

Rapport d'activité

GISFI

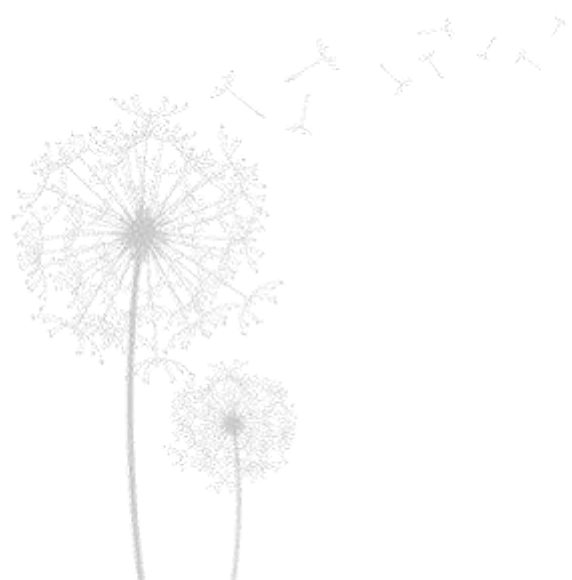
Groupement d'Intérêt Scientifique



2025

Requalification des territoires dégradés
Interdisciplinarité & Innovation





Zoom sur des projets de recherche	.4
Projets qui débutent	.15
La station expérimentale	.20
Publications, thèses et HdR	.22
Actualités 2025	.24
Animation scientifique	.26



Diagnostic fonctionnel & territorial

QUASPER

Partenaires du GISFI : GeoRessources, GINGER BURGEAP

Autre partenaire : PHIMECA

Financement : Ademe

2021-2025

Dans le cadre de Plans de gestion (PG) et de Plans de conception des travaux (PCT), les modèles de prédiction de l'évolution des sources de pollution sont utiles pour disposer d'éléments techniques pour le choix et le dimensionnement des solutions de gestion (estimation des durées et coûts de traitement, ...). A ce jour, ils sont peu souvent mis en œuvre dans les études pour plusieurs raisons : temps de réalisation et complexité de mise en œuvre importants, incertitudes insuffisamment maîtrisées, déficit de caractérisation des facteurs influençant le devenir d'une zone source.

Dans ce contexte, le projet QUASPER, porté par un consortium comprenant 2 sociétés d'ingénierie (BURGEAP et PHIMECA) et un laboratoire de recherche (GEORESSOURCES), visait à faciliter et à sécuriser la réalisation des études de modélisation du devenir des sources de pollution organiques de type NAPL (Non Aqueous Phase Liquid) telles que les hydrocarbures pétroliers, les COHV, les PCB... Pour cela, plusieurs axes de travail ont été adoptés : (i) l'amélioration de la compréhension des paramètres clés qui pilotent l'évolution des zones sources de pollution ; (ii) l'identification des situations dans lesquelles une simplification de la modélisation est possible et ; (iii) la quantification systématique des incertitudes.

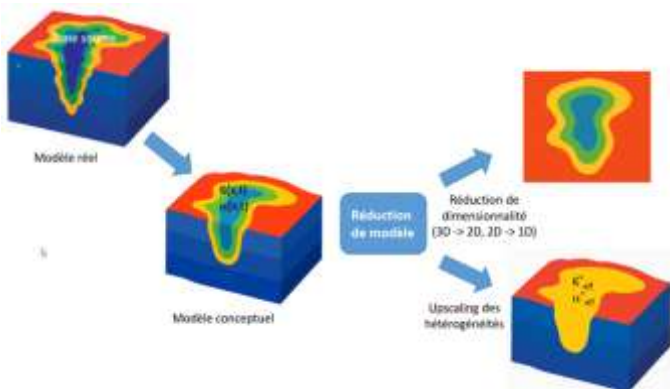


Figure 1. Différentes stratégies de réduction de modèle

Différents modèles numériques, de l'échelle du pore à celle du site, ont été développés afin de mieux caractériser les paramètres clés du processus de dissolution et de tester des approches permettant de réduire les dimensions du problème. Globalement, le modèle moyenné restitue plus fidèlement les concentrations dissoutes que les saturations en NAPL, ce qui le rend particulièrement pertinent pour prédire la durée de vie des sources ayant un objectif de

Contact : fabrice.golfier@univ-lorraine.fr

réduction des concentrations en polluants dissous plutôt que de réduction de masse de polluants dans la source (e.g., masse de NAPL).

Pour l'étude des incertitudes, divers méthodes mathématiques ont été mises en œuvre sur des modèles de plusieurs sites pollués pour vérifier leur applicabilité. Des outils d'analyse de sensibilité et de propagation d'incertitudes avec une approche probabiliste ainsi que le recours éventuel à un émulateur ont été testés.

Principaux résultats

- Evaluation des méthodes permettant de propager les incertitudes d'entrée sur les résultats (sorties) des modèles.
- Simplification des modèles de dissolution de polluant mono-constituant à grande échelle en milieux hétérogènes.
- Application de ces métamodèles à des cas réels.

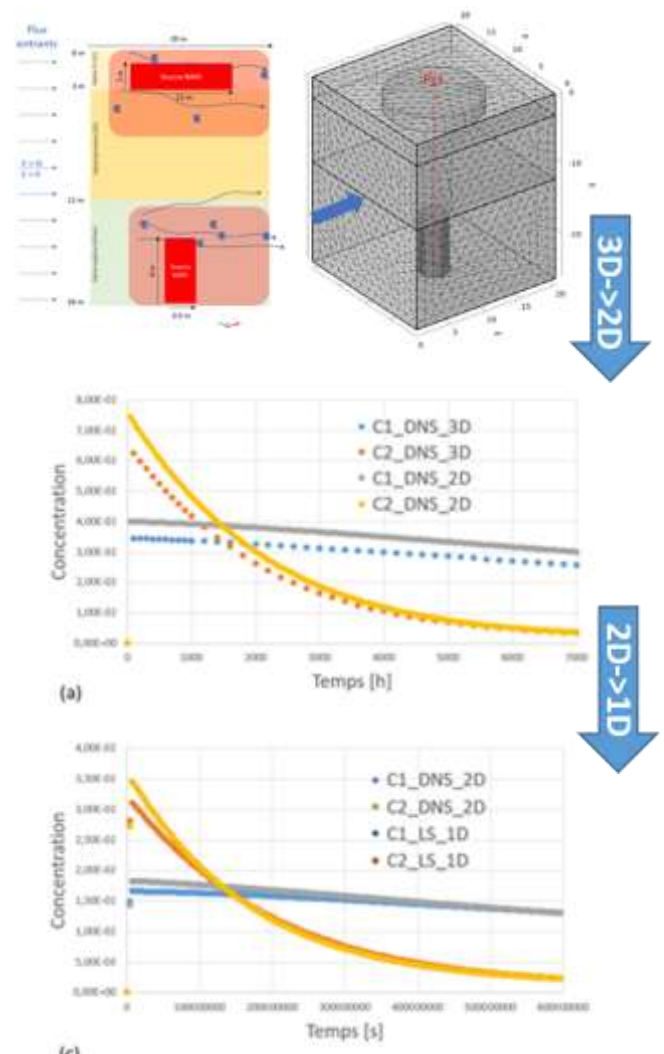


Figure 2 : Vue en coupe de la répartition des zones sources et géométrie 3D du cas d'application. (a) : Comparaison de l'évolution des concentrations de PCE (C1) et TCE (C2) dans la formation des Sables Fins prédites par les modèles 3D et 2D et (b) Comparaison de l'évolution des concentrations de PCE (C1) et TCE (C2) dans la formation des Sables Fins prédites par les modèles 2D et 1D moyenné

DARK & STRONG

Partenaire du GISFI : LIEC

Autres partenaires : Université Marie & Louis Pasteur, Farchhochschule Erfurt, Hochschule Wismar (Allemagne)

Financement : ANR (France) et DFG (Allemagne)

2024-2027

Les endophytes septés foncés (dark septate endophytes - DSE) sont un assemblage polyphylétique d'ascomycètes qui colonisent les racines des plantes et sont caractérisés par une accumulation prononcée de mélanine au niveau de leurs hyphes. De nombreux auteurs ont émis l'hypothèse que ce trait pourrait être avantageux pour les deux partenaires des associations plante-DSE en réponse à divers stress biotiques et abiotiques. Cependant, la démonstration expérimentale de la contribution d'une forte mélanisation des DSE à l'atténuation du stress fait encore défaut. De plus, la mélanine pourrait également jouer un rôle dans la pénétration et la colonisation des racines par les hyphes des DSE. Dans ce projet ANR_DFG **DARK&STRONG**, nous visons à mieux comprendre le processus de mélanisation chez une espèce DSE modèle (*Rhexocercosporidium* sp.), en réalisant un focus sur les mécanismes modulant le niveau de mélanisation. Des approches génétiques, pharmacologiques, physico-chimiques, physiologiques et omiques complémentaires sont utilisées pour décrypter le rôle que la mélanine pourrait jouer dans la compétitivité du champignon pour la colonisation des plantes et dans la tolérance élevée de *Rhexocercosporidium* sp. à une gamme de stress abiotiques et biotiques.

La compréhension des mécanismes qui atténuent le stress environnemental au niveau des DSE et des plantes qu'ils colonisent pourrait contribuer à l'exploitation de cette ressource fongique pertinente pour la production durable de cultures végétales qui font face à des contraintes croissantes, dont la présence d'organismes phytopathogènes dans la rhizosphère, l'exposition aux contaminants, et les impacts du changement climatique.

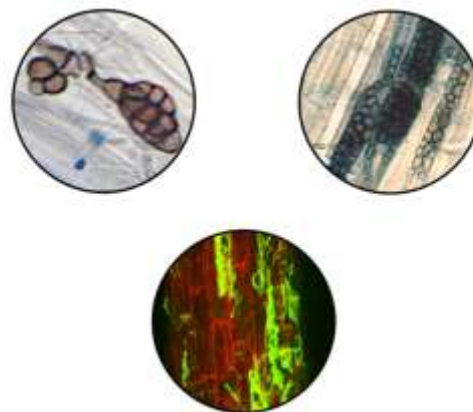


Figure 1. Colonisation de racines par des dark septate endophytes

Principaux résultats

- Développement de nouvelles approches (génie génétique) pour obtenir des mutants albinos.
- Criblage de plusieurs milliers de molécules d'origine végétale et identification d'inhibiteurs de la mélanisation.
- Premières démonstrations de la meilleure tolérance au stress métallique lorsque les souches sont mélanisées.

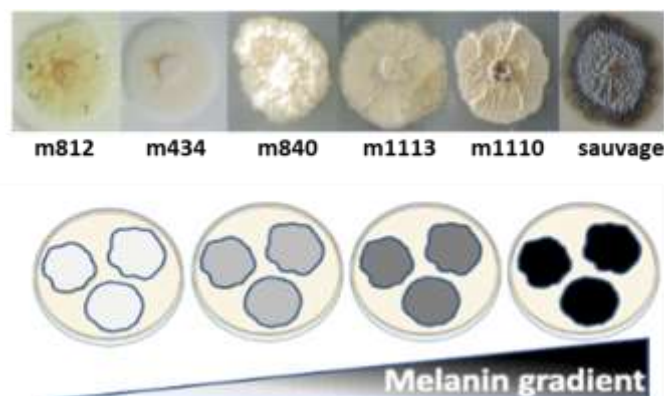


Figure 2. Souches différenciellement mélanisées

REEVES 2

Partenaire du GISFI : LIEC

Autres partenaires : AGROECOLOGIE Dijon et CEFE Montpellier

Financement : SNCF Réseau

2024-2026

Le projet REEVES, financé par SNCF Réseau, vise à lutter contre les espèces végétales invasives des talus ferroviaires. En effet, certaines espèces, comme *Ailanthus altissima*, peuvent représenter un danger pour la circulation des trains. Cette espèce invasive exerce une forte pression sur les plantes voisines via l'ailanthone, un quassinolide très phytotoxique présent dans ses feuilles et ses racines. Si ses effets inhibiteurs sur la germination sont bien connus, son devenir réel dans le sol reste peu documenté, notamment concernant une possible dégradation microbienne. Or, les communautés microbiennes des sols envahis pourraient transformer ou détoxifier cette molécule, modulant ainsi l'intensité de l'allélopathie.

