



OFFRE D'ALLOCATION DE THESE / PhD GRANT

ÉCOLE DOCTORALE SCIENCES EXACTES ET LEURS
APPLICATIONS - ED 211 / NATURAL SCIENCES DOCTORAL SCHOOL
Avenue de l'université BP 1155 64 013 PAU Cedex – France

SUJET DE THESE / PhD SUBJECT

TITRE / TITLE: Description par analyses spectrométriques et spectroscopiques des formes chimiques du nickel chez les plantes (hyper)accumulatrices / Description by spectrometric and spectroscopic analyses of the chemical forms of nickel in (hyper)accumulator plants.

RESUME :

Le nickel est un métal essentiel pour les plantes, mais devient toxique lorsqu'il est en excès, affectant la photosynthèse et provoquant des stress génotoxiques et oxydatifs. Les plantes doivent donc réguler finement l'homéostasie du nickel en fonction du nickel disponible dans le sol et de leurs besoins. Les mécanismes impliqués dans la régulation de l'homéostasie du nickel chez les plantes sont encore mal connus. De rares espèces dites hyperaccumulatrices, accumulent des quantités extrêmement importantes de nickel dans leurs feuilles sans montrer de signes de toxicité, et il est aujourd'hui admis que cette propriété résulte d'une exacerbation de mécanismes impliqués dans l'homéostasie du nickel. L'objectif de cette thèse est de progresser dans la compréhension des mécanismes impliqués dans l'homéostasie et l'hyperaccumulation du nickel, notamment en ciblant de nouveaux acteurs (transporteurs, chélateurs, protéines affines). L'approche sera basée sur des techniques analytiques de pointe en spéciation et imagerie des métaux, et le travail sera fait en collaboration avec des équipes de biologistes spécialisées en transcriptomique, métabolomique et métallogénomique. Il visera la plante hyperaccumulatrice *Nocca caerulea* ainsi que la plante *Arabidopsis thaliana* qui sera prise pour modèle pour construire un hyperaccumulateur de nickel synthétique par transformation génétique successive afin de surexprimer dans des tissus spécifiques les gènes impliqués dans l'homéostasie du nickel. Ces connaissances pourront soutenir le développement de phytotechnologies visant à extraire et recycler le nickel présent dans certains sols contaminés et à comprendre de façon plus générale les mécanismes en jeu dans l'accumulation des métaux chez les plantes.

Plus spécifiquement, le travail de thèse reposera sur des techniques analytiques de spectrométrie de masse élémentaire (ICP MS) et moléculaire (LC ESI Orbitrap MS) ainsi que sur des techniques d'imagerie (micro fluorescence X, μ XRF), et de spéciation (spectroscopie d'absorption des rayons X, XAS) issues du rayonnement synchrotron.

ABSTRACT:

Nickel is an essential metal for plants, but is toxic when present in excess, affecting photosynthesis and inducing genotoxic and oxidative stress. All plants must therefore finely regulate nickel homeostasis according to the nickel available in the soil and their needs. The mechanisms involved in regulating nickel homeostasis in plants are still poorly understood. Some rare species, known as hyperaccumulators, accumulate extremely large quantities of nickel in their leaves without showing any signs of toxicity, and it is now accepted that this property results from an exacerbation of the mechanisms involved in nickel homeostasis.

*The objective of this PhD thesis is to progress in the understanding of the mechanisms involved in nickel homeostasis and hyperaccumulation, particularly in targeting new players (transporters, chelators, nickel-binding proteins). The approach will be based on state-of-the-art analytical techniques for metal speciation and imaging, and the work will be conducted in collaboration with plant biologists expert in transcriptomics and metalloproteomics. It will focus on the hyperaccumulator plant *Nocca caerulea* as well as the model plant *Arabidopsis thaliana*, which will be used to construct a synthetic nickel*

hyperaccumulator by sequential genetic transformation to overexpress the genes involved in nickel homeostasis in specific tissues. This knowledge could support the development of phytotechnologies aimed at extracting and recycling nickel present in some contaminated soils and, more broadly, to understand the mechanisms involved in metal accumulation in plants.

