

intersol'2024

Congrès-Exposition International sur les Sols, les Sédiments et l'Eau
International Conference-Exhibition on Soils, Sediments and Water



Santé des sols : État des lieux et perspectives

- Leviers ou contraintes réglementaires & juridiques
 - Aménagement durable des territoires :
 - ◇ De l'urbanisme à l'aménagement ◇ Planification territoriale et reconversion de sites
 - ◇ Outils de diagnostic disponibles
 - Solutions techniques
 - ◇ Outils d'aide à la compréhension, mesure ◇ Traitements des sols ◇ Polluants émergents
 - ◇ Techniques biologiques
- Innovation : session jeunes chercheurs/créateurs/startups

Soil Health: Inventory and Prospects

- Regulatory & legal levers or constraints
 - Sustainable management of territories
 - ◇ From urban planning to development ◇ Territorial planning and conversion of sites
 - ◇ What diagnostic tools are available?
 - Technical solutions
 - ◇ Understanding tools, measuring ◇ Soil treatments ◇ Emerging pollutants
 - ◇ Bio-techniques
- Innovation: young researchers/creators/startups session

www.intersol.fr

26, 27 & 28 mars 2024 – Paris, France

Formation :
Colloque reconnu
par le SPW-ARNE

Wallonie
environnement
SPW

En partenariat avec :
In partnership with:



Presse : *Recyclage & Valorisation*



Entreprises / Companies

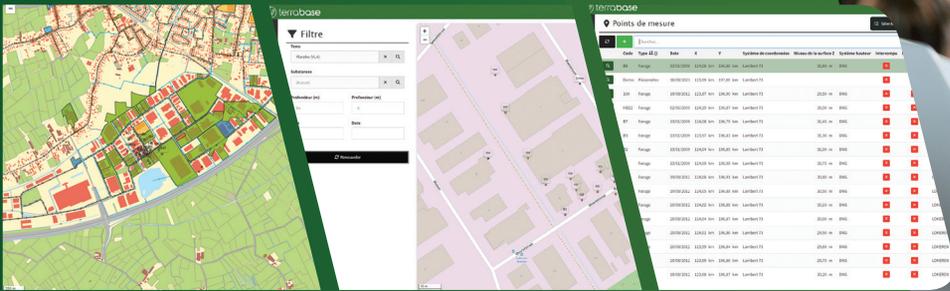


Institutionnels / Institutional



TerraBase

Logiciel Leader pour les études de sol digitalisées



Efficacité sur le Terrain

Enregistrez les travaux sur le terrain avec une application intuitive sur votre smartphone ou votre tablette. Communiquez directement avec votre bureau depuis le terrain.

Expertise à Portée de Main

Créez des demandes d'analyse au laboratoire, évaluez les résultats, rapportez aux clients et aux autorités. Communiquez rapidement et facilement avec les travailleurs sur le terrain, les laboratoires, les dessinateurs, les clients, les autorités et autres experts.

Visualisation Rapide et Précise

Visualisez les travaux sur le terrain et la contamination sur des cartes. Générez automatiquement des coupes transversales et des niveaux d'eau souterraine. Exportez vos documents sous différents formats.

LOGICIEL MODULAIRE POUR LES ÉTUDES DE SOL ET LES INVESTIGATIONS GÉOTECHNIQUES

Le logiciel TerraBase est composé de plusieurs modules qui permettent d'effectuer des travaux sur le terrain, des démarches administratives, la création de cartes/contours de pollution, des analyses, des évaluations et des rapports.

Ces modules peuvent être utilisés individuellement ou comme un ensemble complet, vous permettant ainsi d'adapter le logiciel à vos besoins spécifiques.



Application intuitive pour le travail sur le terrain



Communiquer de manière sécurisée et efficace



Mesurer plus rapidement avec des multi-mètres



Créez rapidement vos demandes au laboratoires



Comparaison précise des résultats aux normes



Créez des cartes et des coupes transversales précises facilement



Rapportez efficacement aux clients et aux autorités

COMMENCEZ

TerraBase permet aux bureaux d'études, au personnel de laboratoire et aux consultants d'effectuer leur travail avec rapidité et précision, garantissant ainsi des résultats fiables et un conseil à leurs clients des résultats fiables et des conseils à leurs clients.

Contactez-nous dès maintenant pour un devis sans engagement.

info@i-theses.com | www.terrabase.eu | +32 9 33 88 252



Mardi 26 mars 2024

08h30

Accueil des participants

Leviers ou contraintes réglementaires & juridiques

Modératrice : Claire-Emmanuelle Mercier, Associée Présidente - Atesyn

09h00

Les enjeux de la proposition de directive sur la surveillance et la résilience des sols

- *Carine Le Roy-Gleizes, Associée, Avocate au Barreau de Paris, Droit de l'environnement industriel - Foley Hoag*
- *Marie-Léonie Vergnerie, Associée, Avocate au Barreau de Paris, Environnement & énergies renouvelables - Fieldfisher*

09h20

Regard d'experts scientifiques et techniques sur la proposition de directive européenne relative à la surveillance et à la résilience des sols

Claire Chenu, Présidente CSTI RNEST - Coordinatrice EJP SOIL - INRAE

09h40

Loi européenne sur la surveillance des sols : parlons-nous le même langage ?

- *Olivier Roussel, Responsable satisfaction utilisateurs et Consultant expert en sites et sols pollués - TerraIndex (Pays-Bas)*
- *Robin Huisman, Designer et Analyste au sein de l'équipe d'échange de données de l'étude des sols SIKB0101 - Fondation pour l'Infrastructure de la Garantie de la Qualité de la Gestion du Sol (Pays-Bas)*

10h00 Pause café

Aménagement durable des territoires

De l'urbanisme à l'aménagement : quelles sont les bonnes pratiques ?

Modérateur : Laurent Thannberger, Responsable scientifique - Valgo

11h00

Définir l'artificialisation : les enjeux de la mise en œuvre de la nomenclature des sols

- *Pauline Leddet-Troadec, Avocate au Barreau de Paris, Associée droit de l'environnement - Latournerie Wolfrom Avocats*
- *Marion Delaigue, Avocate au Barreau de Paris, Associée droit public - Latournerie Wolfrom Avocats*

11h20

Gestion des sols et loi industrie verte : nouveautés et enjeux

Joanna Peltzman, Associée, Avocate au Barreau de Paris, Environnement & Développement Durable - Osborne Clarke

11h40

L'outil d'aide à la décision QUALI'ZAN : intégrer les enjeux de l'artificialisation des sols à l'échelle de l'opération pour orienter l'aménagement

- *Quentin Vincent, Directeur scientifique et technique & co-fondateur de Sol &co*
- *Vincent Le Rouzic, Directeur de projet stratégie et innovation à l'EpaMarne - EpaFrance*

12h00

Comment mesurer le coût de la dégradation des sols ?

Laurent Thannberger, Membre du RNEST, Réseau National d'Expertise Scientifique et Technique sur les Sols

12h20

Préservation de l'environnement dans l'immobilier : l'importance des mesures de compensation

Adeline Rente, Cheffe de groupe études - Brézillon

12h40

Démarche méthodologique pour la valorisation de sédiments fluviaux non-dangereux en agriculture

- *Laurent Eisenlohr, Chef de groupe Economie circulaire et matériaux - Cerema*
- *David Jullien, Responsable du Pôle Gestion de l'espace et des Ressources - Chambre Interdépartementale de la Charente-Maritime et des Deux Sèvres*

13h00 Déjeuner

14h00

Table ronde

La fin du hors sol pour le foncier :

Quelles perspectives pour la valorisation des sols urbains ?

