

Résumés des thèses LSE 2023

Dani Sukkar

Résumé :

Les abeilles sont confrontées à la menace mondiale du syndrome d'effondrement des colonies (CCD), entraînant des décès de colonies et une diminution de leur nombre, affectant leur contribution environnementale et agronomique dans la pollinisation des plantes et des cultures commerciales, en plus de la production de miel. L'exposition aux pesticides peut être l'une des principales causes conduisant au CCD en affaiblissant le système immunitaire des abeilles et en altérant leurs réponses immunitaires. Les maladies de la nosérose causées par *Nosema* spp. peuvent avoir une contribution significative au CCD lorsque les abeilles sont exposées à différents pesticides simultanément. Dans cette étude, plusieurs facteurs de risque sont évalués, y compris les néonicotinoïdes les plus utilisés dans le monde, l'imidaclopride et l'amitraz qui est le pesticide utilisé directement en contact avec les abeilles pour traiter l'infection par les acariens. L'effet de ces pesticides est évalué au niveau de la stimulation immunitaire par zymosan A pour imiter l'infection par *Nosema*. L'effet des pesticides sur les produits cellulaires antimicrobiens, les réponses cellulaires et l'expression de gènes connexes est démontré.

Abstract :

Honeybees are facing the global threat of colony collapse disorder (CCD) leading colony deaths and decline in their numbers affecting their environmental and agronomic contribution in pollination of plants and commercial crops in addition to honey production. Pesticide exposure may be of the main causes leading to CCD by weakening the immune system of honeybees and impairing their immune responses. Nosemosis diseases caused by *Nosema* spp. may have a significant contribution to CCD when bees are exposed to different pesticides simultaneously. Multiple risk factors are assessed in this study including the most used neonicotinoids worldwide, imidacloprid and amitraz which is the pesticide used directly in contact with honeybees to treat mite infection. The effect of these pesticides is evaluated at the level of immune stimulation by zymosan A to mimic *Nosema* infection. The effect of pesticides on antimicrobial cells products, cellular responses and related genes' expression are demonstrated.

Emeline D'Incau

Résumé :

Les hydrocarbures pétroliers sont des contaminants organiques persistants dans l'environnement et toxiques pour les organismes vivants. Ils sont également souvent retrouvés dans les sols pollués. La réhabilitation des sols contaminés par ces composés organiques est donc primordiale. Cette réhabilitation peut être envisagée par différents traitements, dont la bioremédiation. Certains micro-organismes, dits hydrocarbonoclastes, sont alors utilisés pour leur capacité à exploiter les hydrocarbures comme source de carbone et/ou d'énergie et ainsi les biodégrader. Cependant, l'efficacité de cette biodégradation est limitée par le manque de biodisponibilité des contaminants organiques. L'apport et/ou la production de biosurfactants, agents tensioactifs par les micro-organismes peuvent être envisagés pour augmenter la solubilité de ces contaminants et donc pallier leur manque de biodisponibilité. L'objectif de cette thèse était donc d'améliorer la bioremédiation des

contaminations hydrocarbonées peu disponibles par la production/ajout de biosurfactants et la présence d'une plante qui va stimuler les micro-organismes dégradants. La première étape a permis de constater que les biosurfactants ne perturbaient pas la germination des plantes, mais qu'ils pouvaient impacter négativement leur croissance. Cet impact était d'autant plus élevé en présence d'hydrocarbures. Les expériences de biodégradation *in vitro* ont permis d'identifier la capacité de biodégradation d'un mélange complexe d'hydrocarbures et de production de biosurfactants par *Burkholderia thailandensis* et le consortium SHEMS1 isolé du sol historiquement contaminé étudié. Une étude plus approfondie sur les processus de sorption/désorption des biosurfactants et des hydrocarbures a permis de révéler une forte rétention du sol pour les biosurfactants empêchant la remobilisation des hydrocarbures. Un dernier travail de recherche a alors été orienté sur la biodégradation des hydrocarbures en hydroponie avec la présence de *B. thailandensis*, du ray-grass et de biosurfactants. La présence de ray-grass et de *B. thailandensis* a alors permis d'améliorer la biodégradation des hydrocarbures après 120 jours de culture. Une future application de ces organismes en bioremédiation de contaminations hydrocarbonées anciennes pourrait donc être envisagée.