More specifically, the PhD work will rely on analytical techniques based on elemental mass spectrometry (ICP-MS) and molecular mass spectrometry (LC-ESI-Orbitrap-MS), as well as imaging techniques (X-ray microfluorescence) and speciation techniques (X-ray absorption spectroscopy) from synchrotron radiation.

Mots clés: Nickel, plant, metal speciation, XAS, X-ray imaging, spectrometrie de masse élémentaire et moléculaire.

Keywords: Nickel, plants, metal speciation, XAS, X-ray imaging, elemental and molecular mass spectrometry.

CONDITIONS D'EXERCICE / WORKING CONDITIONS

Laboratoire : IPREM UMR 5254, Pau

Site web : <https://iprem.univ-pau.fr>

Directeur de thèse (PhD Director): Marie-Pierre ISAURE

Co-Directeur de thèse (PhD co-Director): Laurent Ouerdane

En collaboration avec (In Collaboration with – *if any*)

Lieu (Place) : IPREM, Pau

Date début (start): Octobre 2026

Durée (duration): 3 ans (years)

Employeur (employer): Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

Salaire mensuel brut (monthly salary before taxes): 2300 €

SAVOIR-FAIRE DU LABORATOIRE / HOST LABORATORY PROFILE

L'IPREM est une unité mixte de recherche (UMR 5254) entre le CNRS et l'Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA). Les activités qui y sont développées concernent la recherche fondamentale en physico-chimie, chimie analytique et microbiologie en lien avec l'environnement et les matériaux. L'IPREM regroupe 3 pôles dont le Pôle CME (Chimie et Microbiologie de l'Environnement) qui s'intéresse aux contaminants et éléments traces dans l'environnement, et le Pôle CAPT (Chimie Analytique, Physique et Théorique) qui développe des méthodes de chimie analytique. Pour étudier les formes physico-chimiques des métaux, leurs transformations et leurs interactions avec les organismes vivants, le laboratoire met en œuvre différentes techniques de chimie analytique (techniques analytiques couplées basées sur la spectrométrie de masse, l'isotopie, etc ...), d'imagerie et de techniques de spéciation basées sur le rayonnement synchrotron (XRF, XAS). L'institut accueille une plate-forme unique de spectrométrie de masse dédiée à l'analyse de la spéciation des métaux élémentaire, moléculaire et isotopique ([Platform Mass Spectrometry](#)).

Le/la doctorant(e) sera inscrit(e) à l'Ecole Doctorale 'Sciences Exactes et leurs Applications' de l'UPPA (<https://ed-sea.univ-pau.fr/fr/index.html>).

Mots clés Laboratoire : Environnement, Spéciation, Chimie analytique, Spectrométrie de masse, Imagerie.

IPREM institute is a joint research unit (UMR 5254) CNRS and Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA). Research activities focus on the development of fundamental knowledge in physical chemistry, analytical chemistry and microbiology, in relation to environment and materials. IPREM is composed of three scientific Teams. The CME Team (Environmental Chemistry and Microbiology) focuses on contaminants and trace elements in the environment, and the CAPT Team (Analytical, Physical and Theoretical Chemistry) focuses on the development of analytical chemistry methods. To study chemical species, their transformations and their interactions with living organisms, our laboratory uses various analytical chemistry techniques (hyphenated techniques based on mass spectrometry, isotopes, etc...), as well as imaging and speciation techniques based on synchrotron radiation (XRF, XAS). The institute hosts state-of-the art Platform for Mass Spectrometry instruments ([Platform Mass Spectrometry](#)) dedicated to metal-speciation analysis (elemental, molecular and isotopic).

The PhD student will be enrolled in the Doctoral School 'Sciences Exactes et leurs Applications' of UPPA (<https://ed-sea.univ-pau.fr/fr/index.html>).

Laboratory Keywords: Environment, Speciation, Analytical chemistry, Mass spectrometry, Imaging.