Modérateurs :

- *Romain Garnier, Chef de projet Filière Sols - Cluster Eau Milieux Sols*
- *Jean-Pierre Aubert, Président - Terres de Métamorphoses*

Afin de répondre aux enjeux environnementaux et d'aménagements urbains, les politiques publiques articulent leurs actions autour d'une dynamique d'économie circulaire, de transition écologique et énergétique. Les sols urbains sont soumis à de multiples agressions anthropiques : pollutions, tassements, aménagements et excavations d'environ 18 millions de tonnes par an en Ile-de-France. Ils sont au centre de ces enjeux et de toutes les attentions des acteurs publics franciliens.

Eviter l'excavation des sols par des traitements sur site, contribuer à la mise en place d'une économie circulaire des terres excavées, capitaliser sur les sols pour renaturer la ville, sont des leviers essentiels pour réduire l'impact environnemental du développement urbain et pour la requalification des milieux.

L'anticipation des enjeux et des espaces de traitement des terres, est un élément nécessaire pour la gestion des sites et sols pollués comme pour la mise en place d'une économie circulaire sur les terres inertes.

La question de la disponibilité du foncier, et à travers elle, la gestion des friches, des délaissés urbains et des espaces pouvant faire l'objet d'une occupation temporaire, nécessite une vision stratégique et une gouvernance à tous les niveaux des politiques urbaines.

Pour en débattre :

- *Stéphanie Bardon, Cheffe de Mission Economie Sociale, Solidaire et Circulaire au sein de la Direction du Développement Economique et Emploi, DGA Attractivité et Relations aux Usagers - Grand Orly Seine Bièvre*
- *Thomas Gaudron, Responsable Terres Excavées et Economie Circulaire - Société des Grands Projets*
- *Séverine Cohuet, Chef de Projet Reconquête des Friches Urbaines - ADEME*
- *David Hiez, Président de l'UPDS*

15h00 Pause café

**Aménagement durable des territoires
Planification territoriale et reconversion de sites**

Modérateur : Cédric Hanot, Directeur - 2ter

15h30

Sites industriels clés en main et aménagement du territoire : perspectives et regards croisés en droit de l'urbanisme et droit de l'environnement

Pauline Leddet-Troadec, Avocate au Barreau de Paris, Associée droit de l'environnement & Marion Delaigue, Avocate au Barreau de Paris, Associée droit public - Latournerie Wolfrom Avocats

15h50

Suivre et valoriser la régénération d'un territoire à travers la notation de la santé des sols- cas pratique La Ferme de la Granja de Greenpods x Genesis

- *Sylvain Mourard, Responsable Commercial France - Eau & Environnement, Mérieux NutriSciences France*
- *Christophe Calvaruso, Responsable scientifique - Genesis*

16h10

Intégrer la biodiversité, le risque d'exposition et les services écosystémiques dans la revalorisation des zones industrielles : Contraintes et perspectives

Alexiane Godain, Ingénieure Environnement et Innovation - Tauw France

16h30

Reconversion d'une friche industrielle en ferme urbaine : Effet de différents types de compost sur la fertilité du sol - le devenir des polluants organiques et leur transfert dans des plantes potagères

Papa Mamadou Sitor Ndour, Chercheur Postdoctoral - Université du Littoral Côte d'Opale (ULCO)

16h50 Questions - Réponses - Discussions

17h30 Fin de la 1ère journée



Tuesday March 26, 2024

08h30

Welcome participants

Regulatory & legal levers or constraints

Moderator: Claire-Emmanuelle Mercier, President Partner - Atesyn

09h00

The challenges of the proposed directive on soil monitoring and resilience

- *Carine Le Roy-Gleizes, Partner, Lawyer, Industrial Environmental Law - Foley Hoag*
- *Marie-Léonie Vergnerie, Partner, Lawyer, Environment & renewable energies - Fieldfisher*

09h20

Viewpoint of scientific and technical experts on the European Soil Monitoring Law proposal

Claire Chenu, President CSTI Rnest - EJP SOIL Coordinator - INRAE

09h40

European soil surveillance law: are we speaking the same language?

- *Olivier Roussel, User Satisfaction Manager and Expert Consultant in polluted sites and soils - TerraIndex (Netherlands)*
- *Robin Huisman, Designer and Analyst in the SIKB0101 Soil Survey Data Exchange Team - Foundation for Quality Assurance Infrastructure of Soil Management (Netherlands)*

10h00 Coffee Break

Sustainable management of territories

From urban planning to development: what are good practices?

Moderator: Laurent Thannberger, Scientific Manager - Valgo

11h00

Defining artificialization: the challenges for implementing soil's nomenclature

Pauline Leddet-Troadec, Lawyer, Partner in environmental law & Marion Delaigue, Lawyer, Partner in public law - Latournerie Wolfrom Avocats

11h20

Soil management and green industry law: new developments and challenges

Joanna Peltzman, Partner, Lawyer, Environment & Sustainable Development - Osborne Clarke

11h40

The QUALI'ZAN decision-making tool: integrating the issues of land artificialization at operation's scale to guide development

- *Quentin Vincent, Scientific and Technical Director & co-founder of Sol &co*
- *Vincent Le Rouzic, Strategy and Innovation Project Director at EpaMarne - EpaFrance*

12h00

How to measure the cost of land degradation?

Laurent Thannberger, Member of RNEST, National Network of Scientific and Technical Expertise on Soils

12h20

Protecting the environment in property: the importance of compensation measures

Adeline Rente, Head of study group - Brézillon

12h40

Methodological approach for the valorization of non-dangerous river sediments in agriculture

- *Laurent Eisenlohr, Circular economy and materials group leader - Cerema*
- *David Jullien, Head of the Space and Resources Management Unit - Interdepartmental Chamber of Charente-Maritime and Deux Sèvres*

13h00 Lunch

14h00

Round table:

The end of above ground for land:

What prospects for the development of urban soil?

Moderators:

- *Romain Garnier, Soils Sector Project Manager - Cluster Eau Milieux Sols*
- *Jean-Pierre Aubert, President - Terres de Métamorphoses*

In order to respond to environmental and urban development challenges, public policies articulate their actions around the dynamics of the circular economy, ecological and energy transition. Urban soils are subject to multiple anthropogenic attacks: pollution, settlements, developments and excavations of around 18 million tons per year in Ile-de-France. They are at the center of these issues and of all the attention of public actors in the Ile-de-France region.

Avoiding soil excavation through on-site treatments, contributing to the establishment of a circular economy of excavated land, capitalizing on soil to renature the city are essential levers for reducing the environmental impact of urban development and for the requalification of environments.

Anticipating the issues and areas for land treatment is a necessary element for the management of polluted sites and soils as well as for the establishment of a circular economy on inert land.

The question of the availability of land, and through it, the management of wastelands, abandoned urban areas and spaces that can be subject to temporary occupation requires a strategic vision and governance at all levels of urban policies.