Notre étude a évalué la phytotoxicité de l'ailanthone et des extraits d'ailante sur *Avena sativa*, exploré sa rémanence en sols stériles et non stériles, recherché des bactéries capables de l'utiliser comme seule source de carbone, puis testé si leur inoculation pouvait atténuer la toxicité des extraits.

Les résultats confirment un effet allélopathique très marqué *in vitro*, mais révèlent aussi une disparition rapide, en 5 jours, de l'ailanthone dans les sols non stérilisés, suggérant une dégradation d'origine microbienne. Parmi 85 isolats bactériens, l'isolat GM62 s'est distingué par sa capacité à dégrader l'ailanthone et à restaurer la croissance des plants exposés aux extraits d'ailante.

Les travaux à venir porteront sur l'étude de l'impact de l'ailanthone sur la physiologie des plantes, la survie et l'efficacité de l'isolat en sol non stérilisé, le séquençage de son génome et l'identification des métabolites issus de la dégradation microbienne de l'ailanthone.

Principaux résultats

- Fort effet allélopathique des extraits d'ailante et de l'ailanthone *in vitro*.
- Etude cinétique de la dégradation biologique de l'ailanthone dans un sol non-stérilisé.
- Identification d'un isolat bactérien (GM62) dégradant l'ailanthone *in vitro*.

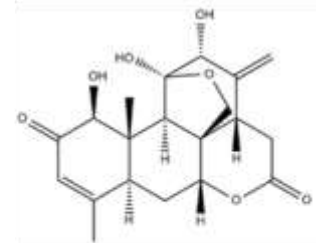


Figure 1 : Talus ferroviaires colonisés par l'ailante, plante invasive qui produit une molécule allélopathique (ailanthone)

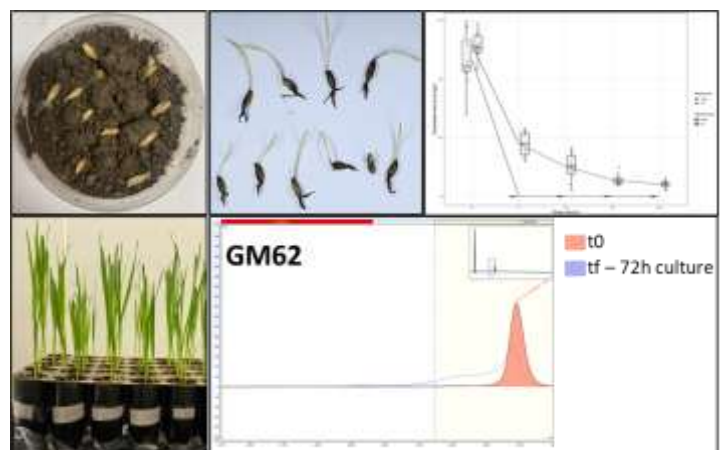


Figure 2 : Effets de l'ailanthone sur la germination de l'avoine et dégradation de l'ailanthone en fonction du temps

Procédés de restauration/requalification

MIBIREM : Toolbox for Microbiome based Remediation

Partenaire du GISFI : LIEC

Autres Partenaires : RTDS (Autriche), Austrian Institut of Technology (Autriche), Altar (France), DND Biotech (Italie), Université de Ghent (Belgique), Sensatec (Allemagne), TAUW (Pays-Bas), Université de Pisa (Italie), Université d'Utrecht (Pays-Bas), Université d'Hasselt (Belgique).

Financement : Horizon Europe

2022-2027

Le projet européen MIBIREM vise notamment à caractériser les microbiomes des sols et eaux souterraines, efficaces pour dégrader les hydrocarbures pétroliers, les cyanures et les isomères de l'hexachlorocyclohexane, en vue d'essais de bio-augmentation in situ, comme traitement de remédiation. L'objectif est de développer des outils pour évaluer la faisabilité de la bioremédiation de sites contaminés. Les étapes consistent à enrichir, isoler, caractériser, optimiser et conserver les consortia bactériens les plus efficaces. Puis il s'agit de tester leur performance au laboratoire, lorsqu'ils sont inoculés dans des essais pilotes et in situ.

Nous avons principalement travaillé sur un site contaminé aux hydrocarbures. Trois stratégies indépendantes ont été déployées pour enrichir des microbiomes capables de dégrader les hydrocarbures : des microcosmes, des cultures d'enrichissement en milieu liquide et l'utilisation de dispositifs de captures in situ appelés BactoTrapS et nouvellement développés dans le projet. Notamment un consortium était capable de dégrader des mélanges complexes d'hydrocarbures. Ce consortium a été caractérisé au niveau taxonomique, métagénomique et métatranscriptomique. Les souches constituant ce consortium ont été isolées et leur génome séquencé pour identifier les voies métaboliques et gènes de dégradation. En complément, les bactéries actives in situ dans le sol ont été identifiées via l'utilisation de substrats marqués au ^{13}C et la technique DNA-SIP. Ces informations vont permettre le



développement de bio-tests pour quantifier les bactéries après leur inoculation dans les sols, lors des essais pilotes.

Principaux résultats

- Utilisation de 3 stratégies d'enrichissement (microcosmes, cultures liquides, BactoTrapS).
- Enrichissement de consortia bactériens capables de dégrader des mélanges complexes d'hydrocarbures (caractérisation taxonomique, métagénomique, métatranscriptomique).
- Isolement de souches, caractérisation fonctionnelle, séquençage de leur génome, identification des voies métaboliques et gènes fonctionnels.
- Identification des bactéries actives in situ via l'utilisation de substrat marqué au ^{13}C , et la technique DNA-SIP.
- Bio-augmentation en batchs et colonnes de sol.

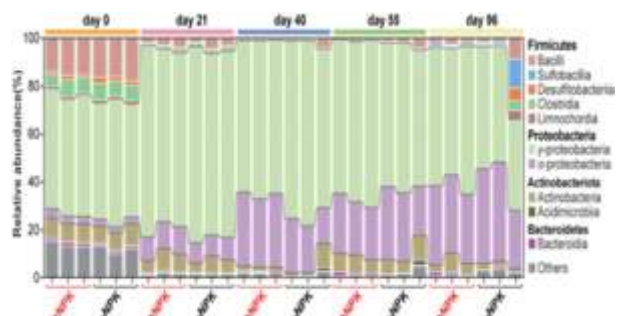


Figure 1 : diversité bactérienne dans les microcosmes de sol avec ou sans ajout de solution nutritive (NPK), au cours de l'incubation de 96 jours



Photo : prélèvement de sol contaminé aux hydrocarbures pétroliers

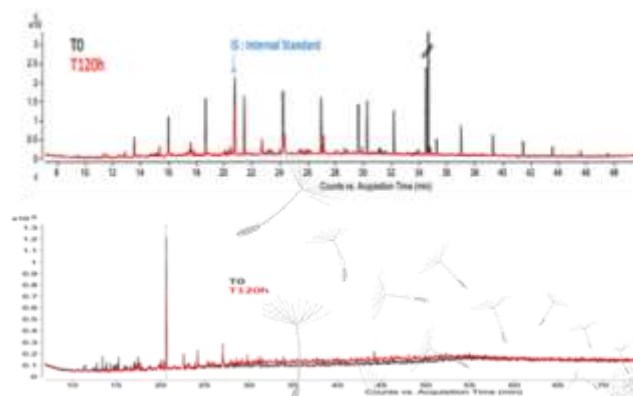


Figure 2: chromatogrammes de la composition en hydrocarbures (CG-MS) au cours de la biodégradation (To et après 120h) de diesel (graphique du haut) et d'huile du site (graphique du bas) par le consortium bactérien enrichi au laboratoire

Contact : aurelie.cebron@univ-lorraine.fr

Procédés de restauration/requalification

HAO - TAMARA'A - METOSTAB

Partenaires du GISFI : LIEC, LSE, LRGP

Autres partenaires : CNRS Biologie (anc. INSB) Strasbourg ,
Délégation de la Recherche en Polynésie française

Financement : MITII CNRS (Mission pour les Initiatives Transverses et Interdisciplinaires) — Ministère des armées

2024-2027



L'occupation de sites par des activités militaires engendre une anthropisation des milieux environnants. L'arrêt des activités militaires en Polynésie française a laissé derrière elles des zones fortement contaminées par des métaux lourds (ETM), hydrocarbures et polychlorobiphényles (PCB). L'une des propositions de remédiation pour réhabiliter les zones contaminées est la phytoremédiation qui repose sur l'action conjointe des plantes et de leur microbiome associé pour stabiliser, extraire ou biodégrader les contaminants. Dans un contexte insulaire, les plantes et microorganismes choisis doivent être indigènes des zones à traiter, pour éviter l'introduction d'organismes potentiellement invasifs.

En 2025, une première mission de caractérisation des sites d'étude a été réalisée, révélant des contaminations moyennes en alcanes et hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), plus fortes en PCB et très élevées en métaux (aluminium, cuivre, zinc, cadmium, plomb, arsenic et nickel). La flore a été décrite et plusieurs espèces indigènes identifiées. L'abondance et la diversité des bactéries et champignons ont été estimées après extraction des ADN à partir des substrats calcaire. Des microorganismes ont également été isolés à partir de racines de plantes récoltées sur les sites, qui seront caractérisés au niveau fonctionnel.



Figure 1 : Identification et description de la flore locale

La partie menée par le LIEC (TAMARA'A) concerne la caractérisation de la flore et des communautés microbiennes de l'atoll de Hao pour la mise en place de procédés de phyto-remédiation assistée par les microbiomes pour gérer la contamination en hydrocarbures, PCB et métaux des sols.

Principaux résultats

- Description de la diversité des communautés microbiennes de l'atoll de Hao
- Contamination moyenne en hydrocarbures totaux et HAP.
- Contamination importante en PCB.
- Contamination importante en aluminium, cuivre, zinc, plomb, arsenic, cadmium et nickel.
- Pas de corrélation entre le taux de contaminants et l'abondance microbienne.
- Culture d'une plante indigène en laboratoire.
- Isolement de bactéries et champignons tolérants aux contaminants, capables de dégrader les hydrocarbures et PCB et ayant des propriétés de promotion de croissance.

A fin d'améliorer le processus d'accumulation des métaux par les plantes locales, le LSE (HAO) étudie l'utilisation de sidérophore pyoverdine (PVD) en synthétisant une version « augmentée », plus efficace pour chélater les ETM pour assister le processus de phytoextraction.

L'efficacité de l'accumulation des ETM par les plantes suite à l'apport de sidérophore sera, dans un premier temps, évaluée en condition contrôlée (ex situ) puis transposée in situ sur l'atoll par la mise en place d'un démonstrateur. Dans ce projet, l'impact environnemental de la phytoextraction et des services écosystémiques rendus sera étudié grâce aux analyses effectuées avant et après la mise en place du procédé de phytoextraction sur place à partir de fin 2026

Principaux résultats

- Mise en place et caractérisation d'un dispositif de 75 m² pour étude in situ.
- Présence hétérogène d'ETM (cf. Figure).
- 9 plantes recensées sur site.
- Diversité bactérienne avec dominance des phyla Chloroflexi, Actinobacteria et Proteobacteria.