Abstract :

Petroleum hydrocarbons are persistent organic contaminants in the environment, toxic to living organisms. They are also frequently found in polluted soils. It is therefore essential to remediate hydrocarbon-contaminated soils. This can be achieved through a variety of treatments, including bioremediation. Some microorganisms, known as hydrocarbonoclasts, are used for their ability to use hydrocarbons as a source of carbon and/or energy and thus to biodegrade them. However, the efficiency of this biodegradation is limited by the lack of bioavailability of organic contaminants. The addition and/or production of biosurfactants by microorganisms can be considered to increase the solubility of these contaminants and thus compensate for their lack of bioavailability. The aim of this thesis was therefore to improve the bioremediation of poorly available hydrocarbon contaminants through the production/addition of biosurfactants and the presence of a plant to stimulate the degrading microorganisms. The first stage showed that biosurfactants did not interfere with plant germination, but that they could have a negative impact on plant growth. This impact was all the greater in the presence of hydrocarbons. *In vitro* biodegradation experiments identified the biodegradation capacity of a complex mixture of hydrocarbons and the production of biosurfactants by *Burkholderia thailandensis* and the SHEMS1 consortium isolated from the historically contaminated soil studied. A more in-depth study of the sorption/desorption processes for biosurfactants and hydrocarbons revealed a high soil retention capacity for biosurfactants, preventing the remobilization of hydrocarbons. A final research project focused on hydrocarbon biodegradation in hydroponics using *B. thailandensis*, ryegrass and biosurfactants. The presence of ryegrass and *B. thailandensis* improved hydrocarbon biodegradation after 120 days of culture. A future application of these organisms in bioremediation of historical hydrocarbon contamination could therefore be considered.

Toho Hien

Résumé

Les concepts de capital naturel et de service écosystémique (SE) visent à mieux décrire et faire reconnaître la contribution des écosystèmes au bien-être, à la santé et à l'activité économique des Hommes. Les sciences économiques se focalisent davantage sur l'analyse des SE, tandis que les sciences du sol, à travers les caractéristiques des sols, développent des approches holistiques du capital naturel « sol ». Une description des sols via le capital naturel et les SE qu'ils sont en capacité de rendre peut alors contribuer à une reconnaissance et à la protection du compartiment sol des écosystèmes. Si les sols interviennent dans la quasi-totalité des activités socio-économiques, les modèles économiques utilisent le plus souvent des données de surface (approche foncière) tout en

ignorant les différentes propriétés bio-physico-chimiques des sols (approche pédologique). L'objectif principal de la thèse est alors d'analyser, à la fois sous les angles des sciences du sol et des sciences économiques, les concepts de capital naturel « sol » et de SE rendus par les sols. Il s'est agi, dans un premier temps, de faire l'état de l'art sur les concepts de capital naturel « sol » et de SE rendus par les sols dans les deux disciplines. Cette étape a permis de mettre en lumière le manque de cadre approprié permettant à ces sciences de collaborer pour une analyse plus efficace de ces concepts. Nous avons donc proposé un cadre conceptuel permettant de mobiliser, dans nos objectifs, à la fois les approches en sciences du sol et en sciences économiques. Cette étape a également permis de constater que les indicateurs de qualité ou de santé des sols sont quasi-absents dans les modèles économiques de production. Sciences du sol et sciences économiques sont ainsi des disciplines de recherche différentes du fait de leurs objectifs, leurs approches méthodologiques et des bases de données requises. Les données sont inexistantes lorsqu'il s'agit de prendre en compte le capital naturel « sol » dans les modèles économiques. Dans la deuxième phase de nos travaux, nous avons construit deux bases de données contenant à la fois des données pédologiques et économiques. La première base de données est issue d'un traitement spatial des données du Réseau de Mesure de la Qualité des Sols (RMQS), qui contient les caractéristiques des sols et les données des itinéraires techniques de production des exploitations agricoles du site de l'Observatoire Pérenne de l'Environnement (OPE, Région Grand Est, France). La seconde base de données est un traitement spatial des données pédologiques du Référentiel Régional Pédologique (RRP) de cette même Région et des données non anonymisées du Réseau d'Information Comptable Agricole (RICA). Dans la troisième étape, nous avons modélisé et estimé le capital naturel « sol » en utilisant l'approche PLS (Partial Least Square) des modèles d'équations structurelles à variables latentes. Cette approche a permis de prédire et de spatialiser les valeurs du capital naturel « sol ». Dans la quatrième étape, nous avons intégré les valeurs prédites du capital naturel « sol » dans une frontière de production afin d'analyser son impact sur les résultats économiques. Nous avons modélisé une fonction de distance multi inputs multi outputs considérant le capital naturel « sol » comme un input quasi-fixe. Les résultats montrent que le capital naturel impacte positivement la fourniture des SE rendus par les sols. De plus, les résultats montrent qu'ignorer le capital naturel « sol » dans les modèles pourrait conduire à une sous-estimation des scores d'efficacité technique des exploitations agricoles. Dans la dernière étape, nous avons modélisé et estimé une fonction de coût. Les résultats montrent que le capital naturel « sol » est utilisé de façon optimale dans le processus de production agricole. La généralisation de cette approche à d'autres usages des sols au sein de la couverture pédologique (*e.g.*, forestier, urbain, industriel) est enfin discutée.