To debate it:

- *Stéphanie Bardon, Head of Social, Solidarity and Circular Economy Mission within the Economic Development and Employment Department, DGA Attractiveness and User Relations - Grand Orly Seine Bièvre*
- *Thomas Gaudron, Head of Excavated Land and Circular Economy - Société des Grands Projets*
- *Séverine Cohuet, Project Manager for the Reconquest of Urban Wastelands - ADEME*
- *David Hiez, President of the UPDS*

15h00 Coffee Break

Sustainable management of territories
Territorial planning and conversion of sites

Moderator: Cédric Hanot, Director - 2ter

15h30

Ready-to-use industrial sites and urban planning: insights and comparative views in urban law and environmental law

Pauline Leddet-Troadec, Lawyer, Partner in environmental law & Marion Delaigue, Lawyer, Partner in public law - Latournerie Wolfrom Avocats

15h50

Follow and promote the regeneration of a territory through soil health rating - practical case in La Ferme de la Granja by Greenpods x Genesis

- *Sylvain Mourard, Sales Manager France - Water & Environment, Mérieux NutriSciences France*
- *Christophe Calvaruso, Scientific Manager - Genesis*

16h10

Integrating biodiversity, exposure risk and ecosystem services into the redevelopment of industrial zones: Constraints and perspectives

Alexiane Godain, Environment and Innovation Engineer - Tauw France

16h30

Conversion of a brownfield into an urban farm: Effect of different types of compost on soil fertility, the fate of organic pollutants and their transfer into vegetables

Papa Mamadou Sitor Ndour, Postdoctoral Researcher - Université du Littoral Côte d'Opale (ULCO)

16h50 Meeting the Exhibitors

17h30 End of the Day One

LES ENJEUX DE LA PROPOSITION DE DIRECTIVE SUR LA SURVEILLANCE ET LA RESILIENCE DES SOLS
THE CHALLENGES OF THE PROPOSAL FOR A DIRECTIVE ON SOIL MONITORING AND RESILIENCE

Carine Le Roy-Gleizes

Avocate au Barreau de Paris - Foley Hoag

Marie-Léonie Vergnerie

Avocate au Barreau de Paris – Fieldfisher

Mots clés : Directive européenne – santé des sols

Objectif : Analyser la portée de la proposition de directive européenne sur la santé des sols ; anticiper les possibles évolutions de la réglementation française

L'Union Européenne a pour objectif, à l'horizon 2050, que les sols soient sains et plus résilients.

Pour soutenir cet objectif, la Commission européenne a publié en juillet 2023 une proposition de directive présentant une approche progressive, se concentrant sur 3 axes principaux, à savoir (i) la surveillance ainsi que l'évaluation de la santé des sols dans l'ensemble de l'Union à l'aide d'indicateurs de qualité des sols, (ii) la gestion durable des sols et les efforts à fournir pour régénérer les sols en mauvaise santé, (iii) l'approche spécifique à adopter pour les sites « contaminés ».

La proposition de directive comporte en effet des dispositions sur l'évaluation et la gestion des sites « contaminés », avec un champ plus large que celui des « sites et sols pollués français », mais selon des principes méthodologiques assez similaires, à savoir une approche fondée sur les risques et la constitution d'un registre pour ces sites.

Une consultation publique a eu lieu en novembre 2023 afin d'alimenter le débat législatif, avant une première lecture du texte devant le Parlement européen, espérée au deuxième trimestre 2024.

By 2050, the European Union aims to have healthy and more resilient soils.

To support this target, in July 2023 the European Commission published a proposal for a directive introducing a progressive approach, focusing on 3 main types of actions, namely (i) monitoring and assessing soil health throughout the Union based on soil quality indicators, (ii) implementing sustainable soil management and efforts to regenerate unhealthy soils, (iii) specifically addressing "contaminated" sites.

The proposed directive includes specific measures for the assessment and management of contaminated sites, with a wider scope than the French "polluted sites and soils", but based on similar methodological principles, i.e. a risk-based approach and the creation of a registry.

A public consultation was held in November 2023 to feed the legislative debate, prior to a first reading before the European Parliament, expected in the second quarter of 2024.

Carine Le Roy-Gleizes, avocate au Barreau de Paris, est associée du Cabinet Foley Hoag. Elle intervient en droit de l'environnement industriel.

Carine Le Roy-Gleizes, attorney at the Paris Bar, is a partner at Foley Hoag. She focuses her practice on industrial environmental law.

cleroygleizes@foleyhoag.com



Marie-Léonie Vergnerie, avocate au Barreau de Paris, est associée du Cabinet Fieldfisher. Elle intervient en droit de l'environnement industriel.

Marie-Léonie Vergnerie, attorney at the Paris Bar, is a partner at Fieldfisher. She focuses her practise on industrial environmental law.

marie-leonie.vergnerie@fieldfisher.com





LOI EUROPEENNE SUR LA SURVEILLANCE DES SOLS : PARLONS-NOUS LE MEME LANGAGE ?

Intervenants :

Olivier Roussel - Responsable satisfaction utilisateurs et consultant en sites et sols pollués
Robin Huisman - Designer et Analyste au sein de l'équipe d'échange de données de l'étude des sols
SIKB0101 - Fondation pour l'Infrastructure de la Garantie de la Qualité de la Gestion du Sol
Adresse: TerraIndex B.V. - De Groene Haven 282 - 2627 CD Delft – Pays-Bas

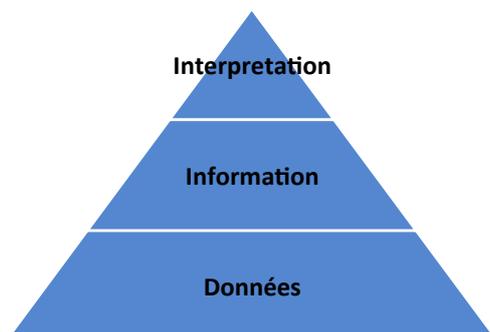
INTRODUCTION

Ça y est : la proposition pour la première législation européenne visant à protéger les sols est prête. Avec cette proposition, l'UE établit des cadres pour garantir et maintenir la santé des sols. Un réseau de surveillance sera mis en place, où chaque État membre documentera l'état de santé des sols pour les années à venir. Pour mettre en place un tel réseau, il est nécessaire que nous mesurions les mêmes données de la même manière et que nous puissions les échanger facilement.

Contexte de la loi européenne sur la surveillance des sols

Chaque État membre est tenu de classer son sol en districts en fonction de diverses caractéristiques telles que le type de sol (la World Reference Base for Soil Resources est utilisée à cette fin), les conditions climatiques et le type d'utilisation des sols. Il est ensuite prévu d'établir un réseau de surveillance pour suivre la santé de ces districts du sol. Cela se fait à travers des paramètres spécifiques à mesurer, tels que la salinisation, l'érosion, le carbone organique, la compaction du sol, l'eutrophisation, la contamination, la capacité de rétention d'eau, la biodiversité du sol et l'utilisation des sols. Pour chacun de ces aspects, des critères ont été établis à différents niveaux. Certains critères sont au niveau européen, comme par exemple la salinisation, où à l'intérieur de l'Union européenne, un sol ne peut pas se saliniser à plus de 4 ds/m-1. D'autres critères sont fixés au niveau des États membres individuels. Par exemple, un État membre peut spécifier ses propres valeurs pour les critères acceptables des métaux lourds dans le sol, tant qu'il ne crée pas de risque inacceptable pour les êtres humains et l'environnement. De plus, il existe des propriétés qui n'ont pas de critères mais qui doivent être incluses dans la surveillance, telles que le pH du sol ou l'azote librement disponible dans le sol. En conséquence, la législation offre une flexibilité et n'entrera pas complètement en conflit avec la législation existante dans les États membres, mais introduira une méthodologie standardisée pour surveiller la dégradation du sol.

Le but de la nouvelle loi est d'obtenir une compréhension de la santé des sols. À cette fin, des données seront collectées, converties en informations, puis partagées.



Afin de garantir une interprétation uniforme des informations, il est essentiel d'appliquer les mêmes normes. Ces normes concernent l'observation et la mesure de la qualité des sols, mais également le stockage et l'échange de ces données. Elles sont développées par des organisations internationales, européennes et nationales. Ainsi, les comités techniques ISO/TC 190 – Qualité des Sols, CEN/TC 444 – Caractérisation environnementale des matrices solides ont pour mission de fournir des normes internationales (ISO) et européennes (CEN). Au niveau national, chaque pays dispose de son propre organisme de normalisation chargé de transposer les normes internationales et européennes au niveau national. Ainsi les comités techniques AFNOR/X31 – qualité des sols et AFNOR/ENV – caractérisation environnementale des matrices solides ont pour mission d'établir les normes françaises.