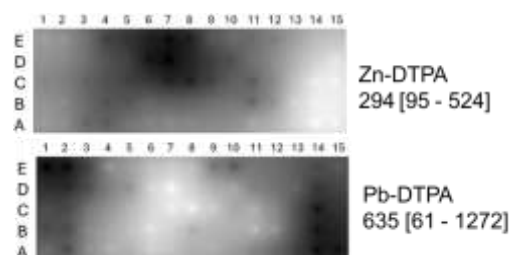


Figure 2 : Cartes krigées des concentrations en Zn (A) et Pb (B) en mg kg⁻¹. La moyenne et le rang sont indiqués.

Développement de procédés low-tech pour la production de nickel à partir de plantes hyperaccumulatrices en contexte tropical

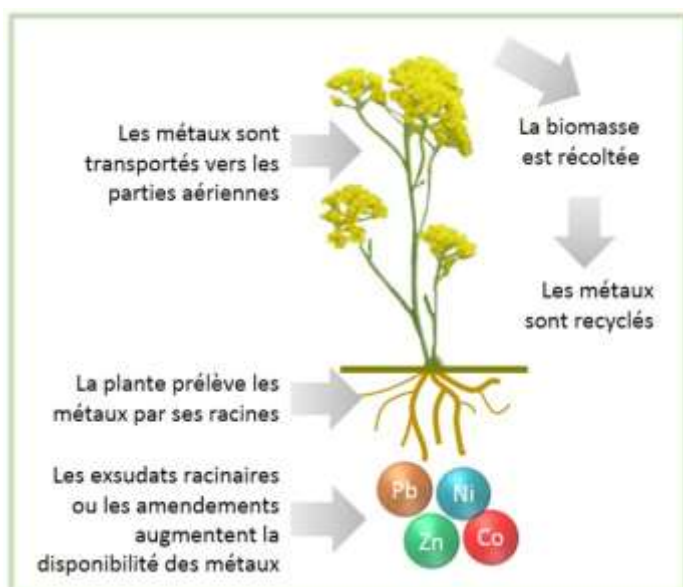
Projet : Thèse Clémence PINCHAUX

Partenaires du GISFI : LRGP, Econick

Financement : Econick

2022-2025

Le nickel a été classé comme matière première critique par l'Union européenne en raison de sa forte demande. Or, la production de nickel par voie minière traditionnelle pose de nombreux problèmes environnementaux, tels que l'émission de gaz à effet de serre et la pollution des sols. L'agromine consiste à cultiver des plantes hyperaccumulatrices sur des sols riches en nickel, puis à extraire ce métal de ces plantes. Elle constitue ainsi un mode de production de nickel plus respectueux de l'environnement.



L'objectif de cette thèse est de développer un procédé permettant de produire du nickel à partir de plantes hyperaccumulatrices tropicales, sans combustion. Ce procédé doit respecter les valeurs de la démarche low-tech, c'est-à-dire la « durabilité forte », la « résilience collective » et la « transformation culturelle ». Enfin, le taux d'extraction du nickel ainsi que sa pureté doivent être maximisés.

Le nickel a été extrait par un procédé d'extraction solide/liquide, appelé lixiviation, avec un rendement allant jusqu'à 62% avec de l'eau et jusqu'à 100% avec une solution acide. Il a été montré que la biodégradation de la plante avant la lixiviation inhibe l'extraction, et que le séchage des plantes avant cette étape réduit le taux d'extraction du nickel. Le lixiviat peut être enrichi en nickel jusqu'à 5 g/L.

Les prochaines étapes de ce projet consistent à mettre à l'échelle, sur le site, le procédé d'extraction, à développer un procédé de récupération du nickel présent dans le lixiviat et, enfin, à évaluer la technicité du procédé.

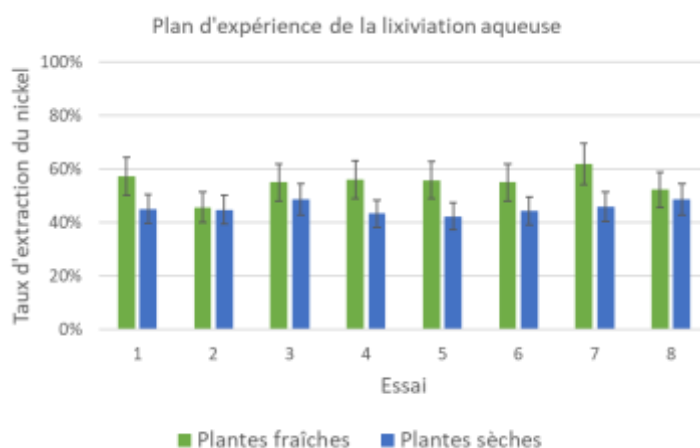


Figure : Taux d'extraction du nickel sur plantes fraîches et sèches dans de l'eau en fonction de différents paramètres expérimentaux.

Principaux résultats

- Ni a été extrait (lixiviation) avec de l'eau (62 %) et une solution acide (100 %).
- La biodégradation de la plante inhibe l'extraction .
- Sécher les plantes réduit le taux d'extraction.
- L'utilisation d'acide augmente le taux d'extraction et la technicité du procédé.
- 5 g/L de nickel est la concentration max du lixiviat.



Contact : marie-odile.simonnot@univ-lorraine.fr

Adaptation des territoires dégradés face

Etat et réactivité des matériaux de scellement des sols : les enrobés bitumineux contribuent-ils à l'émission de GES?

Projet : Thèse Arnaud HERBRETEAU

Partenaires du GISFI : LIEC, LSE

Financement : UL Pôle OTELO

2022-2025

Ce projet de recherche, réalisé dans le cadre de la thèse d'Arnaud Herbreteau (LIEC-LSE), se concentre sur l'étude des Technosols écraniques, des sols artificiels scellés par des revêtements bitumineux, tels que ceux présents dans des infrastructures routières ou urbaines. L'objectif principal est d'évaluer si ces sols scellés en place, peuvent devenir des sources d'émissions de gaz à effet de serre (GES) sous l'effet du rayonnement solaire (UV-A).

L'étude repose sur un dispositif expérimental conçu pour simuler les conditions réelles d'exposition solaire. Des échantillons d'enrobés bitumineux ont été soumis à un rayonnement UV-A. Les concentrations de trois gaz — dioxyde de carbone (CO_2), dioxygène (O_2) et méthane (CH_4) — ont été mesurées, à la fois en conditions contrôlées (en laboratoire) et en conditions semi-réelles (proches des conditions naturelles).

Les résultats montrent que les enrobés bitumineux émettent du CO_2 sous exposition UV-A. Par ailleurs, une diminution notable de la concentration en O_2 est observée, indiquant une consommation d'oxygène probablement liée à des réactions d'oxydation au sein du matériau bitumineux. Enfin, en conditions semi-réelles, les enrobés montrent la production de traces de méthane (CH_4).

Ces résultats mettent en lumière le rôle potentiellement sous-estimé des infrastructures scellées dans les bilans de GES. Les émissions observées, bien que modestes à l'échelle d'un échantillon, pourraient devenir significatives à l'échelle des vastes surfaces urbaines recouvertes de bitume. Cette recherche souligne l'importance de considérer les sols scellés non seulement comme des surfaces inertes, mais aussi comme des acteurs potentiels du cycle du carbone, capables notamment d'influencer les bilans de GES à l'échelle locale et globale. Elle invite à une réflexion approfondie sur la conception et la gestion des infrastructures urbaines via l'imperméabilisation et la désimperméabilisation, dans un contexte de changement climatique.

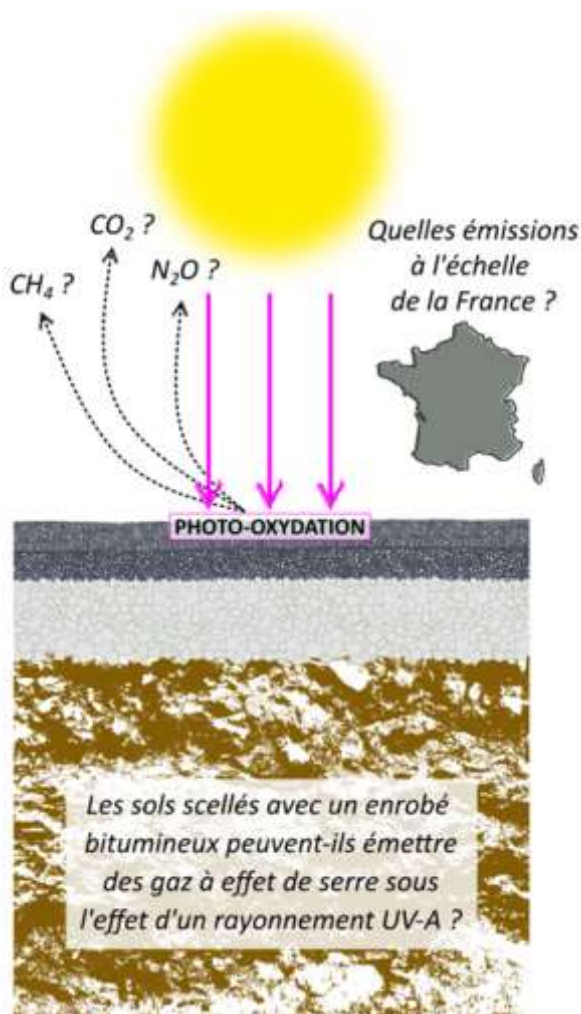


Figure 1. Le rayonnement UV-A, principal facteur d'altération de l'horizon de surface d'un Technosol écranique ?

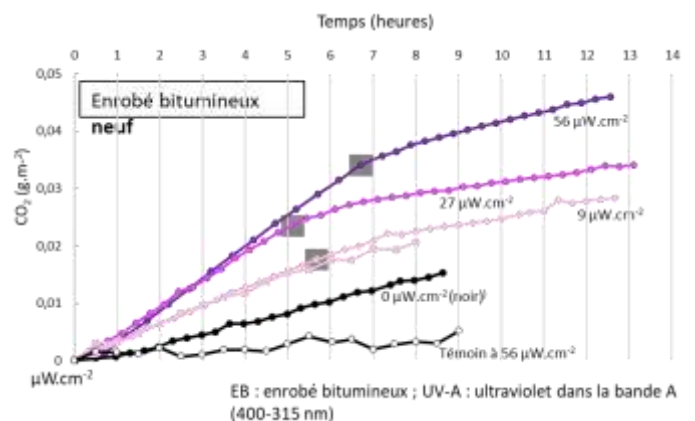


Figure 2: Evolution des concentrations de CO_2 au cours du temps, dans les sacs contenant de l'enrobés bitumineux et pour différentes modalités d'irradiance. EN-56, EN-27, EN-9a, EN-9b : enrobés irradiés respectivement à 56, 27, 9 et 9 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$; EN-0 : enrobé neuf maintenu dans le noir.

BATMOBIL : Étude expérimentale de l'impact des fluctuations de la nappe phréatique sur la mobilisation des hydrocarbures pétroliers.

Projet : Thèse Alassane Wade

Partenaires du GISFI : LIEC, GeoRessources, BRGM

Autre partenaire : EDF

Financement : Ademe BRGM

2024-2027

Les NAPL sont des contaminants organiques non miscibles et peu solubles dans l'eau, se déplaçant dans les sols et les eaux souterraines sous forme de liquides huileux. Le projet de thèse se concentre sur les LNAPL, plus légers que l'eau, principalement constitués d'hydrocarbures pétroliers raffinés, représentant une part significative des pollutions en France. Les méthodes de récupération du LNAPL flottant incluent le pompage/écrémage et les techniques passives telles que les tranchées drainantes. Cependant, une quantité résiduelle de LNAPL reste piégée sous forme de gouttelettes/lentilles, influencée par les caractéristiques du milieu et les processus de fractionnement. La remobilisation de cette pollution résiduelle dépend des battements de nappes et des propriétés rhéologiques des polluants, variant selon l'hétérogénéité du milieu et la nature de la contamination.