Abstract :

The concepts of natural capital and ecosystem services (ES) aim to better describe and recognise the contribution of ecosystems to human well-being, health and economic activity. Economics focuses more on the analysis of ES, while soil science develops holistic approaches to soil natural capital through soil properties. Describing soils in terms of their natural capital and the ES they can provide can help to recognise and protect the soil compartment of ecosystems. Although soils are involved in almost all socio-economic activities, economic models mostly use surface data while ignoring the different biophysical-chemical properties of soils. Therefore, the main objective of this work is to analyse the concepts of soil natural capital and the SE provided by soils from both soil science and economic perspectives. The first step was to review the state of the art of the concepts of soil natural capital and soil ES in both disciplines. This step highlighted the lack of an appropriate framework that would allow these sciences to work together for a more effective analysis of these concepts. We therefore proposed a conceptual framework that would allow us to mobilise both soil science and economic approaches towards our goals. This step also revealed that indicators of soil quality or health are virtually absent from economic production models. Soil science and economics are therefore different research disciplines in terms of their objectives, methodological approaches and required databases. There is a lack of data when it comes to accounting for soil natural capital in economic

models. In the second phase of our work, we built two databases containing both soil and economic data. The first database is derived from a spatial processing of data from the Réseau de Mesure de la Qualité des Sols (RMQS), which contains data on soil characteristics and technical production routes of farms on the site of the Observatoire Pérenne de l'Environnement (OPE, Grand Est region, France). The second database is a spatial processing of soil data from the Référentiel Régional Pédologique (RRP) of the same region and non-anonymised data from the Farm Accounting Information Network (FADN). In the third stage, we modelled and estimated soil natural capital using the PLS (Partial Least Square) approach of structural equation models with latent variables. This approach allowed us to predict and spatialise soil natural capital values. In a fourth step, we integrated the predicted soil natural capital values into a production frontier to analyse their impact on economic outcomes. We modelled a multi-input, multi-output distance function considering soil natural capital as a quasi-fixed input. The results show that natural capital has a positive impact on the supply of soil SE. Furthermore, the results show that ignoring soil natural capital in the models could lead to an underestimation of the technical efficiency of farms. Finally, a cost function was modelled and estimated. The results show that soil natural capital is optimal in the agricultural production process. Finally, the generalisability of this approach to other land uses within the soil cover (e.g. forestry, urban, industrial) is discussed.