MISSION - ACTIVITES PRINCIPALES / MISSION – PRINCIPAL ACTIVITIES

I. Le contexte scientifique / *Scientific Context*

Certains sols contiennent des teneurs importantes en nickel (Ni) du fait d'une géologie particulière (sols ultramafiques par exemple) ou d'un impact anthropique. Cette contamination pose problème en termes de santé environnementale et de santé humaine. Quelques plantes appelées hyperaccumulatrices, telles que l'espèce *Noccaea caerulescens* (Brassicacée), tolèrent de fortes concentrations de Ni dans les sols et sont capables d'accumuler des quantités très importantes du métal dans leurs parties aériennes. Bien que connue depuis longtemps, les mécanismes impliqués dans cette hyperaccumulation sont toujours mal compris, et l'on sait aujourd'hui que l'hyperaccumulation au nickel est le résultat d'une exacerbation des mécanismes impliqués dans la régulation homéostatique du métal (Deng et al, 2018 ; Manara et al, 2020 ; Merlot et al, 2021). Ces mécanismes incluent une variété de transporteurs membranaires, de petites molécules organiques et de métalloprotéines impliquées dans le transport et la complexation des métaux. Par exemple, il a été montré que des acides organiques (e.g. malate et citrate), l'histidine et la nicotianamine pouvaient complexer le nickel dans le xylème de *N. caerulescens* (Mari et al, 2006 ; Ouerdane et al, 2006), permettant une translocation importante du métal.

Cependant, il est difficile d'étudier ces mécanismes de régulation chez l'espèce modèle *Arabidopsis thaliana* du fait de sa grande sensibilité au nickel. Il peut donc être opportun de tirer parti de la physiologie particulière de l'hyperaccumulatrice *N. caerulescens* pour étudier ces mécanismes. Les espèces hyperaccumulatrices de Ni offrent aussi l'opportunité de développer des stratégies de phytotechnologie (phytomining, agromining) afin d'extraire les métaux des sols contaminés et de les recycler (Rylott et al, 2025).

Ce travail de thèse fait partie d'un projet ANR (Homonime) en collaboration avec deux autres laboratoires, le Laboratoire de Recherche en Sciences Végétales (LRSV) à Toulouse et le Laboratoire de Physiologie Cellulaire et Végétale (LPCV) à Grenoble. L'étudiant(e) en thèse travaillera en étroite collaboration avec le LRSV à Toulouse pour le choix et la culture des plantes.

*Some soils contain high concentrations of nickel (Ni) due to specific geological conditions (e.g. ultramafic soils) or human activity. This contamination is an issue in terms of environmental and human health. A few plants known as hyperaccumulators, such as the species *Noccaea**

caerulescens (Brassicaceae), tolerate high concentrations of Ni in the soil and are able to accumulate very large amounts of the metal in their aerial parts. Although known for a long time, the mechanisms involved in this hyperaccumulation are still poorly understood, and it is now known that nickel hyperaccumulation results from an exacerbation of the mechanisms involved in the homeostatic regulation of the metal (Deng et al., 2018; Manara et al., 2020; Merlot et al., 2021). These mechanisms include a variety of membrane transporters, small organic molecules, and metalloproteins involved in metal transport and complexation. For instance, it has been shown that organic acids (e.g., malate and citrate), histidine, and nicotianamine can complex nickel in the xylem of *N. caerulescens* (Mari et al., 2006; Ouerdane et al., 2006), enabling significant translocation of the metal. However, it is difficult to study these regulatory mechanisms in the model species *Arabidopsis thaliana* due to its high sensitivity to nickel. It may therefore be appropriate to take advantage of the unique physiology of the hyperaccumulator *N. caerulescens* to study these mechanisms. Ni-hyperaccumulating species also offer the opportunity to develop phytotechnology strategies (phytomining, agromining) to extract metals from soils.