L'imagerie géophysique, notamment la résistivité électrique complexe ou la polarisation induite (PI), offre une solution non intrusive et continue pour combler les lacunes d'information concernant la pollution par les hydrocarbures. De plus, au cours des battements de nappe, le LNAPL voit sa répartition et sa nature chimique évoluée (phase pure, dissoute et gazeuse) auxquels s'ajoute les processus de (bio) dégradation impliquant la nécessité d'une caractérisation géochimique précise pour calibrer les réponses géophysique.

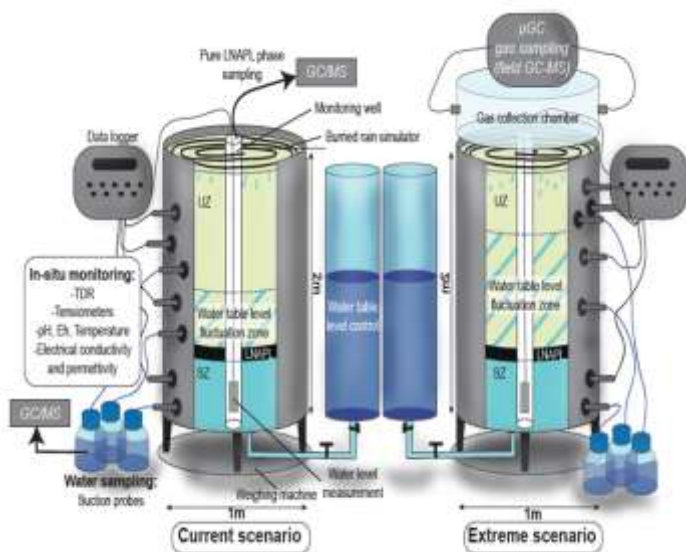


Figure 1: Colonnes lysimétriques instrumentées

Dans le cadre de cette thèse, il est proposé de déployer/développer des approches de géophysiques (combinaison de la modélisation multiphasique avec celle de la résistivité électrique complexe) dans un milieu multiphasique typique d'une nappe contaminée par du LNAPL en reliant les réponses aux caractéristiques fines (nature et répartition) des contaminants organiques. Cette approche combinée permettra d'améliorer l'interprétation des mesures géophysiques au laboratoire, sur des dispositifs lysimétriques de grandes tailles en conditions contrôlées (Figure 1) puis sur un site atelier pollué. Ainsi, l'expérimentation, la résolution numérique des équations de transport et la calibration des signaux géophysiques par l'analyse moléculaire fine des contaminants dans les différents compartiments (phase pure, dissoute, gazeuse) permettront de d'évaluer les variations des teneurs en polluant induit par les battements de nappe

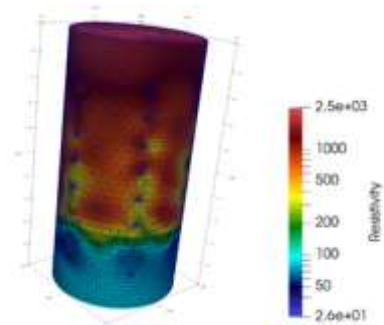


Figure 2: Maillage et inversion d'une tomographie de résistivité

Des résultats initiaux d'inversion de tomographies de résistivités électriques dans des dispositifs lysimétriques (Figure 2) montrent que la résistivité dans la colonne lysimétrique varie de manière cohérente avec les fluctuations du niveau de la nappe phréatique. Lorsque la saturation en eau diminue, la résistivité augmente, reflétant le déplacement vers le haut de l'eau. Lors de l'injection de LNAPL, les zones résistives (Figure 3) deviennent encore plus résistives (Étapes 2, 3 et 4) par rapport à l'étape initiale (Étape 1), confirmant que la saturation en hydrocarbures contrôle fortement la réponse électrique du milieu poreux.

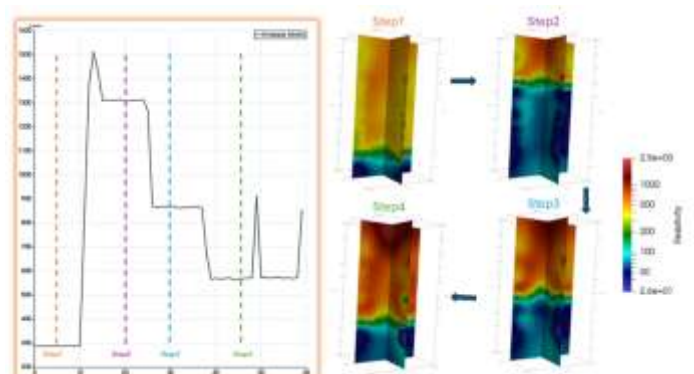


Figure 3: Corrélation des variations de résistivité aux fluctuations du niveau d'eau dans la colonne lysimétrique.

Impact des Jardins-forêts sur la Qualité des Sols (I-Jaques) - Site U4

Partenaire du GISFI : LSE

Partenaires : EDF, Thionville Fensch Agglomération

Financement : Région Grand-Est

2024-2026

Les jardins-forêts sont des écosystèmes boisés et étagés qui permettent une production alimentaire sur de petites surfaces (de 200 m² à quelques ha). Ces « forêts à manger » sont constituées d'arbres et d'arbustes mais également de lianes, d'herbacées, de plantes potagères, de légumes racines ou encore de champignons, le tout, implanté de manière dense et réfléchi. Majoritairement vivaces, ces plantes sont pour la plupart adaptées aux changements climatiques, d'autant plus si elles sont plantées en polyculture réfléchi. En plus de réintroduire une diversité alimentaire issue de paysages boisés, les jardins-forêts permettraient d'améliorer l'ensemble des services écosystémiques.

Malgré tous les avantages cités précédemment et la popularité grandissante de ces écosystèmes, très peu d'études scientifiques sur les jardins-forêts ont été réalisées à ce jour, et aucune sur des sols fortement impactés par les activités humaines urbaines et industrielles. Ainsi, le projet I-JAQUES a pour objectif de caractériser les effets de ces jardins-forêts sur la qualité et la santé des sols dégradés (site du parc U4) et de les comparer au sol non planté du site. Ces résultats seront également confrontés à ceux obtenus sur un site jardin-forêt nourricier de référence. La caractérisation portera sur l'apport et l'évolution de la matière organique au sol et le stockage de carbone (sol et biomasse végétale), le gain en fertilité, la biodiversité végétale, animale et microbienne et l'évolution de la teneur en polluants minéraux et/ou organiques dans les sols et le potentiel transfert de ces éléments et molécules des sols vers les parties consommables des espèces végétales.

Principaux résultats

- Prélèvements de sol réalisés sur les sites.
- Analyses en cours : caractérisation MO, fertilité, biodiversité (floristique, et microbienne), devenir des polluants (sol et végétaux).

La caractérisation portera sur l'apport et l'évolution de la matière organique au sol ainsi que sur le stockage de carbone (sol et biomasse végétale), le gain en fertilité, la biodiversité végétale, microbienne, l'évolution de la teneur en polluants (minéraux, organiques) dans les sols et le potentiel transfert de ces éléments et molécules des sols vers les parties consommables des espèces végétales. L'ensemble des prélèvements a été réalisé sur les deux sites et les analyses sont en cours.

Ce projet permettra également de développer un outil d'aide à la décision prenant en compte l'installation de jardins-forêts et la qualité des sols.



Photos du site U4 : 2026



Photos du site U4 : installation en 2022



Contact : sonia.henry@univ-lorraine.fr

DESSERT : DESimperméabilisation des Sols Services Ecosystémiques et Résilience des Territoires

Partenaire du GISFI : LSE

Partenaires : Agrocampus Ouest-EPHOr-BAGAP, AMU (Institut d'Urbanisme et d'Aménagement Régional) - UMR Telemme, SCE, Wagon Landscaping, D&L Enromat (Groupe Durand), Plante & Cité

Financement : Ademe Modeval-urba

2021-2024

L'imperméabilisation des sols est un phénomène croissant dans nos villes. Si elle a été historiquement justifiée par des questions de santé, elle répond également à des attentes très concrètes en matière de mobilité et de logement, dans le cadre d'une urbanisation massive. L'imperméabilisation des sols a de graves conséquences, par exemple en termes de perte de biodiversité, d'augmentation des inondations et de développement des îlots de chaleur urbains. Le projet de recherche français multidisciplinaire et multipartite DESSERT avait pour objectif de mieux comprendre le fonctionnement et la capacité des sols urbains à fournir des services écosystémiques avant et après leur désimperméabilisation.

Sur la base d'un inventaire des pratiques d'imperméabilisation et d'approches expérimentales en laboratoire et sur le terrain, l'objectif était également de décrire les opérations de désimperméabilisation et leur soutien d'un point de vue opérationnel. Ce guide est le fruit d'une collaboration entre plusieurs partenaires. Il fournit une aide scientifiquement fondée pour la conception d'opérations de désimperméabilisation et explique les différents avantages de cette technique. Outre la description des étapes et des documents nécessaires à la réalisation de ces opérations, le guide souligne leur rôle fondamental dans la création de villes dotées d'un niveau élevé de fonctions écologiques et de services écosystémiques. Illustré de nombreux exemples, le guide s'adresse aux paysagistes et aux urbanistes, mais est également accessible à toute personne souhaitant (re) découvrir les sols urbains.



2025 : Traduction des acquis du projet DESSERT dans un guide d'aide à la conception



téléchargeable
sur le site de Plante&Cité

<https://www.ressources.plante-et-cite.fr/>

Sommaire	
Fondements du projet DESSERT	
Projet DESSERT	6
Contexte	6
Objectifs	6
Application et valorisation	7
Préambule	9
Imperméabilisation des sols urbains : état des lieux	
Sols urbains : définitions et enjeux	12
Diversité des sols imperméabilisés	14
Composition des sols imperméabilisés	16
Conséquences de l'imperméabilisation	18
Impacts sur le fonctionnement biologique et le développement des végétaux	18
Impacts sur les cycles hydrologiques	18
Impacts sur le fonctionnement thermique	19
Impacts sur le risque de contamination	19
Vue d'ensemble des impacts sur le fonctionnement des sols	19
Aménagement et scellement des sols	
Artificialisation des sols et étagement urbain	22
Construction de bûche	22
Installation de revêtements de voirie	23
Compaction	24
Colmatage de surfaces perméables	24
Pourquoi désactiver ?	
Contexte réglementaire et opérationnel	26
Cadre réglementaire	26
Place en compte des sols par le biais des dynamiques européennes	26
JAN, vers un objectif de neutralité	26
Cadre juridique au sein des documents d'urbanisme	28
Restaurer les fonctions des sols	30
Restaurer les fonctions des sols	
Essais en conditions de laboratoire	32
Sites pilotes de terrain	33
Adopter l'intervalle d'intervention au contexte pédo-climatique	35
Gain de fonctions et de services rendus par les sols après désactiver	37
Évaluation des sols dans le temps	38
Comment désactiver ?	
Comprendre les étapes d'un projet	40
Concevoir et étudier le projet	44
Diagnostic (DIA)	44
Avant-projet (AVP)	47
Rapport des trois hypothèses de désactiver	49
Choisir les stratégies	
Projet et Dossier de Consultation des Aménageurs (PCOA)	52
Transition durable nouvelle	53
Réaliser les travaux	
Réaliser un état pré-travaux	54
Définir le planning et le stockage	54
Sol et état réalisé	55
Inviter à nouveau les services gestionnaires	55
Gérer les sols désactifs	
Outils et pratiques	57
Différents types de gestion	57
Adopter la stratégie de désactiver	62
Pour aller plus loin	
Conclusion	64
Quelques définitions	66
Bibliographie	68

Contact : christophe.schwartz@univ-lorraine.fr

Approche intégrée de gestion des sols dégradés : du diagnostic fonctionnel à la mise en place des solutions

Projet : Thèse Caroline Dalquier

Partenaires du GISFI : LES, BRGM

Partenaire : EDF

Financement : EDF

2022-2025

Les activités industrielles, notamment celles des centrales thermiques, ont entraîné une dégradation significative des sols (imperméabilisation, contamination par les dépôts de charbon et de cendres, compactage). À l'arrêt des activités, les sites représentent un patrimoine foncier stratégique pouvant accueillir des projets de réhabilitation dans une perspective de Zéro Artificialisation Nette à l'horizon 2050. Il est donc essentiel de disposer d'une approche opérationnelle, fondée sur le génie écologique, permettant aux acteurs de terrain d'évaluer les fonctions du sol et leur potentiel de reconversion.

