

Titre : étude des isotopes du bore dans le système eau-sol-plante vers un indicateur de l'évolution des écosystèmes forestiers face aux changements climatiques

Title: study of boron isotopes in the water-soil-plant system towards an indicator of the evolution of forest ecosystems under climate change (English version below)

Directeur de thèse : D. Lemarchand (EOST, Université de Strasbourg), contact : lemarcha@unistra.fr
co-Encadrement : M-P. Turpault (INRAE, Champenoux)

Contexte scientifique et état de l'art :

Les forêts assurent un grand nombre de services écosystémiques allant de la régulation du climat et des flux de matière, en particulier eau et carbone, à l'approvisionnement en ressources comme le bois ou encore au niveau culturel. Les écosystèmes forestiers sont vulnérables par leur structure et leur fonction et sont amenés à évoluer en réponse aux forçages climatiques et anthropiques. La quantité et qualité des nutriments biodisponibles ainsi que leur taux de renouvellement conditionnent la stratégie des plantes face à la conservation de ces nutriments en opposant des comportements conservateurs à ceux dispendieux, représentant ainsi un axe de diversification fonctionnel majeur des plantes vasculaires. Déterminer avec précision comment se répartissent les apports de nutriments entre les sources biologiques (recyclage) et les sources hydro-géochimiques (atmosphère et altération des minéraux) est un moyen d'évaluer la réponse des écosystèmes forestiers face aux changements environnementaux, d'étudier leur adaptation éventuelle et d'en prédire l'évolution. Cela peut également aider au management durable des écosystèmes et au maintien de la fertilité des sols, en particulier dans un contexte de demande croissante de la filière bois dans les décennies à venir. Enfin, et à plus large échelle de temps et d'espace, cela permet de mieux comprendre et de modéliser l'impact des changements climatiques sur les flux biogéochimiques exportés vers les océans et d'en interpréter les enregistrements sédimentaires du passé.

Une étude systématique des transferts d'éléments chimiques à travers les écosystèmes permet d'évaluer la réponse des écosystèmes forestiers face aux changements environnementaux et de faire un diagnostic de l'état de santé d'un écosystème bien avant que les conséquences deviennent visibles dans la végétation et le sol. Dans cette optique, une littérature abondante se focalise en particulier sur les cycles biogéochimiques de l'azote et du phosphore qui sont les deux éléments limitant la croissance des plantes. En parallèle, il est également largement démontré que la biodisponibilité de macronutriments tels que le potassium, le calcium et le magnésium ou de micronutriments tels que le bore, entre autres, affecte directement le fonctionnement des écosystèmes. Pour ces derniers, le développement analytique des isotopes stables dits non-traditionnels ouvre une nouvelle voie d'étude du cycle des nutriments dans les écosystèmes forestiers.

Objectif général et questions de recherche traitées

L'objectif général de ce sujet de thèse est d'étudier de façon plus approfondie les fractionnements isotopiques du bore dans différents compartiments biogéochimiques à l'échelle du système sol/plante et leur empreinte potentielle dans les eaux de surface. En particulier, nous cherchons à tester les hypothèses de travail suivantes :

- Les fractionnements isotopiques du bore observés entre les minéraux du sol et les différents organes de la plante sont le reflet de la stratégie de conservation du bore par les plantes en réponse à sa biodisponibilité dans le sol.
- En termes de signature isotopique du bore dans les différents organes d'un arbre, l'essence de celui-ci joue un rôle secondaire en comparaison du taux de renouvellement du bore dans le sol et donc de la stratégie de conservation des nutriments mise en jeu.
- L'approche méthodologique et le modèle développés pour les isotopes du bore dans le système sol/plante peuvent être étendus à d'autres macronutriments et servir ainsi d'outil diagnostique pour déterminer la fertilité des sols et l'évolution des écosystèmes forestiers face aux changements environnementaux.