II. Les objectifs / Objectives

L'objectif global de cette thèse est de mieux comprendre les mécanismes impliqués dans l'homéostasie et l'hyperaccumulation du nickel chez les plantes, en ciblant notamment l'étude de la spéciation du métal et sa localisation. En particulier, les objectifs sont 1) de mettre en place les techniques analytiques de spectrométrie de masse adéquates afin d'identifier et de quantifier les molécules, potentiellement nouvelles, impliquées dans la liaison du métal, 2) de mettre en œuvre des techniques d'imagerie par micro-fluorescence X/ spectroscopie d'absorption des rayons X sur rayonnement synchrotron afin de déterminer respectivement la localisation du nickel au niveau tissulaire et cellulaire et de déterminer ses ligands, 3) de déterminer le rôle de certains transporteurs et des gènes via l'utilisation d'accessions spécifiques et de mutants.

La thèse est basée sur une approche interdisciplinaire faisant appel à des outils de chromatographie et de spectrométrie de masse (Ouerdane et al, 2006 ; Flis et al, 2016) ainsi que des techniques d'imageries (micro fluorescence X issue du rayonnement synchrotron, μ XRF, Huguet et al., 2015 ; Isaure et al., 2015) et de spéciation (spectroscopies d'absorption des rayons X, XANES/EXAFS, Huguet et al., 2015 ; Isaure et al., 2015) complémentaires.

Le travail basé à Pau, se fera en collaboration avec le LRSV et le LPCV. Le/la doctorante(e) sera impliqué(e) dans les différentes étapes du projet, de la mise en place des cultures jusqu'aux analyses.

The global objective of this PhD thesis is to better understand the mechanisms involved in nickel homeostasis and hyperaccumulation in plants, with a particular focus on the speciation and localization of the metal. Specifically, the objectives are 1) to set-up appropriate mass spectrometry techniques to identify and quantify molecules, potentially new ones, involved in metal binding, and 2) to implement micro-X-ray fluorescence imaging and X-ray absorption spectroscopy techniques using synchrotron radiation to determine, respectively, the localization of nickel at the tissue and cellular levels and to identify its ligands, 3) to determine the role of certain transporters and genes in nickel accumulation through the use of specific accessions and mutants.

The thesis is based on an interdisciplinary approach using chromatography and mass spectrometry tools (Ouerdane et al., 2006; Flis et al., 2016) as well as imaging techniques (synchrotron-based micro-X-ray fluorescence, μ XRF, Huguet et al., 2015; Isaure et al., 2015) and speciation techniques (X-ray absorption spectroscopies, XANES/EXAFS, Huguet et al., 2015; Isaure et al., 2015).

The work, based in Pau, will be conducted in collaboration with the LRSV and the LPCV. The Ph.D. student will be involved in all stages of the project, from setting up the cultures to performing the analyses.

III. Plan de travail / Work plan

- 1- Etude bibliographique
- 2- Mise en place des techniques de spectrométrie de masse pour l'analyse des molécules liant le nickel (ICP-MS, LC ESI-MS/MS).
- 3- Etude de la distribution et de la spéciation du nickel chez différentes accessions de *N. caerulescens* et des mutants par μ XRF et XAS.

1- Bibliographic study

2- Set-up of mass spectrometry techniques to analyze Ni binding (ICP-MS, LC ESI-MS/MS)

3- Study of Ni distribution and speciation in various accessions and mutants by μ XRF and XAS.