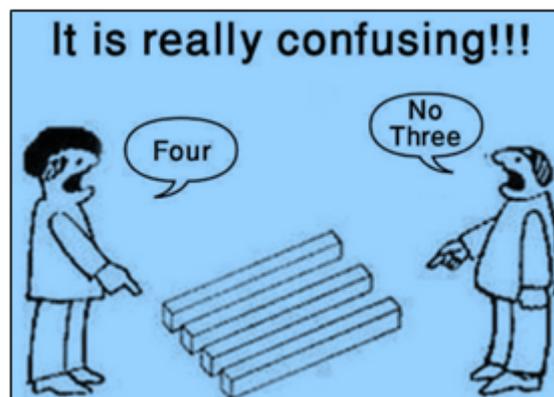
En tant que fournisseur d'un logiciel spécialisé dans la gestion de données des sols dans le cadre d'investigations des sites et sols pollués (SSP) aux Pays-Bas, nous présentons un retour d'expérience de la mise en pratique des quelques normes et outils clé encadrant la pratique SSP. Nous tirons ainsi quelques enseignements sur l'expérience acquise au cours des 20-25 dernières années aux Pays-Bas.

DESCRIPTION DES SOLS SUR LE TERRAIN (ISO-25177)

La norme ISO 25177 sur la description des sols sur le terrain fournit des directives sur la manière de décrire le sol sur le terrain et son contexte environnemental. Elle s'applique aux sites naturels, quasi naturels, urbains et industriels. Les observations et mesures du sol peuvent être effectuées au niveau du site du projet, au niveau de la parcelle, au niveau de la couche ou de l'horizon, ainsi que pour des constituants spécifiques du sol.

Elle offre également des indications sur la manière de décrire les couches de matériau anthropique (artificiel) ou les couches qui n'ont pas été modifiées par des processus pédogéniques au sens strict, ainsi que sur la manière de décrire le matériau grossier d'origine naturelle ou artificielle.

Cette norme peut faciliter une description cohérente et assure, fondamentalement, que nous parlons le même langage, ce qui permet d'apprendre mutuellement de nos observations.



Cela fournit, entre autres, des directives pour :

- Description du profil du sol
- Estimation de l'état d'humidité
- Couleur de l'horizon ou de la matrice de la couche
- Texture
- Odeur
- Phénomène d'irisation

NORMES D'ÉCHANGE (ISO28258)

Pour pouvoir enregistrer et échanger les données provenant de la description de la qualité du sol, comme décrit dans l'ISO25177, un modèle d'information a été développé et est spécifié dans la norme internationale ISO 28258 (2013).

Ce modèle d'information, tel que décrit ci-dessous, permet de stocker et d'échanger des données de manière cohérente. Pour chaque entité (point de mesure, échantillon), les propriétés/attributs sont déterminés, de même que les relations entre elles.

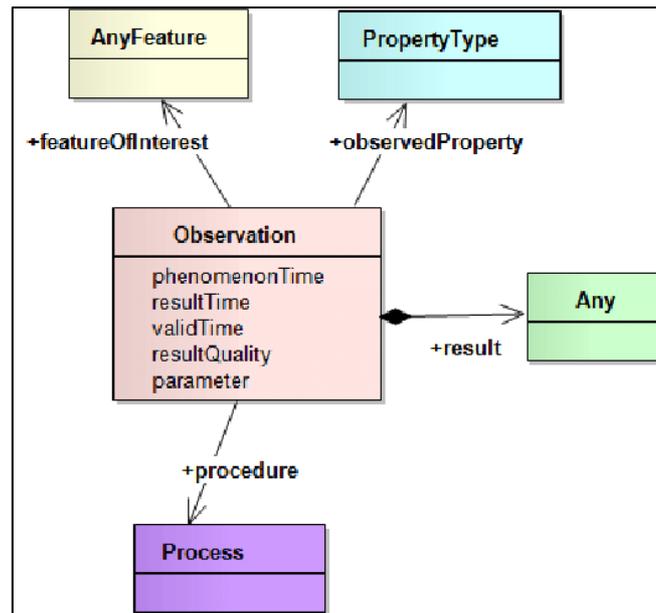


Figure 1 : Diagramme O&M

TerraIndex a joué un rôle actif dans le développement de l'ISO 28258 en apportant son expertise à la modélisation du modèle d'information. L'ISO 28258 est basée sur la norme W3C¹ Observation and Measurements (O&M)².

O&M est un modèle générique pour les observations et les mesures largement utilisé dans divers secteurs.

¹ W3C. Le World Wide Web Consortium est une organisation qui conçoit les normes web pour le web mondial, telles que HTML, XHTML, XML, CSS et les directives d'accessibilité au contenu web. Le W3C a été fondé en 1994 en collaboration avec le CERN, avec le soutien de la DARPA et de la Commission européenne.

² Observations et mesures (O&M) est une norme internationale qui définit un encodage de schéma conceptuel pour les observations et pour les caractéristiques impliquées dans l'échantillonnage lors de la réalisation d'observations.

L'ISO28258 décrit le modèle d'information pour l'ensemble du processus d'investigation, commençant par un projet d'investigation et se terminant par une interprétation et un rapport comprenant des conclusions et des conseils.

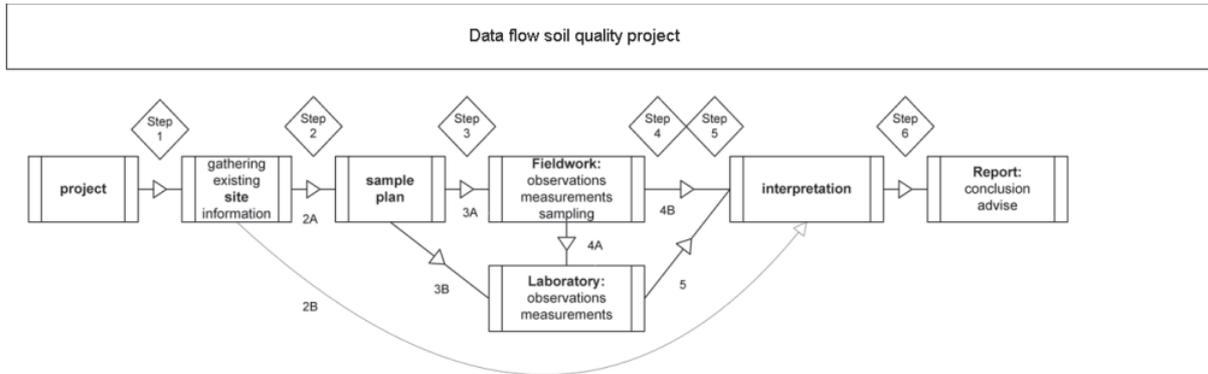


Figure 2 : Processus

En se penchant sur les détails, la relation entre, par exemple, un forage et un site d'investigation est déterminée. Pour chaque entité (comme un forage), les propriétés sont également décrites sous forme d'attributs.