Mohammad Sherri

Résumé :

Les sols pollués contiennent souvent des facteurs de stress abiotiques pour les espèces hyperaccumulatrices, non pas à cause de la présence de métaux, mais en raison de la présence de co polluants organiques, d'une salinité élevée ou de conditions de sécheresse. Dans des cas extrêmes, ces conditions peuvent empêcher l'établissement de l'espèce et donc la mise en oeuvre d'une stratégie de phytoremédiation, ou du moins en modifier le fonctionnement, notamment sa capacité à hyperaccumuler les métaux. Il est donc nécessaire d'évaluer la réponse des hyperaccumulatrices soumises à divers stress abiotiques afin de prévoir et contrôler l'efficacité du processus de phytoextraction. Cette thèse vise à caractériser la réponse antioxydante et l'efficacité de la phytoextraction de deux populations de *Noccaea caerulescens*, une hyperaccumulatrice de Cd, Ni et Zn, face à divers stress abiotiques et les conséquences sur la production de biomolécules d'intérêt. De plus, l'étude vise à examiner l'impact de l'application foliaire d'acide indole acétique et de phytohormones 24 épibrassinolide sur la réponse antioxydante et la phytoextraction de *N. caerulescens* dans un environnement multi stress, dans le but de développer des stratégies pour protéger les plantes pendant la phytoextraction.

Abstract :

Polluted soils often contain abiotic stressors for hyperaccumulator species, not because of the presence of metals, but because of the presence of organic co-pollutants, high salinity, or drought conditions. These conditions can in extreme cases prevent the establishment of the species and therefore the implementation of a phytoremediation strategy, or at least modify its functioning, in particular its capacity to hyperaccumulate metals. It is therefore necessary to evaluate the response of hyperaccumulators subjected to a variety of abiotic stresses in order to predict and control the efficiency of the phytoextraction process. This thesis aims to characterize the antioxidant response and the phytoextraction efficiency of two populations of the Cd, Ni and Zn hyperaccumulator *N. caerulescens* to a variety of abiotic stresses and the consequences on the production of biomolecules of interest. Additionally, the study aims to examine the impact of the foliar application of indole acetic acid and 24-epibrassinolide phytohormones on the antioxidant response and phytoextraction of *N. caerulescens* in multi-stress environment, aiming to develop strategies for protecting plants during phytoextraction.

Julien Jacquet

Résumé :

La culture associée de plantes hyperaccumulatrices se présente comme une pratique respectueuse de l'environnement, visant à atténuer la contamination des sols par les éléments traces métalliques et métalloïdes. Cependant, les couverts plurispécifiques d'hyperaccumulateurs demeurent largement sous-étudiés. L'objectif principal de la thèse était d'évaluer si la co-culture de plantes hyperaccumulatrices permettait d'accroître les rendements de la phytoextraction par rapport aux monocultures, tout en identifiant des leviers agronomiques pour améliorer la performance agro-environnementale de ces systèmes, dans une perspective de phyto - séparation des métaux à partir des matrices co-contaminées. Pour cela, deux hyperaccumulateurs de cadmium (Cd) et de zinc (Zn), *Noccaea caerulescens* et *Sedum plumbizincicola*, ont été sélectionnés pour leurs caractéristiques complémentaires. Différentes approches ont été mises en œuvre, allant des conditions contrôlées (rhizoboxes) aux essais de terrain, incluant des inventaires écologiques pour mesurer l'impact de ces pratiques. Les résultats principaux révèlent des effets de compétition entre les deux espèces, expliquant l'absence d'amélioration des rendements de phytoextraction en co-culture. Néanmoins, l'accession métallicole de *N. caerulescens* a extrait la même quantité de Zn qu'elle soit cultivée seule ou en association avec *S. plumbizincicola*, ouvrant ainsi la voie à des essais de terrain avec ce système de co-culture. Les deux expérimentations de plein champ ont généré des rendements en biomasse plutôt satisfaisants. En outre, la densité optimale de co-culture pour la phytoextraction du Zn dépendait étroitement de la biodisponibilité potentielle de cet élément pour les plantes hyperaccumulatrices. Dans les contextes pédoclimatiques étudiés, *S. plumbizincicola* n'a pas accumulé de Cd (< 4 mg/kg) alors que *N. caerulescens* a été capable de l'hyperaccumuler (> 100 mg/kg), entraînant une diminution certaine des rendements de phytoextraction du Cd en co-culture. La thèse souligne l'importance de réaliser des études supplémentaires sur des sols présentant un potentiel de phytoextraction plus élevé pour le Zn et le Cd. Enfin, les diagnostics agro-environnementaux réalisés avant et après la co-culture de *N. caerulescens* et *S. plumbizincicola* ont généré des résultats tout à fait intéressants quant à la biodiversité hébergée par les friches industrielles et à l'impact de ces pratiques de phytomanagement.