IV. Références bibliographiques (References)

- T.H.B. Deng et al (2018). Nickel hyperaccumulation mechanisms: a review on the current state of knowledge. *Plant Soil*. 423, 1–11.
- P. Flis, et al (2016). Inventory of metal complexes circulating in plant fluids: a reliable method based on HPLC coupled with dual elemental and high-resolution molecular mass spectrometric detection. *New Phytol*. 211, 1129–1141.
- S. Huguet et al (2015). Fate of cadmium in the rhizosphere of *Arabidopsis halleri* grown in a contaminated dredged sediment. *Sci. of Total Environ*. 536, 468-480.
- M.P. Isaure et al (2015). Evidence of various mechanisms of Cd sequestration in the hyperaccumulator *Arabidopsis halleri*, the non-accumulator *Arabidopsis lyrata*, and their progenies by combined synchrotron-based techniques. *J. Exp. Bot*. 66, 3201-3214.
- A. Manara et al (2020). Evolution of the metal hyperaccumulation and hypertolerance traits. *Plant. Cell Environ*. 43, 2969–2986.
- S. Mari, et al (2006). Root-to-shoot long-distance circulation of nicotianamine and nicotianamine-nickel chelates in the metal hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. *J. Exp. Bot*. 57, 4111–4122.
- S. Merlot et al (2021). “Physiology and Molecular Biology of Trace Element Hyperaccumulation” in *Agromining: Farming for Metals*, 2nd Ed., A. van der Ent, A. J. M. Baker, G. Echevarria, M.-O. Simonnot, J. L. Morel, Eds. (Springer International Publishing), pp. 155–181.
- L. Ouerdane et al (2006). Speciation of non-covalent nickel species in plant tissue extracts by electrospray Q-TOFMS/MS after their isolation by 2D size exclusion-hydrophilic interaction LC (SEC-HILIC) monitored by ICP-MS. *J. Anal. At. Spectrom*. 21, 676–683.
- E. L. Rylott et A. van der Ent (2025). Harnessing hyperaccumulator plants to recover technology-critical metals: where are we at? *New Phytol*. 246, 859-866.

COMPETENCES REQUISES / REQUIRED COMPETENCES

Le/la candidat(e) doit être diplômé(e) d'un master en chimie environnementale, chimie analytique, physico-chimie ou équivalent. Il/elle devra avoir un fort intérêt pour le travail expérimental et analytique en laboratoire. Il/elle devra être capable de travailler en autonomie et être rigoureux. Il doit avoir une appétence forte pour le travail en collaboration, et sera amené à se déplacer (collaboration Toulouse, mission synchrotron...). Le permis de conduire B sera un plus. Bonnes capacités de rédaction. Anglais requis.

The candidate should hold a master degree in environmental chemistry, analytical chemistry, physico-chemistry or equivalent. He/she should have strong interest in performing experimental and analytical work in the laboratory. He/she will be able to work autonomously and rigorously. He/she has strong interest for work in collaboration and will work occasionally in partners' lab (Toulouse, synchrotron missions...). Driving licence will be a plus. Skills in writing. English required and French speaking is a plus.

CRITÈRES D'ÉVALUATION DE LA CANDIDATURE / CRITERIA USED TO SELECT CANDIDATE

Processus de sélection / Selection process steps):

- Constitution d'un Jury de sélection / Establishment of the selection committee.
- Sélection des candidats sur dossier de candidature / Evaluation of the applicants cv's.
- Audition des candidats et classement : à partir du 15 juillet 2024 / Interview with the selected candidates and ranking.

Critères d'évaluation de la candidature/Criteria used in selection of the candidate:

- La motivation, la maturité scientifique et la curiosité du candidat/The candidate's motivation, scientific maturity and curiosity
- Ses résultats académiques (notes et classement en Licence, M1 et M2)/Candidate's marks and rankings in Licence, M1 and M2.)
- Ses expériences précédentes en recherche /Previous experience in research
- Maîtrise de l'anglais/English proficiency

CONSTITUTION DU DOSSIER DE CANDIDATURE / REQUIRED DOSSIER,

Envoyer par email un dossier de candidature comprenant/send an e-mail with your candidature containing:

- Lettre de motivation / Cover letter detailing candidate's motivations
- CV /CV
- Copie du diplôme / Copy of the diploma
- Master ou diplôme équivalent : relevé détaillé des notes obtenues dans chaque matière et classement L3, M1 et M2 / Candidate's MSc or equivalent : marks and ranking from L3, M1 and M2
- Lettres de recommandation / Letters of recommendation
- Coordonnées de 2 personnes référentes à contacter / Contact details for 2 referees

DATE LIMITE DE DEPOT DU DOSSIER (limiting date) : 10 juillet 2026

CONTACTS e-mail : marie-pierre.isaure@univ-pau.fr/laurent.ouerdane@univ-pau.fr.