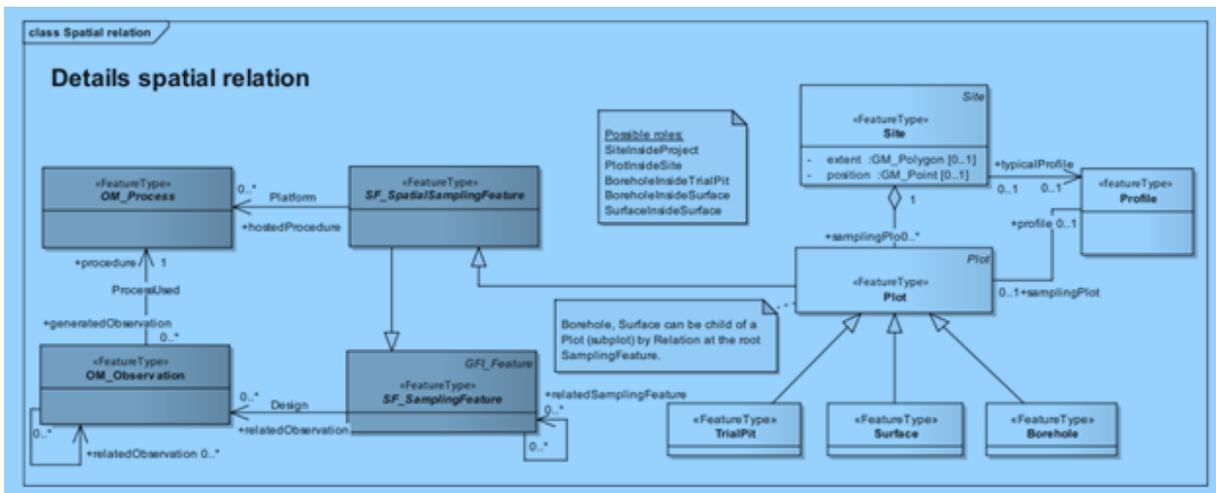


Figure 3 : Modèle relationnel

Le modèle d'information est enregistré dans un XSD³. Sur la base du XSD, un message peut être rédigé dans le GML⁴ correspondant.

```
<gml:featureMember>
  <Plot gml:id="plot1">
    <sam:sampledFeature xlink:href="#site1"/>
    <sams:shape>
      <gml:Point gml:id="point2" srsName="urn:x-ogc:def:crs:EPSG::4326">
        <gml:pos>17.05835 59.54635</gml:pos>
      </gml:Point>
    </sams:shape>
  </Plot>
</gml:featureMember>
```

Figure 4 : Exemple d'un morceau de GML

TABLES DE DOMAINE

En plus d'un modèle d'information décrivant la structure des données, une partie importante consiste en des tables de domaine. Les tables de domaine garantissent la conversion de nombreuses données non structurées, telles que du texte libre, en données classifiées/nominales. Il est crucial que les tables de domaine (tables de code) soient activement entretenues. Dans de nombreux cas, malheureusement, cela n'est pas fait ou le temps de traitement est trop long, ce qui entraîne un retard dans la disponibilité des nouveaux codes ou des codes modifiés. Dans l'étude de cas pratique, comme discuté ci-après, l'importance est soulignée, et nous montrons comment organiser cela.

VALIDATION

Pour l'échange automatisé, il est important que les données soient validées lors de la fourniture et de la réception. Le XSD mentionné ci-dessus peut être utilisé pour vérifier la structure correcte du fichier GML reçu et les données obligatoires. Les autres données obligatoires sont une question d'accord entre l'expéditeur et le destinataire. Des accords plus détaillés devront être conclus à ce sujet.

ÉTUDE DE CAS PRATIQUE : COMMUNICATION NUMÉRIQUE EN LABORATOIRE

Il y a quelques années, en collaboration avec les laboratoires Agrolab, Eurofins et SGS, TerraIndex a développé un format d'échange pour initier l'échange numérique entre le bureau d'études et le laboratoire, et travaille continuellement à son optimisation.

³ XMD, XML Schema Definition Language (XSD), est un langage de description de la structure des documents XML/GML, défini dans les normes du W3C (World Wide Web Consortium).

⁴ Geography Markup Language (GML), également connu sous le nom d'ISO 19136, est une structure XML établie par l'OGC pour représenter les informations géographiques (spatiales et basées sur les lieux). Il définit le codage XML pour le transfert et le stockage d'informations géographiques, y compris la géométrie et les propriétés des entités géographiques.

La figure ci-dessous donne une idée générale du processus d'une étude de sol.

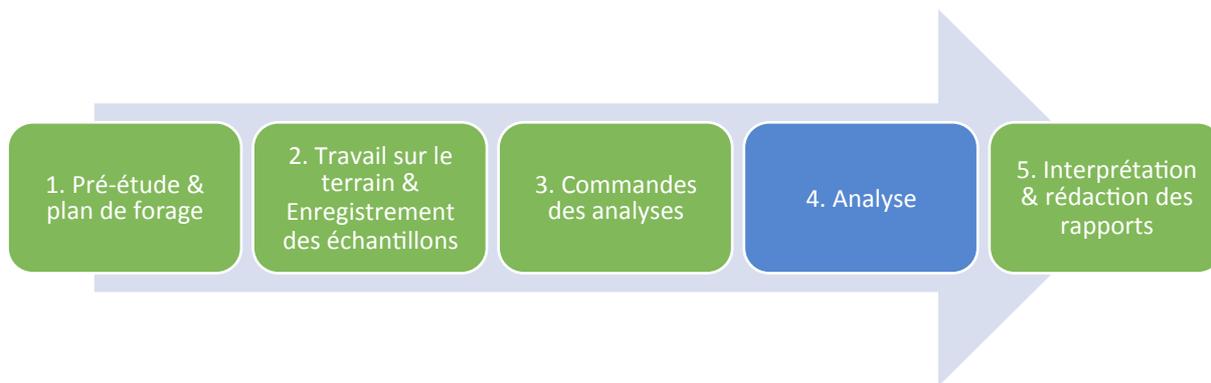


Figure 5 : Les étapes du processus en vert sont prises en charge par TerraIndex. Celles en bleu, par le laboratoire.

Les processus affichés en vert sont pris en charge par le logiciel du bureau d'études (par exemple TerraIndex), tandis que ceux en bleu sont pris en charge par le LIMS (Laboratory Information Management System) des laboratoires. Le format d'échange permet aux deux systèmes d'être directement connectés via des services web.

GESTION (SIKB)

La norme est gérée par une organisation publique-privée SIKB⁵. La norme IMSIKB0101 est maintenant répertoriée comme une norme nationale officiellement utilisable. De cette manière, il est garanti que les organisations sont obligées d'utiliser la norme, et elle est intégrée, par exemple, dans les appels d'offres. IMSIKB0101 est dérivé directement de la norme susmentionnée O&M et ISO28258, afin de correspondre également aux normes internationales.

La SIKB est une fondation indépendante dans laquelle sont représentés à la fois des gouvernements et des parties privées par le biais de leur adhésion. Chaque partie paie des frais d'adhésion et a donc son mot à dire dans les protocoles. Il existe deux comités de gestion, le comité technique (CT) et un collège central d'experts (CCE). Tous les membres sont représentés dans le CT. Les propositions de changement peuvent être introduites par les membres et sont discutées au sein du CT. Des délégués issus d'un large éventail de groupes d'intérêt sont représentés au sein du CCE. Le CCE évalue si la procédure correcte a été suivie.

⁵ Fondation pour l'assurance qualité des infrastructures Gestion des sols. La SIKB est une organisation en réseau au sein de laquelle le gouvernement et l'industrie élaborent ensemble des directives de qualité axées sur la pratique pour le sol, l'eau, l'archéologie, la protection du sol et les normes de données.

Le format d'échange est activement géré par SIKB, ce qui signifie que de nouvelles versions du format sortent chaque année (la version actuelle est la version 14.8). Chaque participant peut proposer des modifications, qui sont évaluées de manière indépendante. Le format est librement disponible en tant que norme ouverte officielle néerlandaise.