Actions proposées, méthodologie

Pour répondre à l'ensemble des hypothèses de travail, nous proposons d'étudier de façon systématique les fractionnements isotopiques du bore dans les différents compartiments du système eau-sol-plante suivant les deux axes suivants :

- Une étude systématique de terrain en choisissant des sites déjà bien étudiés par ailleurs et formant un gradient entre des sources externes dominantes (renouvellement rapide des nutriments par les apports externes) et un recyclage important de la matière organique. Les sites du Strengbach (Vosges), de la ravine Quiock (Guadeloupe), de Mule Hole (Inde) et de Luquillo (Puerto Rico) offrent déjà des résultats préliminaires très encourageants qu'il faut encore compléter.
- Une manipulation expérimentale de sites naturels (en collaboration avec l'INRAE) en simulant des épisodes de sécheresse sur une parcelle de l'Observatoire Pérenne de l'Environnement (OPE, Montiers) qui provoquent des carences identifiées en nutriments.

Compétences :

Le ou la candidat.e devra avoir une connaissance approfondie des outils de la géochimie, en particulier les fractionnements isotopiques. Une expérience dans le travail en salle blanche est souhaitée mais pas obligatoire.

English version :

Scientific context and state of the art:

Forests provide a large number of ecosystem services ranging from climate regulation and material flows, in particular water and carbon, to the supply of resources such as wood and cultural services. Forest ecosystems are vulnerable by their structure and function and are subject to change in response to climatic and anthropogenic forcing. The quantity and quality of bioavailable nutrients as well as their renewal rate condition the strategy of plants in the face of the conservation of these nutrients by opposing conservative behaviors to expensive ones, thus representing a major functional diversification axis of vascular plants. Determining precisely how nutrient inputs are distributed between biological sources (recycling) and hydro-geochemical sources (atmosphere and mineral alteration) is a way to assess the response of forest ecosystems to environmental changes, to study their possible adaptation and to predict their evolution. This can also help in the sustainable management of ecosystems and the maintenance of soil fertility, especially in a context of increasing demand for the wood industry in the coming decades. Finally, and on a larger scale of time and space, it allows to better understand and model the impact of climate change on biogeochemical fluxes exported to the oceans and to interpret past sedimentary records.

A systematic study of chemical element transfers through ecosystems allows to assess the response of forest ecosystems to environmental changes and to diagnose the health of an ecosystem well before the consequences become visible in the vegetation and soil. In this perspective, an abundant literature focuses in particular on the biogeochemical cycles of nitrogen and phosphorus which are two elements limiting plant growth. In parallel, it is also widely demonstrated that the bioavailability of macronutrients such as potassium, calcium and magnesium or micronutrients such as boron, among others, directly affects the functioning of ecosystems. For the latter, the analytical development of so-called non-traditional stable isotopes opens a new way to study nutrient cycling in forest ecosystems.

General objective and research questions addressed:

The general objective of this thesis topic is to further investigate boron isotope fractionations in different biogeochemical compartments at the soil/plant system scale and their potential imprint in surface waters. In particular, we seek to test the following working hypotheses:

- Observed boron isotopic fractionations between soil minerals and different plant organs reflect the boron conservation strategy of plants in response to its bioavailability in the soil.
- In terms of the boron isotopic signature in the different organs of a tree, the tree species plays a secondary role compared to the turnover rate of boron in the soil and thus the nutrient conservation strategy involved.
- The methodological approach and model developed for boron isotopes in the soil/plant system can be extended to other macronutrients and thus serve as a diagnostic tool to determine soil fertility and the evolution of forest ecosystems in the face of environmental changes.

Proposed actions, methodology:

In order to answer all the working hypotheses, we propose to systematically study boron isotopic fractionations in the different compartments of the water-soil-plant system according to the following two axes:

- A systematic field study by choosing sites already well studied elsewhere and forming a gradient between dominant external sources (rapid renewal of nutrients by external inputs) and a significant recycling of organic matter. The sites of Strengbach (Vosges), Quioc Ravine (Guadeloupe), Mule Hole (India) and Luquillo (Puerto Rico) already offer very encouraging preliminary results that need to be completed.
- Experimental manipulation of natural sites (in collaboration with INRAE) by simulating drought episodes on a plot of the Observatoire Pérenne de l'Environnement (OPE, Montiers) that cause identified nutrient deficiencies.

Skills:

The candidate should have a thorough knowledge of geochemical tools, in particular isotopic fractionations. Experience in clean room work is desirable but not mandatory.