Un modèle cognitif reliant les fonctions du sol à un ensemble minimal d'indicateurs a ainsi été élaboré. Basé sur les propriétés chimiques, physiques, biologiques et la couverture végétale, il comprend six fonctions principales et dix-sept sous-fonctions. Cinquante-deux indicateurs ont été sélectionnés pour constituer un minimum data set, attribués à chaque sous-fonction selon leur pertinence scientifique, logistique et fonctionnelle.

Trois modèles d'évaluation du fonctionnement ont ensuite été générés :

Une méthode semi-quantitative simplifiée appliquée à l'échelle du profil,

Une méthode quantitative statistique, inspirée de Obriot et al. (2016), appliquée à la surface du sol,

Un modèle cognitif complexe semi-quantitatif à l'échelle du profil.

Les résultats montrent que certains Technosols présentent des performances supérieures aux sols naturels pour des fonctions spécifiques, confirmant la complémentarité des échelles de mesure profil/surface.



Figure 1 : Photographie d'une ancienne centrale thermique EDF étudiée

Les perspectives portent sur le test des modèles dans d'autres contextes pour évaluer leur robustesse et affiner le référentiel d'interprétation, dans une logique d'auto-construction évolutive. À terme, l'objectif est d'associer les profils fonctionnels du sol à des méthodes de réhabilitation adaptées, afin d'améliorer le fonctionnement des sols dégradés selon leur usage futur.

Principaux résultats

- Sélections de 52 indicateurs pour la constitution d'un minimum data set.
- Génération de 3 modèles d'évaluation du fonctionnement des sols industriels :
 - méthode semi-quantitative simplifiée appliquée à l'échelle de profils de sols;
 - méthode quantitative statistique, inspirée de Obriot et al. 2016, appliquée à l'échelle des sols de surface (illustration);
 - modèle cognitif complexe : méthode semi-quantitative appliquée à l'échelle de profils de sols.
- Technosols > sols « naturels » pour certaines fonctions.
- Complémentarité des échelles de mesures profils et surface du sol.



Figure 2 : Démarche de diagnostic fonctionnel des sols mis en œuvre dans le cadre de la thèse

Projets qui débutent

Immédiate-PFAS - Interactions entre microorganismes et matériaux inorganiques : défis et stratégies pour la transformation et l'élimination des PFAS

Projet : Thèse Maeva Clément

Partenaires du GISFI : LIEC, LCPME

Financement :

2025-2028

Contexte

- Persistance des PFAS dans les écosystèmes.
- Méthodes de transformation et élimination des PFAS partiellement efficaces.

Objectifs

- Etudier les mécanismes d'adsorption des PFAS sur matériaux hybrides redox actifs.
- Enrichir et caractériser des consortiums bactériens dégradants les PFAS.
- Coupler adsorption des PFAS et biodégradation.

Méthodologie

- Synthèse et caractérisation des matériaux hybrides (DRX, XPS, IR, Raman).
- Enrichissement de consortiums bactériens tolérants au F- et dégradants les PFAS.

Contact : asfaw.zegeye@univ-lorraine.fr

- Incubation tripartite pour adsorption des PFAS et biodégradation.

Résultats attendus

- Effet catalytique potentiel des surfaces redox-actives sur la réactivité des PFAS adsorbés.
- Influence des fluctuations redox sur la biodégradation des PFAS et l'efficacité des matériaux hybrides.

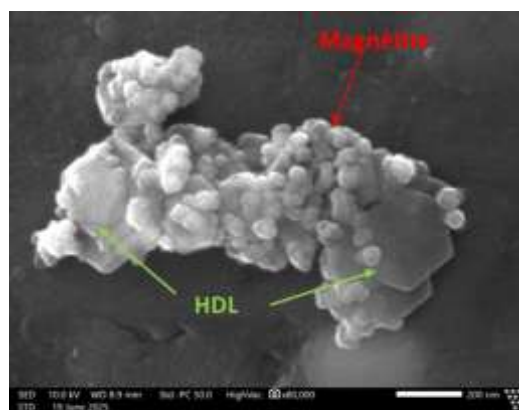


Image MEB du matériau hybride
(© Plateforme SMI du LCPME).

Évaluation de la phytoextraction et de la biodégradation pour éliminer les contaminations en PFAS des sols

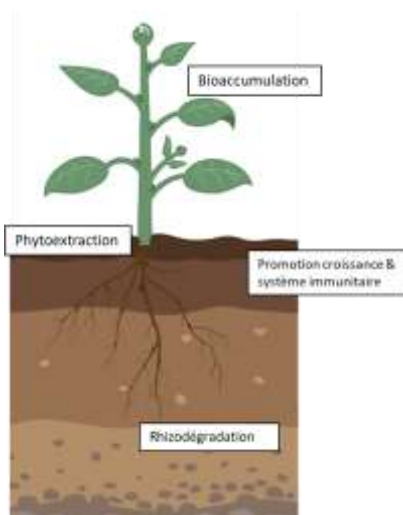
Projet : Thèse Cifre Audrey Veloup

Partenaire du GISFI : LIEC

Partenaires : EGIS, EPOC

Financement : EGIS, ANRT

2025-2028



Différents mécanismes étudiés pour la phytoextraction des PFAS

Contact : aurelie.cebron@univ-lorraine.fr

Contexte

- Les PFAS sont des contaminants organiques persistants et omniprésents.
- Ils sont bioaccumulés notamment par les plantes à potentiel de dépollution par phytoremédiation.

Objectifs

- Identifier une ou des plantes présentant un fort potentiel pour la phytoextraction des PFAS.
- Isoler des microorganismes d'intérêt pour stimuler la phytoextraction.
- Identifier des amendements permettant d'améliorer la phytoextraction.

Méthodologie

- Quantification de la bioaccumulation des PFAS par des plantes naturellement présentes *in situ* & par des plantes cultivées en présence de concentrations croissantes de PFAS.
- Caractérisation des communautés microbiennes *in situ* et développement d'un consortium microbien tolérant aux PFAS et stimulant la phytoextraction.
- Réalisation d'essais de phytoextraction en pots avec plusieurs modalités et mise en place d'un démonstrateur terrain avec la modalité la plus efficace.

Projets qui débutent (suite)

SINBAD : Stratégies intégratives pour l'élimination des PFAS dans les sols : De la caractérisation et mobilisation de la pollution au traitement des effluents concentrés

Partenaire du GISFI : LIEC, TAUW

Partenaires : Institut des Sciences chimiques de Rennes, EPOC, EGIS, TREEWATER,

Financement : ADEME GESIPOL

2025-2028

Contexte

- Optimiser et mettre à l'échelle une stratégie innovante de remédiation environnementale basée sur un procédé de lavage des sols amélioré par une co-injection air/eau.
- Séparer efficacement les PFAS des sols tout en traitant les effluents générés grâce à l'intégration de processus avancés de concentration et de dégradation.

Objectifs

- Caractérisation approfondie de la pollution par les PFAS, y compris les précurseurs souvent négligés, dans des sols aux sources et historiques de contamination variés.
- Optimisation et mise à l'échelle du procédé de lavage des sols assisté par co-injection air/eau.
- Intégration de processus avancés de concentration et d'oxydation pour une élimination efficace des PFAS dans les effluents.
- Impact sur le milieu.

Contact : pierre.faure@univ-lorraine.fr

Méthodologie

- Sélection de sols contaminés PFAS d'origines variées (profils moléculaire contrastés).
- Expérimentation au laboratoire via colonnes lysimétriques de laboratoire (faisabilité) et à l'échelle pilote (grande colonne lysimétrique) : lessivage et traitement des eaux de lavage.
- Essais écotoxicologiques.



lysimètres de laboratoire



Colonnes lysimétrique (2m³)

HYPERSPACE : Ecology and diversity of metal HYPERaccumulating Species: integrating studies of gene expression, Plasticity of Accumulation, individual fitness, functional syndromes and Complementary Effects

Partenaire du GISFI : LSE

Partenaires : EPOC, RSV, Museum Naturel Stuttgart, Université de Tübingen

Financement : ANR

2025-2029

Contexte

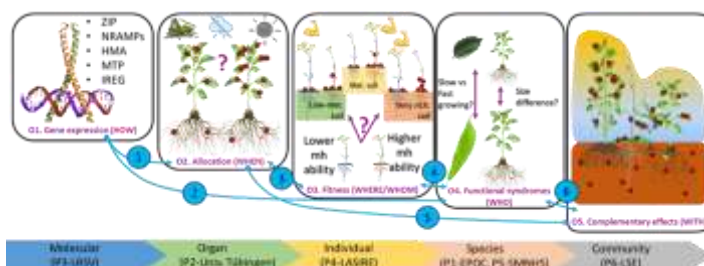
- Biogéographie des hyperaccumulateurs (HA) encore insuffisamment connue.
- De multiples hypothèses pouvant expliquer l'avantage sélectif des HA.
- Manque d'informations sur les effets complémentaires entre plusieurs HA.

Objectifs

Avoir une meilleure compréhension :

- des bases génétiques de l'hyperaccumulation;
- des mécanismes évolutifs de l'hyperaccumulation;
- des interactions entre tolérance et hyperaccumulation;
- du syndrome fonctionnel des HA à l'échelle globale;
- des effets complémentaires entre espèces HA.

Contact : catherine.sirguy@univ-lorraine.fr



Méthodologie

- Echantillonnage d'environ 80 espèces d'HA et étude des traits fonctionnels.
- Analyses transcriptomique et identification des gènes.
- Etude en conditions contrôlées de la plasticité de réponse des HA.
- Essais de cocultures en conditions contrôlées et de terrain.

Résultats attendus

- Meilleure compréhension des fonctions écologiques des HA et des drivers environnementaux de l'hyperaccumulation.
- Identification de gènes clés de l'hyperaccumulation pour de métaux peu étudiés (Th).
- Meilleure compréhension des interactions entre HA en contexte de phytoextraction.

Apports de la télédétection à la modélisation de la culture de plantes Hyperaccumulatrices

Projet : Thèse Cifre Elise Rabbat

Partenaire du GISFI : LSE

Partenaires : Botanickel

Financement : Botanickel—ANRT

2025-2028

Contexte

- Le développement à l'échelle industrielle de l'agromine nécessite le développement d'outils de suivi et de modélisation des cultures.
- Le phénotypage à haut débit par télédétection (drones, capteurs spatiaux) offre une opportunité sans précédent pour combler les lacunes en données.

Objectifs

- Adapter le modèle de culture STICS (Simulateur multidisciplinaire pour les Cultures Standard) au genre *Odontarrhena* en incluant un module de prélèvement du Ni.
- Développer des méthodes de télédétection hyperspectrales pour le suivi physiologique des cultures (croissance, extraction du Ni).
- Développer un Système d'Aide à la Décision pour une Agromine de Précision (SAD-AP) entièrement intégrée.