Pour illustrer la nécessité d'une gestion active, qui peut éventuellement effectuer rapidement une modification, voici un exemple :

L'analyse chimique est l'un des éléments les plus importants pour déterminer la qualité du sol. Chaque jour, de nouvelles substances sont développées et se retrouvent dans notre environnement. Une identification largement utilisée et reconnue internationalement est le numéro CAS (Chemical Abstracts Service)⁶. La plupart des substances ont un numéro CAS, mais pas toutes. C'est pourquoi il a été choisi d'attribuer une numérotation propre, ce qui permet également d'attribuer rapidement un nouveau numéro en cas d'urgence, facilitant ainsi l'échange de données.

SIKB permet d'attribuer des codes à de nouveaux éléments dans un délai de deux semaines en cas de demande d'urgence.

LEÇONS TIRÉES DE L'ÉTUDE DE CAS PRATIQUE

Les points suivants reflètent ce que nous avons appris dans cette étude de cas pratique :

- Maintenir une norme internationale demande des compromis en cas de déviations de la structure par rapport aux pratiques locales, mais garantit un large soutien.
- En dérivant le format d'échange (également appelé héritage) des normes internationales, il est possible d'inclure des données locales supplémentaires si nécessaire.
- Une gestion active est essentielle pour une norme fonctionnelle. C'est également un inconvénient de nombreuses normes internationales, telles que les normes ISO, qui sont établies pour de nombreuses années, alors que la pratique nécessite des changements pour s'adapter à un monde en évolution.
- Le format d'échange ne spécifie pas initialement quelles données doivent être échangées. Pour cela, les parties qui souhaitent échanger des données doivent conclure des accords supplémentaires. Il est recommandé de consigner ces ensembles de données (minimales) par secteur et de les stocker de manière centralisée et accessible au public.
- Pour utiliser le format d'échange à l'échelle internationale, il est recommandé de le rendre aussi indépendant de la langue que possible, par exemple en utilisant des numéros au lieu de codes alphabétiques.
- Il est important que les parties qui échangent des données testent régulièrement si les données sont effectivement bien envoyées et reçues.

En conclusion, il est recommandé que chaque pays dispose d'une organisation composée de partenaires privés et publics, qui assure une gestion active d'un format d'échange pour les informations sur le sol.

⁶ Un numéro CAS est une désignation numérique attribuée aux produits chimiques par le US Chemical Abstracts Service (CAS). Chaque numéro individuel permet l'identification sans ambiguïté d'une substance.



EUROPEAN SOIL SURVEILLANCE LAW: ARE WE SPEAKING THE SAME LANGUAGE?

Speakers: Olivier Roussel - User Success Manager and Consultant in Contaminated Sites and Soils
Robin Huisman - Designer and Analyst within the data exchange team of the soil study SIKB0101 -
Foundation for Soil Management Quality Assurance Infrastructure
Adress: TerraIndex B.V. - De Groene Haven 282 - 2627 CD Delft – the Netherlands

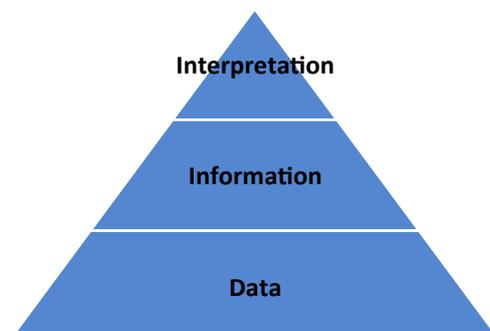
INTRODUCTION

The first draft of the European legislation aimed at protecting soils is now complete. With this proposal, the EU establishes frameworks to ensure and maintain soil health. A monitoring network will be established, where each member state will document the soil health status for the years to come. To implement such a network, it is essential that we measure the same data in the same way and can easily exchange this information.

Context of the European Soil Surveillance Law

Each member state is required to categorize its soil into districts based on various characteristics such as soil type (using the World Reference Base for Soil Resources for this purpose), climatic conditions, and land use type. Subsequently, a monitoring network is planned to be established to track the health of these soil districts. This is done through specific parameters to measure, such as salinization, erosion, organic carbon, soil compaction, eutrophication, contamination, water retention capacity, soil biodiversity, and land use. For each of these aspects, criteria have been established at various levels. Some criteria are set at the European level, for example, salinization, where within the European Union, soil salinity should not exceed 4 ds/m-1. Other criteria are set at the individual member states' level. For instance, a member state can specify its own values for acceptable criteria of heavy metals in the soil, as long as it does not pose an unacceptable risk to humans and the environment. Additionally, there are properties that do not have criteria but must be included in monitoring, such as soil pH or freely available nitrogen in the soil. As a result, the legislation provides flexibility and will not completely conflict with existing legislation in member states but will introduce a standardized methodology for monitoring soil degradation.

The purpose of the new law is to gain an understanding of soil health. To achieve this, data will be collected, converted into information, and then shared.



In order to ensure a consistent interpretation of information, it is essential to apply the same standards. These standards pertain to the observation and measurement of soil quality, as well as the storage and exchange of this data. They are developed by international, European, and national organizations. Thus, the ISO/TC 190 – Soil Quality and CEN/TC 444 – Environmental characterization of solid matrices technical committees are tasked with providing international (ISO) and European (CEN) standards. At the national level, each country has its own standardization body responsible for transposing international and European standards at the national level. Therefore, the AFNOR/X31 – Soil Quality and AFNOR/ENV – Environmental characterization of solid matrices technical committees are tasked with providing French standards.

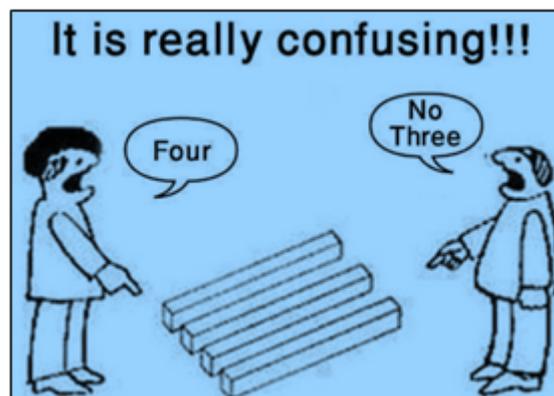
As a provider of software specialized in soil data management for investigations of contaminated sites and soils (SSP) in the Netherlands, we are sharing our practical experience with the implementation of key standards and tools governing SSP practices. This allows us to draw insights from the knowledge gained over the past 20-25 years in the Netherlands.

FIELD DESCRIPTION OF SOILS (ISO 25177)

The ISO 25177 standard on field description of soils provides guidelines on how to describe soil in the field and its environmental context. It applies to natural, semi-natural, urban, and industrial sites. Soil observations and measurements can be conducted at the project site level, plot level, layer or horizon level, as well as for specific soil constituents.

The standard also provides guidance on describing layers of anthropogenic (artificial) material or layers that have not been altered by strictly pedogenic processes, as well as how to describe coarse material of natural or artificial origin.

This standard can facilitate a consistent description and, fundamentally, ensures that we are speaking the same language, enabling mutual learning from our observations..



This standard provides, among other things, guidelines for:

- Soil profile description
- Estimation of moisture status
- Color of the horizon or layer matrix
- Texture
- Odor
- Oil floating on water

EXCHANGE STANDARDS (ISO 28258)

In order to record and exchange data resulting from soil quality description, as outlined in ISO 25177, an information model has been developed and is specified in the international standard ISO 28258 (2013).

This information model, as described below, enables the consistent storage and exchange of data. For each entity (measurement point, sample), the properties/attributes are defined, as well as the relationships between them.

