

Offre de thèse CIFRE

**Développement d'un outil d'aide à l'interprétation
des mesures RHIZOtest de phytodisponibilité des contaminants du sol
pour l'évaluation du risque pour la santé humaine et celle des écosystèmes**

Contexte et état de l'art

Mis au point dans les années 1990-2000 par l'INRAE, le RHIZOtest était initialement un outil de recherche fondamentale développé pour étudier les processus bio-physico-chimiques qui interviennent à l'interface entre le sol et la plante, au niveau de la rhizosphère et qui contrôlent le transfert des éléments traces du sol vers la plante, c'est-à-dire la phytodisponibilité^{1,2,3,4}. Ces recherches ont montré le potentiel d'application du RHIZOtest comme outil d'évaluation des risques de phytodisponibilité des éléments traces en sols contaminés avec une première application au contexte des sols viticoles contaminés en cuivre (Cu)^{5,6}.

Dans le même temps, le concept de biodisponibilité des contaminants dans le sol et les méthodes permettant de la mesurer ont été définis consensuellement dans une norme internationale⁷. Plus récemment, ces éléments ont été repris dans la Méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués⁸ afin de rationaliser la balance bénéfique/risque des projets, notamment avec le développement des projets de renaturation et d'agriculture urbaine. Afin de standardiser la mesure de phytodisponibilité faite en RHIZOtest en vue de son application pour l'évaluation des risques en sols contaminés, la méthode a été normalisée à l'échelle internationale en 2015⁹ à la suite de deux projets de recherche financés par l'ANR (NormaRHIZO) et l'ADEME¹⁰ (RHIZOlab).

À la suite de la normalisation, l'entreprise MetRHIZlab a été créée en 2016 avec l'objectif de permettre l'application du RHIZOtest dans les projets d'évaluation des risques sanitaires et écosystémiques et de recherche et développement. Fortes des six années de développement avec notamment l'adaptation du RHIZOtest spécifiquement à l'étude des sites et sols pollués¹¹ les activités de MetRHIZlab ont été reprises en 2023 par GINGER BURGEAP qui poursuit le même objectif.

Une des problématiques rencontrées au cours des différents projets est de transformer la donnée de flux de prélèvement des contaminants par la plante issue de la mesure RHIZOtest en une information explicite et mobilisable dans le cadre d'une évaluation opérationnelle du risque pour la santé humaine (ERS) et celle des écosystèmes (ERE).

¹ Chaignon V., Di Malta D. et Hinsinger P. (2002) *New Phytologist* 154 : 121–130

² Chaignon V., Quesnoit M. et Hinsinger P. (2009) *Environmental Pollution* 157 : 3363–3369 10.1016/j.envpol.2009.06.032

³ Bravin M. N., Martí À. L., Clairotte M. et Hinsinger P. (2009) *Plant Soil* 318 : 257–268 10.1007/s11104-008-9835-6

⁴ Bravin M. N., Garnier C., Lenoble V., Gérard F., Dudal Y. et Hinsinger P. (2012) *Geochimica et Cosmochimica Acta* 84 (2012) 256–268 10.1016/j.gca.2012.01.031

⁵ Chaignon V. et Hinsinger P. (2003) *J. Environ. Qual.* 32 : 824–833

⁶ Bravin M. N., Michaud À. M., Larabi B. et Hinsinger P. (2010) *Environmental Pollution* 158 : 3330–3337 10.1016/j.envpol.2010.07.029

⁷ NF EN ISO 17402 (2008)

⁸ Bureau du sol et du sous-sol (2017) *Méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués*. Direction générale de la prévention des risques, Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer, 128 p.

⁹ NF EN ISO 16198 (2015)

¹⁰ Bravin M, Lemal L, Cazevielle P, Chevassus-Rosset C, Marger J-L, Montes M and Doelsch E, 2012 RHIZOtest validation through an international ring-test in the scope of standardisation. Contract n° 1172C0042, Final report, 16 p.