Contact : stephanie.ouvrard@univ-lorraine.fr

Méthodologie

- Acquisition des données de calage du modèle STICS (compilation de données existantes et mise en œuvre d'expérimentations en conditions contrôlées).
- Acquisition des données de télédétection au champ en Grèce et mise en œuvre d'un schéma d'assimilation de données dans le modèle STICS-Ni.

Résultats attendus

- Créer et valider le premier modèle de culture mécaniste robuste spécifiquement conçu pour simuler l'hyperaccumulation de Ni en conditions environnementales dynamiques.
- Fournir une solution complète pour le développement industriel de l'Agromine du Ni.



Figure : Agromine du Ni au champ

SYLVMET : Développement de systèmes agroforestiers pour l'extraction de métaux stratégiques

Partenaires du GISFI : LSE, LIEC

Financement : I-Site CIRSET

2025-2027

Contexte

- Les sols très anthropisés : un potentiel pour l'approvisionnement en matériaux stratégiques.
- L'association d'arbres à vocation énergétique avec des plantes hyperaccumulatrices : un système innovant pour l'agromine des métaux.

Objectifs

- Acquérir des connaissances nouvelles sur les interactions plantes-plantes-organismes à l'échelle du laboratoire.
- Poser les bases pour une application à l'échelle pilote de ce type de systèmes agroforestiers.

Méthodologie

- Poursuivre les travaux menés en conditions contrôlées sur l'impact de l'inoculation par des champignons endophytes de la co-culture *Noccaea caerulescens* – *Salix aquatica grandis*.
- Mettre en place un dispositif de terrain de longue durée.

Résultats attendus

- Améliorer nos connaissances sur les interactions plantes-micro-organismes.
- Développer des systèmes culturaux innovants et multifonctionnels pour la restauration et la requalification des sites (biodiversité, stockage de carbone, récupération des métaux, production d'énergie, atténuation de la pollution).



Co-culture de *N. caerulescens* et *S. aquatica grandis* en conditions contrôlées

Contacts : damien.blaudez@univ-lorraine.fr & catherine.sirguy@univ-lorraine.fr

Projets qui débutent (suite)

RENAITRE : Concilier les enjeux de la renaturation écologique et de la gestion des sites et sols pollués par l'ingénierie pédo-écologique : application à la plaine de Chanteloup

Partenaires du GISFI : LSE, INERIS, microHumus

Partenaires : TVES, Seine & Yvelines Environnement

Financement : ADEME GESIPOL

2025-2028

Contexte

- Ancienne plaine maraîchère de 330 ha contaminée en ETM majoritairement en friche.
- Volonté des élus de faire une réhabilitation, environnementale et agricole dans une moindre mesure.

Objectifs

- Optimiser les conditions de mise en œuvre in situ d'une technique de génie écologique basée sur l'étrépage des sols et la mise en merlon des terres étrépagées.
- Concilier les enjeux de renaturation écologique du site par la mise en œuvre des outils Site Naturel de Compensation, de Restauration et de Renaturation, avec ceux de la gestion des sols pollués.

Méthodologie

- Identifier les meilleures formulations pédo-écologiques pour améliorer les fonctionnalités des terres étrépagées mises en merlon.

Contact : catherine.sirguy@univ-lorraine.fr

- Paramétrer l'outil d'aide à la décision Destisol pour évaluer les services écosystémiques et les fonctionnalités des sols renaturés en contexte SSP.

- Réaliser des pilotes in situ d'une superficie totale d'environ 900 m².

Résultats attendus

- Tester la faisabilité de la renaturation pour gérer des SSP.
- Valider une méthodologie pour la gestion des terres polluées en fonction de l'usage des milieux et la création d'habitats pérennes pour la faune et la flore.

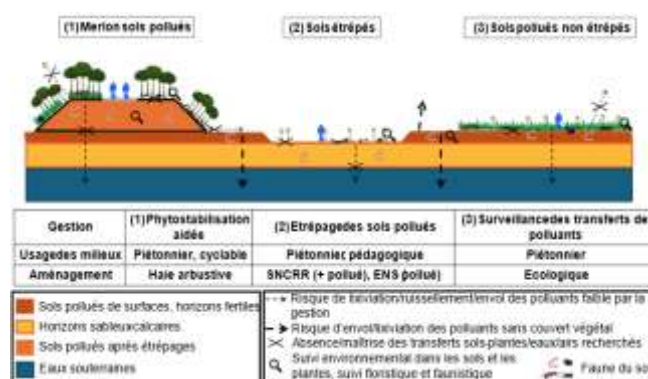


Schéma des types de milieux étudiés : usages, aménagement et objectifs de gestion de la contamination

VOLTAFRICHE - Vers une gestion durable des couverts végétaux sous panneaux photovoltaïques : évaluation multi-échelle sur friches

Partenaires du GISFI : LSE, LIEC,

Partenaires : LAE, CEA

Financement : I-Site CIRSET

2026-2027

Contexte

- Revalorisation du foncier en répondant aux enjeux de « zéro artificialisation nette ».
- Les friches industrielles ont un potentiel pour la production solaire.

Objectifs

- Répondre aux enjeux environnementaux liés aux changements globaux.
- Acquérir des connaissances nouvelles sur les interactions entre les panneaux photovoltaïques et leur environnement.
- Coupler la mise en place de systèmes PV sur des surfaces délaissées à faible potentiel agronomique avec la mise en œuvre d'un itinéraire cultural multi-espèces permettant d'optimiser le bouquet de services écosystémiques.

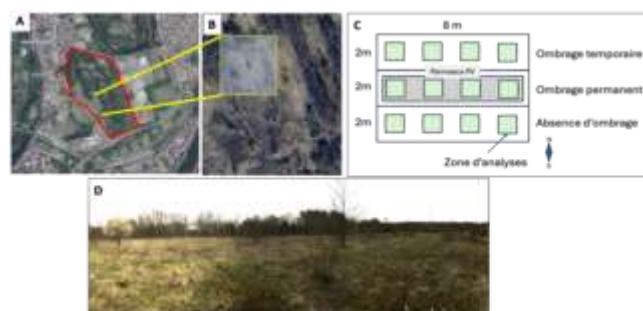
Contact : pierre.leglize@univ-lorraine.fr

Méthodologie

- mMse en place d'un démonstrateur sur le site « Haut des Tappes » à Homécourt.
- Mettre en place un observatoire de la qualité des sols en lien avec l'exploitation de la centrale photovoltaïque.

Résultats attendus

- Améliorer nos connaissances sur les interactions des modules photovoltaïques sur la composante sol de l'écosystème.
- Acquisition de retours d'expérience (REX) sur l'installation d'un couvert végétal avec la mise en place d'une agronomie spécifique des sols de friche et son entretien.



Description du site retenu à Homécourt

La renaturation des sols de friches : du « laisser faire la nature » à la construction de Techno-sols

Projet : Thèse Cifre Nathan Mounerat

Partenaire du GISFI : LSE, EODD

Financement : ANRT, EODD

2025-2028

Contexte

- Contexte ZAN => Directive Européenne sur la surveillance des sols.
- Requalification de zones de friches qui présentent un potentiel écologique élevé.

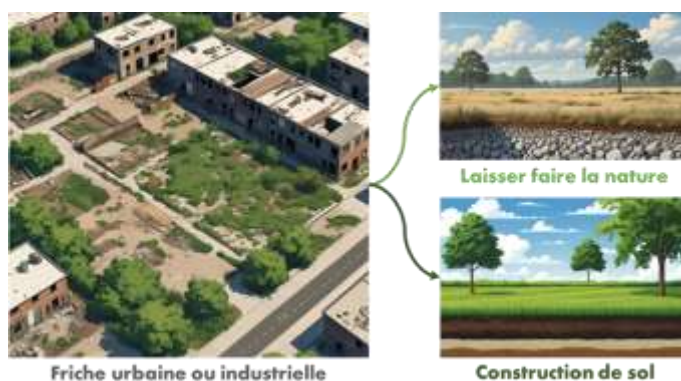
Objectifs

- Fournir un cadre méthodologique et opérationnel pour guider la reconversion écologique des friches urbaines par la renaturation des sols.
- Développer des scénarios de renaturation, adaptés aux usages et contexte écologique des sites.
- Concevoir des itinéraires techniques de fabrication de sols fonctionnels, en mobilisant des matériaux recyclés dans une logique de circularité.

Méthodologie

- Inventaires écologiques et pédologiques sur un panel de friches contrastées.

- Entretiens des acteurs territoriaux pour cerner les besoins et contraintes locales et intégrer les attentes des parties prenantes dans la définition des scénarios.
- Expérimentations en conditions contrôlées et sur le terrain pour tester différentes combinaisons de matériaux et techniques.
- Evaluation technique, environnementale et économique des scénarios proposés.



Contact : geoffroy.sere@univ-lorraine.fr

Mieux intégrer les sols dans les stratégies d'aménagements grâce à la démarche Éviter – Réduire – Compenser

Projet : Thèse Cifre Sirine Guiot

Partenaire du GISFI : LSE

Partenaire : SCE (Nantes)

Financement : ANRT, SCE

2025-2028

Contexte

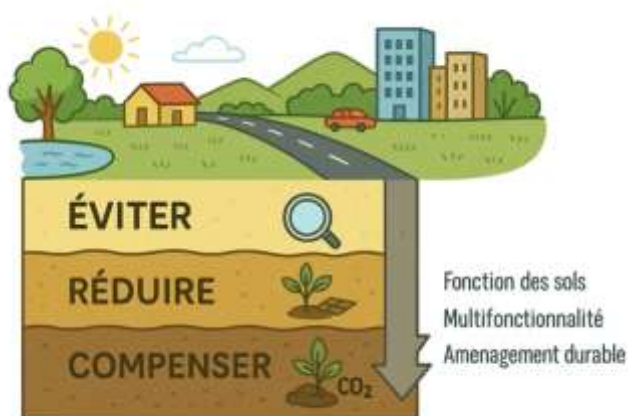
- Contexte ZAN => Directive Européenne sur la surveillance des sols
- Améliorer la prise en compte des sols dans les projets d'aménagement

Objectifs

- Construire un cadre méthodologique de réalisation de diagnostics des sols et de leurs fonctions aux différentes étapes d'un projet
- Concevoir un outil d'aide à la décision pour accompagner les projets d'aménagement en tenant compte des fonctionnalités des sols
- Tester cette approche sur des cas d'étude en Loire-Atlantique notamment, mais aussi sur une base de données constituée à partir des différents projets pilotes du LSE

Méthodologie

- Entretiens semi-directifs seront également réalisés avec les opérateurs des différents métiers de SCE concernés par les diagnostics des sols
- Utilisation et développements complémentaires de l'outil d'aide à la décision Destisol
- Sites démonstrateurs sur le territoire du SCoT Nantes Saint-Nazaire



Contact : geoffroy.sere@univ-lorraine.fr

La station expérimentale



Lysimètres Urbains - RMQSU

Contexte

- Volonté de mieux connaître les sols urbains sous différents usages et modes de gestion.
- Manque de suivi à long terme du fonctionnement des sols urbains.
- Besoin d'évaluation des services écosystémiques rendus par les sols urbains basée sur la connaissance de leurs propriétés et d'indicateurs de qualité