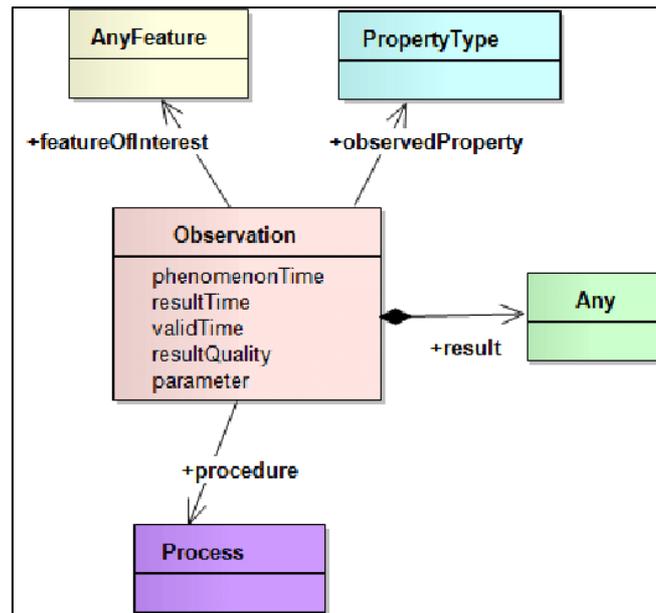


Figure 1 : Diagramme O&M

TerraIndex played an active role in the development of ISO 28258 by contributing its expertise to the modeling of the information model. ISO 28258 is based on the W3C¹ Observation and Measurements (O&M)² standard.

O&M is a generic model for observations and measurements that is widely used across various sectors.

¹ W3C. The World Wide Web Consortium is an organization that designs web standards for the global web, such as HTML, XHTML, XML, CSS, and web content accessibility guidelines. W3C was founded in 1994 in collaboration with CERN, with support from DARPA and the European Commission.

² Observations and Measurements (O&M) is an international standard that defines a conceptual schema encoding for observations and features involved in sampling during the conduct of observations. ISO 28258 describes the information model for the entire investigation process, starting with an investigation project and ending with an interpretation and report that includes conclusions and recommendations.

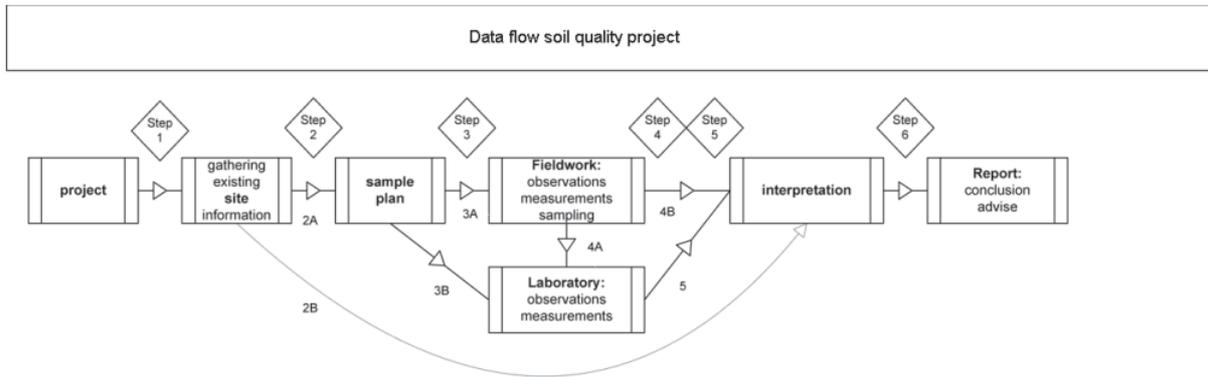


Figure 2 : Proces

Taking a closer look at the details, the relationship between, for example, a borehole and an investigation site is determined. For each entity (such as a borehole), the properties are also described as attributes.

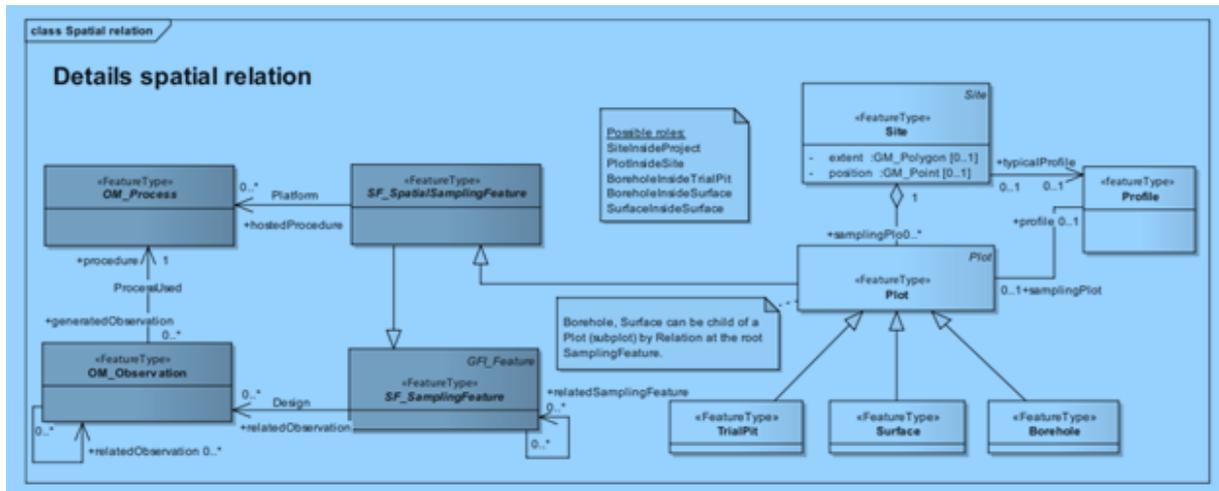


Figure 3 : Relational model

The information model is stored in an XSD³ (XML Schema Definition). Based on the XSD, a message can be authored in the corresponding GML (Geography Markup Language) version⁴.

```

<gml:featureMember>
  <Plot gml:id="plot1">
    <sam:sampledFeature xlink:href="#site1"/>
    <sams:shape>
      <gml:Point gml:id="point2" srsName="urn:x-ogc:def:crs:EPSG::4326">
        <gml:pos>17.05835 59.54635</gml:pos>
      </gml:Point>
    </sams:shape>
  </Plot>
</gml:featureMember>

```

Figure 4 : Example of a GML

DOMAIN TABLES

In addition to an information model describing the structure of data, a significant aspect involves domain tables. Domain tables ensure the conversion of numerous unstructured data, such as free-text, into classified/nominal data. It is crucial that domain tables (code tables) are actively maintained. Unfortunately, in many cases, this is not done, or the processing time is too long, resulting in a delay in the availability of new codes or modified codes. In the practical case study, as discussed below, the importance is emphasized, and we demonstrate how to organize this.

VALIDATION

For automated exchange, it is important that data be validated during delivery and reception. The mentioned XSD above can be used to check the correct structure of the received GML file and mandatory data. Other mandatory data is a matter of agreement between the sender and the recipient. More detailed agreements will need to be established on this matter.

PRACTICAL CASE STUDY: DIGITAL COMMUNICATION IN A LABORATORY

A few years ago, in collaboration with Agrolab, Eurofins, and SGS laboratories, TerraIndex developed an exchange format to initiate digital communication between the consulting firm and the laboratory, and continues to work on its optimization.

³ XMD, XML Schema Definition Language (XSD), is a language for describing the structure of XML/GML documents, defined in W3C (World Wide Web Consortium) standards.

⁴. Geography Markup Language (GML), also known as ISO 19136, is an XML-based structure established by the OGC to represent geographic (spatial and location-based) information. It defines XML encoding for the transfer and storage of geographic information, including the geometry and properties of geographic entities.