¹¹ Lemal L, Valmier M, Bravin M, 2017. RHIZOtest : An innovative tool for phytoavailability assessment and risk management in polluted soils. 14th international conference on Sustainable Use and Management of Soil, Sediment and Water Resources (AquaConSoil), Lyon, France. 26-30 juin 2017.

Objectif et structuration de la thèse

Le RHIZOtest a jusqu'à présent été employé à des fins d'évaluation de risque par comparaison entre la modalité expérimentale à évaluer (e.g. un sol, un amendement, une espèce végétale...) et une modalité témoin (e.g. un sol similaire ou de référence non contaminé). Or il n'est pas toujours techniquement possible de disposer d'une telle référence. De plus, le budget expérimental des expertises est souvent limité et ne permet pas toujours d'y inclure les modalités témoins nécessaire à une évaluation comparative. L'évaluation opérationnelle de risque à l'aide de la mesure RHIZOtest bénéficierait donc de pouvoir être interprétée de façon absolue.

Pour parvenir à une telle évaluation absolue des mesures RHIZOtest, il est envisagé de capitaliser sur les quelques 15 000 mesures unitaires de flux réalisées depuis 2010 pour 8 éléments traces, une vingtaine d'espèces végétales agronomiques ou d'intérêt pour la gestion des sols contaminés et sur près d'une centaine d'échantillons de sols montrant des caractéristiques physico-chimiques, ainsi que des origines et des niveaux de contaminations contrastés. Il est également envisagé d'enrichir la base de données avec des mesures provenant des projets mobilisant le CIRAD et/ou GINGER durant les 3 années de thèse, à la fois sur les 8 éléments traces mais également sur des composés organiques. À ce titre le doctorant pourrait participer à des missions de terrain et à la réalisation d'essais RHIZOtest.

Ainsi, en exploitant ces données à l'aide de techniques statistiques adaptées aux grands jeux de données^{12,13}, l'objectif de la thèse est de **développer un outil d'aide à l'interprétation des mesures RHIZOtest de phytodisponibilité des contaminants du sol pour l'évaluation du risque pour la santé humaine et celle des écosystèmes**. Ce travail sera appliqué prioritairement à la contamination des sols par les éléments traces, i.e. le type de contaminants pour lequel le RHIZOtest a été développé initialement et normalisé. Cette première mise en œuvre devra cependant permettre de faciliter l'intégration ultérieure d'autres types de contaminants comme les contaminants organiques et les micro-plastiques par exemple. Le développement d'un tel outil se subdivisera en trois étapes.

Tâche 1. Production de la base de données : Il s'agira premièrement de consolider les mesures expérimentales de flux en harmonisant et en formalisant la procédure de pré-traitement des données analytiques (e.g. traitement des références analytiques, gestion des valeurs aberrantes, évaluation des biais de contamination...). Il s'agira ensuite de regrouper l'ensemble des données dans une base de données dédiée en renseignant les métadonnées correspondant aux contextes et conditions expérimentales étudiées. Ce travail devra notamment aboutir à la production d'un datapaper décrivant la structure et le contenu de la base de données.

Tâche 2. Développement du cadre méthodologique de l'outil d'aide à l'interprétation : Il s'agira premièrement de préciser le ou les objectifs auxquels devra répondre cet outil d'aide à l'interprétation des mesures RHIZOtest. Il s'agira ensuite de préciser les critères qualitatifs (i.e. règles de décision) et quantitatifs (i.e. seuils) d'interprétation souhaités. Il s'agira enfin de développer l'approche statistique pour l'évaluation de risque, incluant une méthode d'interprétation et un indice (e.g. facteur de bioconcentration) intégrable aux modèles d'évaluation des risques sanitaires (EQRS) et écosystémiques (TRIADE). Ce travail devra aboutir à la rédaction d'un article scientifique présentant la méthodologie développée.

Tâche 3. Validation de l'outil d'aide à l'interprétation : À partir de jeux de données qui n'auront pas été utilisés pour le développement de l'outil dans la tâche 2, il s'agira de valider l'outil sur des cas d'étude concrets en contexte agronomique et en contexte de sites et sols pollués. Ce travail devra aboutir, d'une part, à la rédaction d'un article scientifique présentant l'application et la validation de l'outil et, d'autre part, à la formalisation d'un guide méthodologique pour l'acquisition ultérieure des données expérimentales nécessaires à l'adaptation de l'outil pour de nouveaux types de contaminants.

