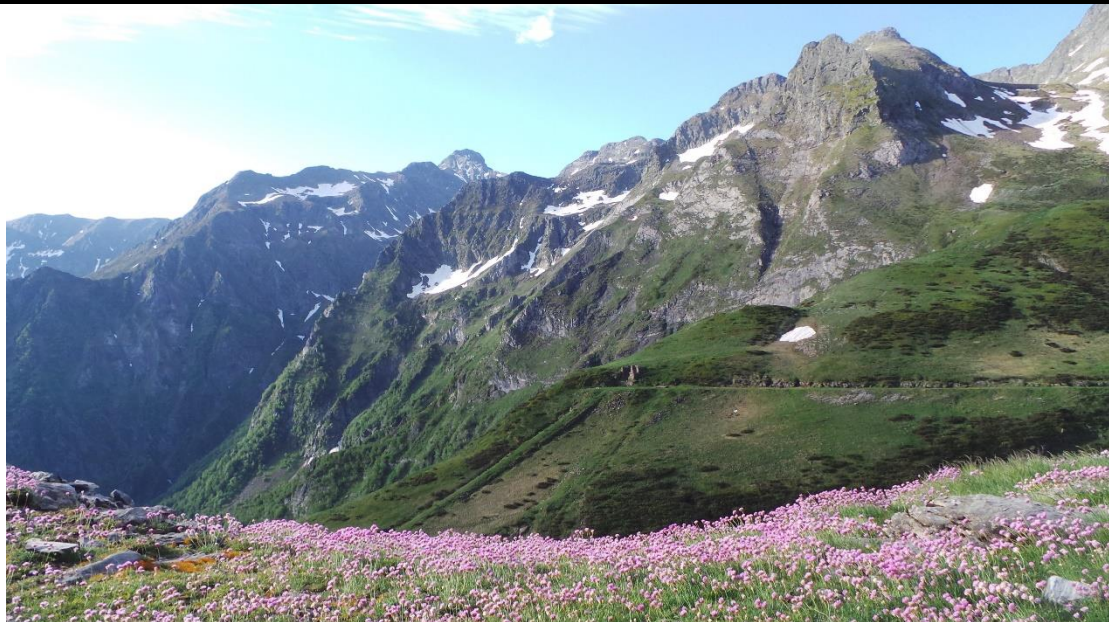


Thèse présentée pour obtenir le grade de docteur de l'**université de
Bordeaux**

ÉCOLE DOCTORALE : SCIENCES ET ENVIRONNEMENTS
Spécialité : Écologie évolutive, fonctionnelle et des communautés
Par **Hugo RANDE**

Influence du niveau de pollution métallique et des stratégies fonctionnelles sur les types d'effets en jeu dans les interactions entre plantes au niveau d'anciens sites miniers des Pyrénées



Sous la direction de : Richard MICHALET
Soutenue le : 08/03/2024

Membres du jury :

- M Dries BONTE, Professeur, Spatial Ecology and Evolution group, Université de Gent, **Examineur**
- Mme Hélène FREROT, Maîtresse de conférences, Université de Lille, CNRS, **Rapporteure**
- M Pierre LIANCOURT, Chargé de recherche, State Museum of Natural History Stuttgart, **Rapporteur**
- M Christophe NGUYEN, Directeur de recherche, INRAE équipe BIONET Villenave d'Ornon, **Examineur**
- M Richard MICHALET, Professeur, Université de Bordeaux, **Directeur de thèse**

Membre invité:

- M Florian DELERUE, Maître de conférences, ENSEGID Bordeaux, **Invité**

Résumé

Influence du niveau de pollution métallique et des stratégies fonctionnelles sur les types d'effets en jeu dans les interactions entre plantes au niveau d'anciens sites miniers des Pyrénées

