

Titre : **SEFORE** : Santé des Ecosystèmes FOREstiers : cycles biogéochimiques des nutriments et du carbone en climat tempéré à boréal

Ce projet dispose déjà d'une demi bourse de thèse ENGEES acquise

Directrice : Marie-Claire Pierret (BISE), Co-directrice : Emilie Beaulieu (TRHYCO)

1. Contexte sociétal et scientifique

Les besoins mondiaux en bois sont en constante augmentation depuis plus de 40 ans (<http://www.fao.org/faostat>), engendrant une pression anthropique croissante. Le bois est souvent considéré comme une source renouvelable et donc associée au développement économique durable. Cependant, des signes de dépérissement forestier sont identifiés dès les années 70 en Europe et en Amérique du Nord, en lien avec les pluies acides et sont maintenant également recensés en Asie, en Afrique et en Amérique du Sud pour différentes causes (sécheresses, parasites, tempêtes, surexploitation).

Les sols et la biomasse représentent le réservoir mondial de carbone le plus important (Robert et Saugier, 2003). La moitié est localisée en milieu forestier et les plus gros stocks de C pédologiques sont dans les environnements boréaux. Cependant, les activités humaines (déforestation, sylviculture intensive, augmentation des émissions de CO₂) et leurs conséquences (réchauffement de l'air et des sols, modification du régime pluviométrique, fonte des pergélisols) perturbent la réactivité des sols et les cycles associés en carbone et nutriments.

Enfin, le changement climatique (chaleur, pluie, rayonnement) modifie la réactivité des sols et la dynamique écologique des forêts (croissance, recyclage, parasites). Ces phénomènes vont donc impacter la biodisponibilité des nutriments et la vitesse et l'intensité de la dégradation de la MO (Zimov et al., 2016), entraînant ainsi une augmentation des émissions de gaz à effet de serre (CO₂ et CH₄), et donc du changement climatique dans une boucle de rétroaction néfaste, pouvant conduire à un point de basculement (Lenton et al., 2011 ; 2019).

Ce projet propose d'étudier et de comparer la réactivité de la MO et des nutriments de sols provenant d'environnements contrastés (forêt tempérée et boréale).

Par ailleurs, pour améliorer la fertilité des sols, les amendements calco-magnésiens de forêts sont parfois préconisés afin d'augmenter la réserve en Ca, Mg ou K des sols. Mais leurs impacts sur la réactivité des sols sont peu documentés, contrairement aux sols agricoles. Or ils peuvent modifier structure, équilibres chimiques ou biologiques des sols. Nous proposons de tester l'impact d'amendements, sur la réactivité et la vitesse de dégradation de la MO, sur les communautés bactériennes, ainsi que sur la mobilité des nutriments.

Puisque la dynamique du carbone (puits et source) est étroitement liée aux cycles biogéochimiques de plusieurs nutriments (N, P, Ca et Mg) et à l'activité microbienne ; **il est donc fondamental de rassembler les communautés scientifiques étudiant ces différents aspects, souvent séparément, en combinant des techniques, des approches, des visions et/ou des perspectives complémentaires.**

Le complexe argilo-humique **CAH**, formé de matière organique et d'argiles, représente le réservoir le plus réactif et le plus riche en nutriments dans les sols forestiers. Ses caractéristiques, sa réactivité et son évolution vis-à-vis des changements climatiques et anthropiques vont donc contrôler la biodisponibilité des nutriments, et par conséquent la fertilité des sols et la santé des forêts dans le futur, ainsi que le bilan carbone de ces écosystèmes.

Les objectifs scientifiques de cette thèse sont de travailler avec deux écosystèmes forestiers sous climat tempéré à froid afin d'obtenir :

1. Une meilleure caractérisation et identification de la réactivité et de la nature du CAH
2. Le développement d'une approche expérimentale en colonne de sol pour mieux identifier et caractériser les processus responsables de la mobilité des nutriments dans des sols forestiers.
3. Une évaluation expérimentale de l'impact du déficit hydrique et des amendements calco-magnésiens sur la réactivité du CAH,
4. Une amélioration des modèles géochimiques déjà existants sur la prise en compte de ces processus,
5. Des projections futures de la fertilité des sols et des couverts végétaux, incluant scénarii de changements climatiques et gestion sylvicole.

L'originalité de cette étude est de combiner i) plusieurs outils issus de disciplines différentes dont certaines travaillent rarement ensemble (pédologie, minéralogie, isotopie, chimie organique, microbiologie, écologie, géophysique, modélisation), ii) des sites à des latitudes variées, et iii) de développer une approche expérimentale en laboratoire pour reproduire des processus naturels, actuels ou futurs afin d'aboutir à une modélisation couplée et intégratrice pour prédire la durabilité des forêts.

