillain@inrae.fr, 03 83 39 40 74

Caroline PETITJEAN, caroline.petitjean@agroparistech.fr, 03 83 39 68 82

Références bibliographiques

- Baldrian P, Merhautová V, Petránková M, et al (2010) Distribution of microbial biomass and activity of extracellular enzymes in a hardwood forest soil reflect soil moisture content. *Applied Soil Ecology - APPL SOIL ECOL* 46:177–182. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2010.08.013>
- Christensen JH, Christensen OB (2003) Severe summertime flooding in Europe. *Nature* 421:805–806. <https://doi.org/10.1038/421805a>
- IPCC (2021) *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press
- Kreuzwieser J, Gessler A (2010) Global climate change and tree nutrition: influence of water availability. *Tree Physiol* 30:1221–1234. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpq055>
- Lefèvre Y, Levy G (2001) La forêt et sa culture sur sol à nappe temporaire. Contraintes subies. Choix des essences. Interventions et gestion durable. ENGREF
- Lehmkuhl F, Schüttrumpf H, Schwarzbauer J, et al (2022) Assessment of the 2021 summer flood in Central Europe. *Environmental Sciences Europe* 34:107. <https://doi.org/10.1186/s12302-022-00685-1>
- P B, R L-M, P K (2023) Forest microbiome and global change. *Nature reviews Microbiology* 21:. <https://doi.org/10.1038/s41579-023-00876-4>
- Petitjean C, Bastianelli M, Levillain J, et al (2022) Les sols forestiers à nappe temporaire : fonctionnement, particularités et enjeux actuels. *Forêt Wallonne (1988 - 2015) Devient Forêt Nature* 163:53
- Rennenberg H, Dannenmann M, Gessler A, et al (2009) Nitrogen balance in forest soils: nutritional limitation of plants under climate change stresses. *Plant Biol (Stuttg)* 11 Suppl 1:4–23. <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2009.00241.x>
- Zhu Q, Castellano MJ, Yang G (2018) Coupling soil water processes and the nitrogen cycle across spatial scales: Potentials, bottlenecks and solutions. *Earth-Science Reviews* 187:248–258. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.10.005>