Abstract :

Intercropping of hyperaccumulator plants is emerging as an eco-friendly practice to mitigate soil contamination by trace metals and metalloids. However, multi-species cover of hyperaccumulators remain largely understudied. The main objective of the thesis was to assess whether co-cultivation of hyperaccumulator plants could increase phytoextraction yields compared to monocultures, while identifying agronomic leverages to improve the agroecological performance of these systems, with a view to metal phyto - separation from co-contaminated matrices. For this purpose, two zinc (Zn) and cadmium (Cd) hyperaccumulators, *Noccaea caerulescens* and *Sedum plumbizincicola*, were selected for their complementary characteristics. Different approaches were used to measure the effects of these practices, ranging from controlled conditions (rhizoboxes) to field experiments, including ecological inventories. The main results showed competitive effects between the two species, explaining the lack of improvement regarding phytoextraction yields in co-culture. Nevertheless, the metallicolous accession of *N. caerulescens* extracted the same amount of Zn whether grown in monoculture or co-planted with *S. plumbizincicola*, opening interesting perspectives for in situ co-cropping trials. The two field experiments resulted in satisfactory biomass yields. Furthermore, optimal co-cropping densities for Zn phytoextraction were closely related to its potential bioavailability for hyperaccumulators. Surprisingly, *S. plumbizincicola* did not accumulate Cd (< 4

mg/kg) under the studied pedoclimatic contexts, whereas *N. caerulea* was able to hyperaccumulate Cd (> 100 mg/kg), leading to a decrease in Cd phytoextraction yields in co-culture. This work highlights the importance of conducting further studies on soils with higher Zn and Cd phytoextraction potential. Finally, agro-environmental assessments carried out before and after the co-planting of *N. caerulea* and *S. plumbizincicola* revealed interesting results regarding the biodiversity harbored by industrial wastelands and the impact of these phytomanagement practices.

Sandhya Malladi

Résumé

Au cours des trois dernières décennies, l'augmentation exponentielle de l'agriculture mondiale a entraîné la création d'une nouvelle classe de "produits phytopharmaceutiques" appelés néonicotinoïdes. Bien que populaires en raison de leur mode d'action systémique, ils ont été largement impliqués dans de nombreux effets toxicologiques aux pollinisateurs. Il est donc important de comprendre l'impact cumulatif de ces néonicotinoïdes au niveau cellulaire chez les pollinisateurs tels que l'abeille domestique (*Apis mellifera*) et le bourdon (*Bombus terrestris*). Cette étude *in vitro* examine la qualité de la réponse immunitaire dans les hémocytes d'insectes après une exposition aiguë à l'imidaclopride et/ou à l'acétamipride. En utilisant le peptidoglycane comme activateur immunitaire, la qualité de réponses immunitaires constitutives et induites, telles que la production de peptides antimicrobiens et de peroxyde d'hydrogène, ainsi que la phagocytose dans les deux organismes sont comparées à celles du système modèle de *Drosophila melanogaster*.

Abstract

Over the last three decades, an exponential increase in global agriculture has witnessed the creation of a new class of "plant protection products" called neonicotinoids. Although popular due to their systemic mode of action, they have been widely implicated in numerous toxicological effects on pollinators. It is important, therefore, to understand their cumulative impact at the cellular level in pollinators such as the domestic Honeybee (*Apis mellifera*) and the Bumblebee (*Bombus terrestris*). This *in vitro* study looks at the quality of immune response in insect haemocytes following acute exposure to imidacloprid and/or acetamiprid. Using peptidoglycan as an immune activator, the quality of constitutive and induced immune responses, such as production of anti-microbial peptides and hydrogen peroxide as well as phagocytosis in both organisms is compared to that of the model system of *Drosophila melanogaster*.