L'outil d'aide à l'interprétation pourrait également être adapté à des composés organiques dès le travail de thèse en fonction de la disponibilité de mesures de flux issues de projets menés en parallèle durant ces 3 années.

¹² Hu B., Xue J., Zhou Y., Shao S., Fu Z., Li Y., Chen S., Qi L., Shi Z. (2020) Environmental Pollution 262 : 114-308 doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114308

¹³ Nguyen C., Roucou À., Grignon G., Cornu J.-Y., Méléard B. (2021) Journal of Hazardous Materials 401 : 123-131 doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123131

Enfin, la coordination et le suivi de la thèse sera assuré par des réunions régulières avec l'équipe d'encadrement (cf. ci-dessous) ainsi que par la tenue une fois par an du comité de suivi de thèse selon les modalités de l'école doctorale d'inscription.

Compétences souhaitées

Titulaire d'un diplôme de niveau 7 (i.e. Master 2), vous avez des compétences en sciences et ingénierie des données, biostatistiques, mathématiques appliquées et/ou informatique décisionnelle et un intérêt pour l'environnement, voire une première expérience d'application aux problématiques des contaminations ou à l'étude des sols, des écosystèmes ou des végétaux. Langage de programmation à votre convenance. Anglais niveau B2 requis.

Outre ces compétences techniques, vous devrez faire preuve d'autonomie, d'une capacité à communiquer vos travaux à l'oral comme à l'écrit, en français comme en anglais, d'une capacité à l'interdisciplinarité et d'une volonté de faire le lien entre recherche académique et recherche appliquée à l'expertise en bureau d'étude.

Contrat et équipe d'encadrement

- Financement : bourse Cifre GINGER BURGEAP
- Directeur de thèse : Emmanuel Doelsch (CIRAD, unité Recyclage et risque)
- Co-directeur : Matthieu Bravin (CIRAD, unité Recyclage et risque)
- Co-encadrante : Laure Lemal (GINGER BURGEAP, Département R&D)
- Début de la thèse : octobre 2023
- Lieu de travail : Cirad sur Montpellier, la personne recrutée travaillera également ponctuellement au sein de l'entreprise
- École doctorale : Sciences de l'environnement (Université Aix-Marseille) ou GAIA (Université de Montpellier)

Pour candidater

Adressez vos CV et lettre de motivation à Laure Lemal, l.lemal@groupeginger.com, Matthieu Bravin, matthieu.bravin@cirad.fr, et Emmanuel Doelsch, emmanuel.doelsch@cirad.fr. Si vous souhaitez davantage d'informations, n'hésitez pas à nous contacter par mail ou par téléphone, Laure Lemal au 06.12.29.13.99 et Matthieu Bravin au 04.67.61.59.41.

Partenaires principaux

GINGER BURGEAP et le CIRAD sont partenaires, au-delà de ce sujet de thèse, pour le développement technique et scientifique du RHIZOtest.



Préserver l'environnement, participer à la réalisation de villes durables, accompagner les entreprises écoresponsables, favoriser la transition énergétique : Ginger BURGEAP vise l'excellence technique portée par plus de 350 ingénieurs et son Département Recherche et Développement qui compte une vingtaine d'ingénieurs et docteurs. Grâce à leur connaissance du terrain, les équipes de Ginger BURGEAP inventent, conçoivent et mettent en œuvre des solutions pratiques pour le développement durable depuis 70 ans, dans le monde entier.



Le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD) est l'organisme français de recherche agronomique et de coopération internationale pour le développement durable des régions tropicales et méditerranéennes. L'unité d'accueil, Recyclage et Risque, est une équipe de 40 personnes qui développent des travaux pluridisciplinaires pour proposer des solutions de recyclage des produits résiduels agricoles par des pratiques culturales à risques agro-environnementaux contrôlés. C'est au sein de cette unité que le RHIZOtest a été normalisé et où la plupart des données de cette thèse ont été produites.