Objectifs

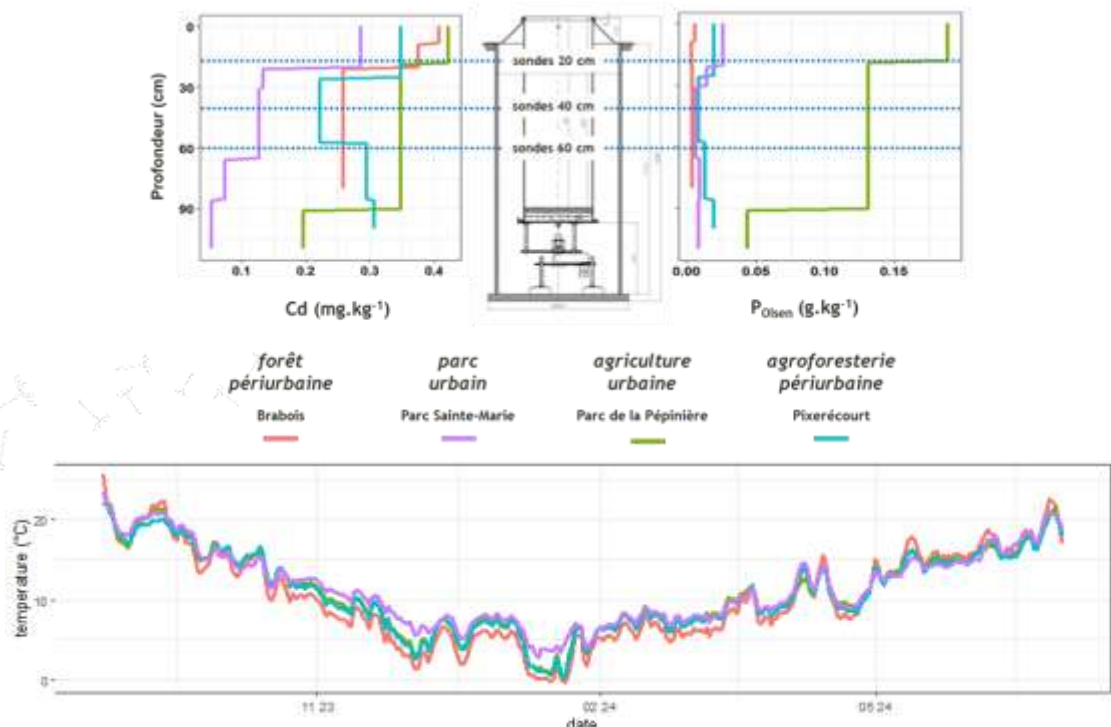
- Avoir une meilleure compréhension du fonctionnement et de l'évolution pédogénétiques des sols urbains.
- Suivre l'évolution dans le temps du stockage d'éléments dans le profil de sol.
- Etudier la dynamique de l'eau dans les sols et sa qualité : bilans de flux d'eau et d'éléments depuis l'atmosphère vers la profondeur du profil de sol.

Méthodologie

- Comparaison de 4 profils de sols urbains en situations d'usages contrastés.
- Observations in situ, en continu et à long terme de différentes données (météo, flux de nutriments/contaminants dans la pluie; la biomasse et solutions de sol, humidité, tension, température du sol à 20, 40 et 60 cm de profondeur...).

Résultats attendus

- Evaluer l'impact à long terme de l'usage et de la gestion du sol sur le fonctionnement du sol et les services écosystémiques rendus.



Exemples de données suivies sur les 4 sites lysimétriques étudiés (température du sol, concentration en Cd, et P Olsen dans les sols)



Test des cloches de mesures des flux de CO₂ (Li-Cor)

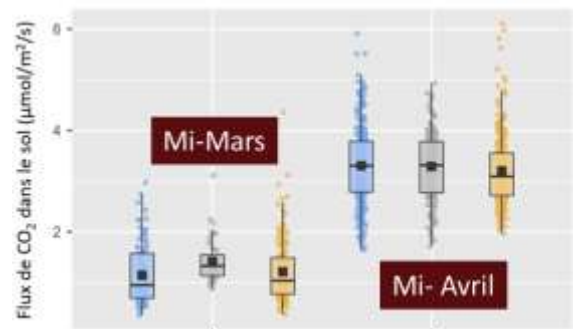
Grace au financement du PACTE Lorrain GISFltech, un appareil de mesure de flux de CO₂ a été acquis en 2020. Avec une activité réduite due à la période pandémique (SARS-CoV-2), cet appareil a été mis en service de février à avril 2025 dans le cadre d'un stage BUT intitulé « Flux de CO₂ dans les sols anthropisés développement et déploiement de chambres de mesure Li-Cor »

Des séries de mesures ont été effectuées en fin d'hiver (mi mars) et en début de printemps (mi avril) sur trois modalités différentes de sol :

- sol de cokerie;
- sol de cokerie traité (désorption thermique);
- sol témoin.

Il n'est pas observé de différence notable des flux de CO₂ selon la nature des sols étudiés.

Ce travail a permis de mettre au point et de rédiger un protocole analytique et a conduit à la soumission d'un projet Otelo Rupture pour 2026-2027.



Légende :

- Soil de cokerie - Désorption thermique
- Soil Témoin
- Soil de cokerie

Flux de CO₂ mesurés pendant 48h sur trois modalités de sol en mars (fin hiver) et en avril (début printemps)

Contact : antoine.sobaga@univ-lorraine.fr

Dossier de labellisation AnaEE France

La station expérimentale du GISFI a fait l'objet d'une demande de labellisation à l'IR AnaEE France : Infrastructure de Recherche Analyses et Expérimentations sur les Ecosystèmes continentaux. Cette IR donne la possibilité d'étudier des écosystèmes terrestres et aquatiques au travers de plateformes expérimentales. Elle Accompagne les projets en proposant des plateformes analytiques dédiées à l'étude du fonctionnement des écosystèmes et de la biodiversité ainsi que des pipelines de production et de modélisation des données.

Cette labellisation permettrait à la station d'être clairement identifiée au plan national et même européen dans le cadre de l'AnaEE Eric.



Expérimentation en conditions contrôlées

Expérimentation in natura

Instrumentation mobile

Plateformes analytiques

Systèmes d'information

Contact : noele.enjelvin@univ-lorraine.fr

Bilan de l'année 2025

Le bilan est réalisé depuis novembre 2024 jusqu'à décembre 2025:

- Cinquante deux articles publiés dans des revues internationales avec comité de lecture ;
- Quatre thèses soutenues et seize en cours ;

Ci-dessous une sélection de publications écrites sur la période,

Sélection de publications écrites

- ANCOUSTURE, J. et al. (2025) Endophytic bacteria of Brassicaceae seeds depend on the plant species. *Total Environment Microbiology* 1(2): 100006. hal-04993767v1
- ANCOUSTURE, J., et al. (2025) What is the optimal configuration for integrating hyperaccumulating plants with photovoltaic systems to enhance plant development and energy production? *Applied Energy* 397: 126391. hal-05133172v1
- CALENGE, P. & EDELBLUTTE, S. (2025), Le paysage des zones d'activités économiques du Sillon Lorrain entre banalité et tentatives de débanalisation ?, *Revue Passerelles SHS*. <https://ouest-edel.univ-nantes.fr/passerelleshs/index.php?id=285>
- CHEN, D., et al. (2025) Phototrophic microalgae-driven comprehensive remediation of arsenic and cadmium: A novel iron mineralization pathway enabling arsenic immobilization. *Journal of Cleaner Production* 520: 146096. hal-05350977v1
- D'INCAU, E., et al. (2025) Biosurfactants enhance hydrocarbon-induced stress in ryegrass (*Lolium multiflorum* L.): Uncovering a synergistic mechanism. *Journal of Hazardous Materials* 496: 139171. hal-05223911
- DENG, T.-H.-B., et al. (2025) Nicotianamine facilitates zinc translocation from roots to shoots in the nickel hyperaccumulator *Odontarrhena chalcidica*. *Plant and Soil* 513: 259-270. hal-05079739v1
- FIERLING N., et al. (2025). Importance of the envelope in *Escherichia coli* resistance to lithium. *Chemosphere*, 374 :144234. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2025.144234> : hal-05016215
- FIERLING N., et al. (2025). Structural and functional responses of soil fungal and bacterial communities to a lithium contamination gradient. *Science of the Total Environment*, 964:178565. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178565> : hal-04913577
- FILELLA A. A., et al. (2025). Organic metabolite uptake by diazotrophs in the North Pacific Ocean. *ISME Communications*, 5(1)ycaf061. DOI: <https://doi.org/10.1093/ismeco/ycaf061> : hal-05076722
- FLEGEAU M., (2025) Un état des connaissances sur les liens entre biodiversité et formes urbaines. In : CARRÉ, S & CLERGEAU, P. – dir., *Morphologie urbaine et biodiversité. Apports de terrains de recherches pluridisciplinaires*, éditions Apogée.
- GALLOIS N., et al. (2025). Comprehensive multi-omics integration to unravel poplar molecular responses to a phenanthrene contamination gradient. *Journal of Hazardous Materials*, 262(1):138826. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.138826> : hal-05113320
- GENIES, L., et al. (2025) An international literature-based dataset on metallic trace element contamination in kitchen garden plants. *Scientific Data* 12(1): 738. hal-05067149v1
- GRÉAU L., et al. (2025). Transcriptomics highlights dose-dependent response of poplar to a phenanthrene contamination. *Environmental Science and Pollution Research*, 32(8):4794-4812. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-025-36002-5> : hal-05029675
- HIEN, T., et al. (2025) From soil sciences to soil economics: A cross-analysis of natural capital and soil ecosystem service provision. *Environmental Science & Policy* 169: 104088. hal-05164459v1
- JACQUET, J., et al. (2025) Co-cultivation of the hyperaccumulators *Sedum plumbizincicola* and *Noccaea caerulea* reveals competition in phytoextraction of zinc and cadmium. *Journal of Environmental Management* 389: 126138. hal-05176528v1
- JANOT, N., et al. (2025) Localization and speciation of rare earth elements in mine tailings from ion-adsorption clay deposits, Southern China: Insights from microfocused X-ray fluorescence spectroscopy. *Journal of Hazardous Materials Advances* 17: 100609. hal-04920248v1
- KLOPFERT J., et al. (2025). Unveiling the impact of nontronite NAu-2 on Akaganeite Bioreduction and Mineral Precipitation. *Applied Clay Science*, 266:107683. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2024.107683> : hal-04868274
- KOOHBOR B., et al. (2025) A discrete fracture model for coupled simulation of water flow and electrical current in fractured vadose zone. *Journal of Hydrology*, 651, 132590 : <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.132590>.
- KYRKAS, D., et al. (2025) Cultivation of nickel hyperaccumulators for metal extraction in their natural growth environment: a four-year field application. *International Journal of Phytoremediation* 27(14): 2111-2118. hal-05351469v1
- LACHAUX N., et al. (2025). Health check-up of a freshwater bivalve exposed to lithium. *Environmental Pollution*, 367:125573. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.125573> : hal-05194636
- LAURENT, C., et al. (2025) An international dataset on organic molecule concentrations in soil and related kitchen garden crops. *Scientific Data* 12 (1): 732. hal-05067192v1
- LI, M., et al. (2025) New insights into efficient iron sulfide oxidation for arsenic immobilization by microaerophilic and acidophilic Fe(II)-oxidizing bacteria under micro-oxygen and acidic conditions. *Journal of Hazardous Materials* 489: 137695. hal-05076911
- LIMA, L., et al. (2025) Co-cropping of *Bornmuellera emarginata*, *Lupinus albus* and *Imperata cylindrica*: a study of metal uptake interactions and nickel phytoextraction efficiency. *International Journal of Phytoremediation*: 1-10. hal-05074108v1
- LIU, R.-R., et al. (2025) Rare earth element hyperaccumulation in vascular plants: Occurrence, mechanisms, and applications. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 489: 1-20. hal-05351586v1