Les sites choisis

Nous proposons d'étudier en parallèle des sols provenant de deux écosystèmes forestiers sous climats tempérés et boréaux. Dans les deux cas les sols sont acides, pauvres en nutriments et sont représentatifs des sols forestiers de ces climats (SanClement et al., 2010 ; Prunier et al., 2015 ; Pierret et al., 2018, 2019, Patel

et al., 2018). Ces deux sites sont suivis depuis les années 90 et sont bien décrits.

1-Le bassin versant du Strengbach/climat tempéré (Vosges ; site de l'OHGE). Les plantations, en particulier d'épicéas, montrent des signes de dépérissement depuis les années 80 qui ont été fortement amplifiés par les canicules, les déficits hydriques et des attaques de parasite (scolytes) ces dernières années. Ces sols, déjà caractérisés précisément, ont fait l'objet d'expérimentations en réacteurs dans le cadre d'une précédente thèse (Oursin et al., 2021). Les résultats ont montré notamment la nécessité de travailler en colonne 1D et de mieux caractériser la matière organique.

2- Le Bear Brook Watershed dans le Maine (Nord Est des Etats-Unis)/climat froid avec lequel une collaboration scientifique existe depuis plusieurs années. Les sols ont déjà été prélevés lors d'une campagne organisée en octobre 2022.

2. Méthodologie et techniques mises en œuvre

Le travail s'organisera autour de deux approches complémentaires ; expérimentale et numérique.

L'expérimentation

Pour mener cette étude nous avons choisi de développer une approche originale qui consiste à étudier les sols via des expérimentations en laboratoire dans une démarche de reproduction analogique des processus naturels tout en réduisant leurs complexités. Nous réaliserons des colonnes 1D correspondant aux premiers horizons des sols des deux sites, et sous chaque couvert végétal (feuillus et résineux). Les expérimentations seront réalisées sur une durée de plusieurs mois (5/6 mois). Des solutions (pH et force ionique d'une pluie moyenne) vont circuler à travers les colonnes. Les solutions de sorties seront analysées régulièrement pour suivre l'évolution de la réactivité du milieu (chimie minérale et organique, isotopie Sr, C). Les analyses avant/après des sols et des argiles (caractérisations pédologiques, minéralogiques, chimiques, isotopiques et microbiologiques) spécifieront les évolutions des phases primaires et l'apparition éventuelle de phases secondaires, ainsi que l'évolution de la matière organique et des communautés bactériennes au cours des lessivages (Wild et al., 2019). La détermination de la nature de la matière organique, sa réactivité et son évolution dans le temps sera réalisée grâce à la spectroscopie IR (NIRS, MIRS), RMN, UV et fluorescence, CPG, rapport isotopique du C ($\delta^{13}\text{C}$). Cette démarche permettra d'étudier l'évolution temporelle qualitative et quantitative des stocks et de la réactivité des différents réservoirs de nutriments. Ces expérimentations seront réalisées pour trois contextes : en régime de pluie moyenne actuelle, en condition de déficit hydrique et en condition d'amendement calco-magnésien. Afin de simuler le contraste des saisons, les expérimentations seront réalisées alternativement à température ambiante et en chambre froide. Afin de disposer des paramètres hydro-dynamique nécessaires à la modélisation des mesures seront réalisées en cylindre mais aussi via du développement méthodologique avec des techniques de géophysiques (RMP en colonne)

La modélisation

Depuis plusieurs années, des modèles numériques d'altération continentale (WITCH) sont couplés à des modèles biosphériques (LPJ) dans le but de pouvoir reproduire le comportement des écosystèmes forestiers (Beaulieu et al., 2016). De précédentes études réalisées sur le bassin versant du Strengbach mettent en évidence les limites de ces modèles sur la prise en compte des processus impliquant le complexe argilo-humique (Beaulieu et al., 2020 ; Oursin et al., 2022). Les mécanismes contrôlés par ce complexe ne sont actuellement pas assez décrits et caractérisés pour être correctement inclus dans le modèle numérique.

Les travaux réalisés dans la partie expérimentale de la thèse permettront de mieux formaliser, modifier les équations existantes ou inclure de nouvelles équations dans le couplage des modèles numériques (WITCH-LPJ). Le modèle modifié permettra dans un second temps de simuler l'évolution de la fertilité des sols et des couverts végétaux sur les deux sites à l'échelle de la parcelle de sol et du bassin versant. Ensuite, des projections futures seront réalisées en fonction des scénarios du GIEC ainsi que des tests de sensibilité sur la hausse des températures, des changements de régimes pluviométriques ou encore sur les amendements calco-magnésiens ou des coupes.

3. Plan de réalisation (calendrier prévisionnel)

Calendrier prévisionnel	2023/2024				2024/2025				2025/2026			
Terrain/bibliographie/caractérisation												
Expérimentation en conditions naturelles												
Expérimentation amendement, déficit hydrique												
Modélisation												
Rédaction, valorisation												