Les interactions entre plantes dans les milieux impactés par les métaux/métalloïdes dépendent de nombreux facteurs et sont encore très peu connues. Tout d'abord elles semblent dépendre du niveau de pollution métallique du milieu, mais aussi des stratégies fonctionnelles végétales des plantes interagissant. D'autre part, les plantes peuvent avoir plusieurs types d'effets sur leur environnement proche, effets s'exprimant à des temporalités différentes. En effet, les plantes ont un effet immédiat via leur canopée et racines sur les ressources et le microclimat à proximité. Aussi, au cours d'une saison de végétation, les plantes peuvent avoir des effets liés à la production de la litière et sa décomposition dans les sols sous leur canopée. A plus long-terme, lorsque ce cycle de production/décomposition est répété au fil des années, les plantes vont avoir un effet lié à la dynamique de la matière organique dans les sols. Dans cette thèse, notre objectif principal était de différencier ces effets, et de comprendre comment les stratégies fonctionnelles végétales des plantes pouvaient influencer les différents effets en jeu le long de gradients de pollution métallique. Nous avons étudié ces effets pendant trois années (entre 2020 et 2022) dans une ancienne vallée minière des Pyrénées Ariégeoises (Sentein, France). Dans cette zone d'étude, nous avons étudié les interactions entre plantes par des méthodes observationnelles et de transplantations de cibles avec contrôle de la présence de canopée et/ou de la litière des plantes, sur trois sites d'étude : un terroir avec une pollution homogène et deux zones de résidus miniers avec des pollutions hétérogènes créant un gradient de pollution. Le long des gradients étudiés, les effets de canopée et de prélèvement racinaire ont suivi l'Hypothèse du Gradient de Stress, passant de la compétition à la facilitation avec l'augmentation de la pollution. Cette facilitation était d'autant plus forte que les espèces produisant l'effet sont dites « exploitatrices » (en lien avec l'exploitation des ressources du sol et Leaf Economic Spectrum), et bénéficiait le plus aux plantes les moins tolérantes aux métaux. Les effets positifs étaient surtout liés à l'amélioration des conditions microclimatiques lors d'épisodes chauds et secs en été. Concernant les effets liés à la production et décomposition des litières, des effets négatifs sur les plantes cibles ont été démontrés, suggérant des effets dits d'allélopathie élémentaire, et liés à la forte concentration en éléments métalliques dans les litières en décomposition. Ces effets négatifs de litière étaient maximums dans les milieux les moins pollués où les plantes métalphytes accumulatrices (qui ont des fortes teneurs en métaux dans leurs feuilles) et les plantes moins tolérantes aux métaux interagissaient. Ils étaient particulièrement marqués pour les cibles sensibles à la pollution métallique. Les résultats de cette thèse donnent des pistes potentielles pour utiliser la facilitation dans un cadre de phyto-management de milieux pollués par les métaux/métalloïdes, en prenant en compte explicitement les stratégies fonctionnelles végétales des plantes en interactions et le niveau de pollution en jeu. Des résultats obtenus pendant la canicule de 2022 nous donnent aussi une bonne vision des évolutions attendues des différents effets impliqués dans les interactions entre plantes dans les écosystèmes métallifères dans un contexte de changement climatique.

Mots-clés : interactions plante-plante, métaux/métalloïdes, éléments traces métalliques, stratégies fonctionnelles végétales, hyper-accumulation, allélopathie élémentaire, améliorations microclimatiques, tolérance au stress, hypothèse du gradient de stress, facilitation

Abstract

Influence of pollution level and functional strategies on the different effects driving plant interactions in several former mining sites in the Pyrenees

Plant-plant interactions have been overlooked in metal/metalloids-impacted environments and are likely driven by several factors whose influence is barely known. First, plant-plant interactions depend on the level of metal pollution, but also on the functional plant strategies of the interacting plants. Furthermore, plants can have several type of effects on their immediate environment, acting at different timescales. Plants canopy and roots have an instantaneous influence on the microclimate and available resources in their immediate vicinity. Then, during a growing season, the production of litter and its decomposition beneath their canopy can influence soil chemical and physical properties. In the longer term, when this cycle of litter production/decomposition is repeated over the years, the dynamics of the organic matter will influence soil conditions even more. In this thesis, our main objective was to delineate these effects, and to understand how plant functional strategies can influence these various effects along metal pollution gradients. We studied these effects during three consecutive years (from 2020 to 2022) in a former mining valley in the French Pyrenees (Sentein, Ariège, France). In this area, we studied interactions between plants using observational and target transplantation methods controlling for the presence of plant canopy and/or plant litter, in three study sites: a slag heap with homogeneous pollution and two mine tailings areas with heterogeneous pollution creating a gradient of pollution. Along these gradients, short-term canopy and root-uptake effects followed the Stress Gradient Hypothesis, switching from competition to facilitation as pollution increased. This facilitation was stronger when the species producing the effect were acquisitive (in relation with soil resources and the Leaf Economic Spectrum), and benefits more the low metal-tolerant plants. These positive effects were mainly due to the improvement of micro-climatic conditions during hot and dry episodes in summer. Concerning the effects linked to litter production and decomposition, negative effects on target plants were found, suggesting the so-called “elemental allelopathic” effects, in relation with the high concentration of metallic elements in the decomposing litter. These negative litter effects were more important in the least polluted environments, where metal-accumulating metallophyte plants (which have high concentration of metals in their leaves) and less metal-tolerant plants interacts. They were particularly marked for targets sensitive to metal pollution. The results of this thesis give important perspectives regarding the use of facilitation for the phyto-management of metals/metalloids-polluted environments, given that the functional strategies of interacting plants and the level of pollution involved are explicitly considered. Additionnaly, the results obtained during the 2022 heatwave provide useful insights regarding the expected evolution of the different effects driving plant interactions in metalliferous ecosystems in a climate change context.

Keywords : plant-plant interactions, metals/metalloids, trace metals, plant functional strategies, hyper-accumulation, elemental allelopathy, microclimatic amelioration, stress tolerance, stress gradient hypothesis, facilitation