- LIU, T., et al. (2025) Radial oxygen loss of *Typha latifolia* outperforms microbial effects in heavy metal(loid) stabilization. *Environmental Research* 285: 122561. hal-05351653v1
- LY, S. N., et al. (2025) Physiological responses of the nickel hyperaccumulator *Bornmuellera emarginata* under varying nickel dose levels and pH in hydroponics. *Plant and Soil* 507: 939-951. hal-04669093v1
- MONOT, T., et al. (2024) Relevance of using portable X-ray fluorescence to identify gold hyperaccumulator plants. *Environmental advances*, 16, 100556: hal-04618438v1
- MONTEIRO A. S.C., et al. (2025). Assessing the Representativeness of Isolated Humic Substances to Model the Reactivity of Aquatic Organic Matter: A Proton-Binding Study. *Environmental Science and Technology*. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.est.5c05521> : hal-05325114
- NOEL, C., et al. (2025) Ultrafast LIBS elemental imaging: a new tool for pedogenesis studies in highly polluted anthropogenic soils. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* 40(11): 3023-3030. hal-05340271
- ODOBEL C., et al. (2025). Unveiling marine plastic degraders through DNA-stable isotope probing. *Journal of Hazardous Materials*, 490:137729. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.137729> : hal-04988830
- QUINTELA-SABARÍS, C., et al. (2025) Nickel hyperaccumulation is independent of the leaf economics spectrum, although it may be linked to plant water balance in an ultramafic plant community from Sabah (Malaysia). *Plant and Soil*. hal-05027844v1
- ROTUREAU E., et al. (2025). Testing stripping electroanalytical techniques using Au/Hg amalgam microelectrodes for quantification and speciation studies of Cd(II) and Pb(II). *Electroanalysis*, 37(8)e70040. DOI: <https://doi.org/10.1002/elan.70040> : hal-05213173
- RYLOTT, E. L., et al. (2025) Harnessing hyperaccumulator plants to recover technology-critical metals: where are we at? *New Phytologist* 246(3): 859-866. hal-05075801v1
- SALIU, T. D., et al. (2025) Influence of organic waste amendments on uptake of per and polyfluoroalkyl substances from soil to crops: Insights from long-term field experiments. *Science of The Total Environment* 996: 180156. hal-05268159v1
- STERCKEMAN, T. (2025) Soil to plant transfer of cadmium. *OCL Oilseeds and fats crops and lipids* 32 (14): 1-9. hal-05176226v1
- TEILLAUD, S., et al. (2025) Challenges associated with the recovery of Co- and As-bearing minerals from aged mine tailings. *Minerals Engineering*, 222, 109167: hal-04860289v1
- VAULOUP A., et al. (2025). Development of a device to trap soil bacteria capable of degrading organic contaminants such as alkanes and polycyclic aromatic hydrocarbons. *Journal of Hazardous Materials*, 491:137690. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.137690> : hal-05076532
- WATTEAU, F., et al. (2025) Technosol's aggregation patterns according restoration treatments in limestone cement quarry in a semi-arid environment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 1455(1): 012001. hal-05360244v1
- WATTEAU, F., et al. (2025) Technosol Micromorphology Reveals the Early Pedogenesis of Abandoned Rare Earth Element Mining Sites Undergoing Reclamation in South China. *Minerals* 15 DOI: 10.3390/min15050514. hal-05175883v1
- XU, D.-X., et al. (2025) Recovery of rare earth elements from sediments affected by mining activities. *Journal of Hazardous Materials* 496: 139223. hal-05360260v1
- XUAN, W., et al. (2025) Development of a novel hydrometallurgical process for zinc recovery from hyperaccumulator plants. *Results in Chemistry*, 18, 102818 : hal-05334468v1.
- ZHOU, F., et al. (2025) Synergistic Roles of Plant-Microbe Interactions and Soil Aggregate Dynamics in the Phytostabilization of Ion-Adsorption Rare Earth Tailings. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* 13(30): 12046-12056. hal-05360279v1

Thèses soutenues

- ANCOUSTURE J. : « Couplage entre la production d'énergie photovoltaïque et la culture de *Noccea caerulescens* en association avec des légumineuses comme levier potentiel pour la remobilisation des friches industrielles. » Thèse de l'Université de Lorraine, 17 décembre 2025.
- BARBIER L., « Les faubourgs industriels : quels renouvellements urbains ? - paysages et reterritorialisation d'une marge urbaine protéiforme à partir de l'exemple de Meurthe-Canal à Nancy », Dir. S. Edelblutte, Loterr, Université de Lorraine & J. Cenci, Faculté d'architecture et d'urbanisme, Université de Mons, Belgique, Thèse UL, 2020-2025.
- BRICHLER A., « La ville-usine avec et sans l'usine. Fonctionnement, reconversion et redéveloppement d'un territoire anciennement industrialisé à partir du cas de Bataville (Moselle) » Dir. S. Edelblutte, Loterr, Université de Lorraine & M. Balaban, Tomas Bata University, Zlin, Tchèque, Thèse UL, 2017-2019 [interruption cause maladie] 2023-2025. 12 décembre 2025
- HERBRETEAU A. : « État et réactivité des matériaux de scellement des sols : quelle contribution au stockage de carbone ? » Thèse de l'Université de Lorraine, 12 novembre 2025.

Habilitation à diriger des Recherches (HdR)

- TINET A.J. Modélisation multi-physique des transferts en milieu poreux à différentes échelles. HDR, Université de Lorraine, 24 Novembre 2025.

Utilisation de la VR 360



Présentations VR 360

- Rencontres nationales des SSP (Ademe) (4-5 Février)
- Visite INRAE LSE (4 mars)
- DocDay LIEC (24 avril)
- Centre Champenoux INRAE (26 mai)
- Journée INFRA+ (26 Juin)
- Pollutec – Lyon (9-10 octobre)

La visite virtuelle réalisée en 2024 dans le cadre de l'ANR Pléiades est accessible à tout public à partir de la page d'accueil du site web du GISFI depuis septembre 2024. Elle a été très utilisée dès sa mise en ligne, elle peut servir d'introduction à un cours par les enseignants, lors d'une réunion de montage de projet pour présenter les dispositifs expérimentaux, sur un stand dans les salons, dans les congrès...

Les données ci-dessous montrent 623 connexions différentes pour cette première année, le nombre de session indique que certains utilisateurs se sont connectés plusieurs fois pour une durée moyenne de 9 minutes sachant que la visite complète est de l'ordre de 30 minutes.



Refonte du site internet

Le précédent site web du GISFI datait de 2012, la technologie de création de site WordPress ayant bien évolué depuis, le GISFI a sollicité la Direction du Numérique de l'UL pour une refonte du site : nouveaux visuels, menu simplifié permettent une navigation plus facile et plus souple.



<https://gisfi.univ-lorraine.fr>

Contact : noele.enjelvin@univ-lorraine.fr

Le GISFI et la formation

Comme chaque année, la station est le support pédagogique pour la formation des étudiants et tout au long de la vie. Ils découvrent l'histoire du site, de l'arrêt de la cokerie à la reconversion en station expérimentale, les dispositifs expérimentaux et les projets qui s'appuient dessus :

- visite technique de l'IUT de Thionville et DPI (28 fév.);
- Master GESTE Metz (17 mars);
- Université de Wageningen (21 mai);
- lycée de Jarny (23 mai);
- ENSG 2A (5 juin);
- stagiaires Seconde (25 juin);
- séminaire EIR –A Agreenium INRAE (10 juil.);
- symposium Géologie OUGS (21 juil.);
- Master Bioware (9 oct.);
- visite Meuse - Bar le Duc : NeoEco (31 oct.);
- Master SEE Nancy (12 déc.).



Le GISFI et les collectivités

Rencontre EPFGE - CCOLC—GISFI 5 septembre 2025

Dans le cadre de réflexions sur la réappropriation du site de l'ancienne cokerie, une rencontre a été organisée la journée du 5 septembre 2025 à la station expérimentale de Homécourt entre l'Etablissement Public Foncier du Grand Est (EPFGE—propriétaire du site), l'Université de Lorraine (UL), le GISFI et la communauté de communes Orne Lorraine confluences (CCOLC).

Au cours de ces échanges, il a été évoqué la possibilité de libérer la zone M pour des aménagements futurs tout en encourageant à garder une partie pour permettre un suivi scientifique sur le long terme. Ces échanges ont également révélé le grand intérêt de mettre en place une dynamique Living-Lab sur la thématique.



Animations Scientifiques 2025



Requalification des territoires dégradés
interdisciplinarité & innovation

Réunion plénière du Vendredi 24 Janvier 2025
9h30 -12h00
Salle Gallé -Présidence UL Brabois et en Visio

1. **Retour sur les points forts de l'activité du GISFI de l'année 2024**
Pierre FAURE-CATTELOIN (LIEC/GISFI)
2. **Démarche d'accompagnement des territoires en vue d'accroître la circularité des terres excavées.**
Romain GARNIER (Cluster EMS)
3. **La territorialisation des enjeux de décarbonation en contexte territorial post-industriel : un effort de transitionS d'ores et déjà condamné à l'échec ?**
Dorian MAILLARD (LOTERR)



Requalification des territoires dégradés
interdisciplinarité & innovation

Réunion plénière du Mercredi 23 Avril 2025
9h30 -12h00
Salle Gallé -Présidence UL Brabois et en Visio

1. **Informations diverses**
2. **REhabilitation ECOLogique et suivi à long terme des zones post-minières.**
Valérie BERT (INERIS)
3. **Caractérisation et valorisation de la biomasse d'un hyperaccumulateur d'aluminium tropical.**
Thomas MONOT (LRGP)
4. **Réhabilitation d'une friche industrielle par Miscanthus x giganteus en association culturale.**
Philippe LAVAL-GILLY (LSE)



requalification des territoires dégradés
Interdisciplinarité & Innovation

Réunion plénière du mardi 01 Juillet 2025
14h00 -16h30
Salle de conférence LIEC-Charmois et Visio

1. **Informations diverses**
2. **La simulation géophysique électrique: un outil supplémentaire pour étudier la contamination et l'hétérogénéité du sous-sol.**
Behshad Koohbor (GeoResources)
3. **Utilisation d'un combiné XRD-XRF embarqué pour caractériser le potentiel de fertilité de matériaux terreux destinés à la construction de sols urbains - Projet ADEME FRICHECO - Parc des Ayalades (Marseille).**
Sylvain Delchini (BRGM)
4. **Microhumus : de l'expertise des matières organiques et des sols, à l'ingénierie pédologique et la gestion par phytomanagement des sols dégradés.**
Gaylord Machinet (MicroHumus)



Requalification des territoires dégradés
interdisciplinarité & innovation

Réunion plénière du vendredi 03 Octobre 2025
9h30 -12h00
Salle Gallé - Présidence UL Brabois
et en Visio

1. **Informations diverses**
2. **Mobilité et toxicité des CAP de sols historiquement contaminés - Rôle de la disponibilité des composés aromatiques polycycliques dans les réponses écotoxiques.**
Coralie BIACHE (LIEC)
3. **Nouvelle approche de priorisation basée sur le risque des contaminants émergents préoccupants (CEC) des sols.**
Amélie CAVELAN (BRGM)
4. **SNAU's initiatives and a case study of the impact on the soil after missile destruction in the Sumy region.**
Oksana DATSKO (Université Agraire de Soumy - Ukraine)





GISFI

GRUPEMENT D'INTÉRÊT SCIENTIFIQUE SUR LES FRICHES INDUSTRIELLES

2 avenue de la Forêt de Haye
B.P. 172 • F-54505 Vandœuvre-lès-Nancy

Fixe : 03 72 74 41 31 // Portable : 06 24 71 02 05
www.gisfi.univ-lorraine.fr



@GISFI1



@GISFI

MEMBRES DU GISFI



INRAE



INERIS