The figure below provides a general overview of the soil study process.

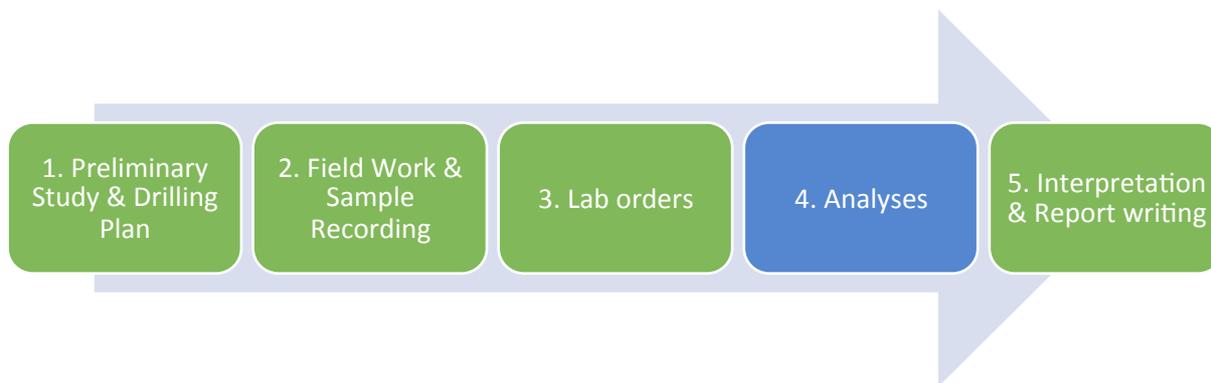


Figure 5 : The steps of the process in green are supported by TerraIndex. Those in blue are handled by the laboratory

The processes shown in green are supported by the consulting firm's software (e.g., TerraIndex), while those in blue are supported by the laboratories' LIMS (Laboratory Information Management System). The exchange format enables both systems to be directly connected via web services.

MANAGEMENT (SIKB)

The standard is managed by a public-private organization, SIKB¹. The IMSIKB0101 standard is now listed as an officially usable national standard. This ensures that organizations are obligated to use the standard, and it is integrated, for example, into tender documents. IMSIKB0101 is directly derived from the aforementioned O&M and ISO28258 standards to also align with international standards.

SIKB is an independent foundation in which both governments and private parties are represented through their membership. Each party pays a membership fee and therefore has a say in the protocols. There are two management committees, the Technical Committee (TC) and a central college of experts (CCE). All members are represented in the TC. Change proposals can be introduced by the members and are discussed within the TC. Delegates from a wide range of interest groups are represented in the CCE. The CCE evaluates whether the correct procedure has been followed.

The exchange format is actively managed by SIKB, meaning that new versions of the format are released each year (the current version being 14.8). Every participant can propose modifications, which are independently evaluated. The format is freely available as an official Dutch open standard.

⁵ Foundation for the Quality Assurance of Soil Management Infrastructures. SIKB is a network organization where the government and industry collaborate to develop practical quality guidelines for soil, water, archaeology, soil protection, and data standards.

To illustrate the need for active management that can promptly make a change, here's an example:

Chemical analysis is one of the most important elements in determining soil quality. Every day, new substances are developed and find their way into our environment. A widely used and internationally recognized identification is the CAS number (Chemical Abstracts Service). Most substances have a CAS number, but not all of them do. This is why it was chosen to assign a unique numbering, allowing for the quick assignment of a new number in case of urgency, facilitating data exchange.

SIKB allows for the assignment of codes to new elements within two weeks in case of an urgent request.

LESSONS LEARNED FROM THE PRACTICAL CASE STUDY

The following points reflect what we have learned in this practical case study:

- Maintaining an international standard requires compromises in case of deviations from the structure compared to local practices, but ensures broad support.
- By deriving the exchange format (also called inheritance) from international standards, it is possible to include additional local data if necessary.
- Active management is essential for a functional standard. This is also a drawback of many international standards, such as ISO standards, which are established for many years, while practice requires changes to adapt to a changing world.
- The exchange format does not initially specify which data should be exchanged. For this, parties wishing to exchange data must conclude additional agreements. It is recommended to document these (minimal) data sets by sector and store them centrally and publicly accessible.
- To use the exchange format internationally, it is recommended to make it as language-independent as possible, for example by using numbers instead of alphabetical codes.
- It is important that parties exchanging data regularly test whether the data is indeed sent and received correctly.

In conclusion, it is recommended that each country has an organization composed of private and public partners that ensures active management of an exchange format for soil information.

⁶ A CAS number is a numerical designation assigned to chemicals by the US Chemical Abstracts Service (CAS). Each individual number allows for the unambiguous identification of a substance.

Définir l'artificialisation : les enjeux de la mise en œuvre de la nomenclature des sols

**Pauline Leddet-
Troaderc**

Avocate au Barreau de Paris
Associée droit de
l'environnement - Latournerie
Wolfrom Avocats

**Marion
Delaigue**

Avocate au Barreau de Paris
Associée droit public
Latournerie Wolfrom
Avocats

Mots clés : NOMENCLATURE DES SOLS – ZERO ARTIFICIALISATION NETTE – LOI CLIMAT ET RESILIENCE – AMENAGEMENT DU TERRITOIRE - URBANISME

Objectif : A la croisée entre l'aménagement du territoire et le droit de l'environnement, la présentation a vocation de donner des outils de compréhension des enjeux de définition des surfaces artificialisées et de mise en œuvre de l'objectif zéro artificialisation nette.

Depuis l'entrée en vigueur de la loi *Climat et Résilience* du 22 août 2021 ayant consacré un objectif de zéro artificialisation nette (ZAN) des sols à l'horizon 2050, les enjeux de définition de l'artificialisation ne sont pas épuisés.

L'article L. 101-2-1 du code de l'urbanisme définit l'artificialisation des sols comme « *l'altération durable de tout ou partie des fonctions écologiques d'un sols, en particulier de ses fonctions biologiques, hydriques et climatiques, ainsi que de son potentiel agronomique par son occupation ou son usage* ». L'article renvoie à un décret pour établir « *une nomenclature des sols artificialisés ainsi que l'échelle à laquelle l'artificialisation des sols doit être appréciée dans les documents de planification et d'urbanisme* ».

Ce décret d'application, publié le 29 avril 2022, a établi une nomenclature des surfaces selon huit catégories définies selon l'occupation effective des sols. L'appréciation de cette occupation devait être déterminée par la collectivité et « *mesurée à l'échelle de polygone dont la surface est définie en fonction de seuils de référence précisés par arrêté* ».

Saisi par l'association des maires de France, le Conseil d'État a annulé le décret précité. Ce dernier ne comportait pas les précisions nécessaires s'agissant de l'échelle permettant l'identification des zones artificialisées, en méconnaissance de la loi.

En parallèle, la loi n° 2023-630 du 20 juillet 2023 visant à faciliter la mise en œuvre des objectifs de lutte contre l'artificialisation des sols est intervenue afin de renforcer l'accompagnement des élus locaux dans la mise en œuvre du ZAN.

Dans ce contexte, plusieurs décrets d'application, précisant les modalités d'application de la loi *Climat et Résilience* et de la loi du 20 juillet 2023, étaient attendus de l'ensemble des acteurs publics et privés.

D'abord soumis à consultation publique au cours de l'été 2023, les trois décrets d'application des deux lois précitées ont finalement été publiés au Journal officiel du 28 novembre 2023.

Le premier de ces textes, le décret n°2023-1096 du 27 novembre 2023, propose désormais une nouvelle nomenclature des sols constituée de cinq catégories de surfaces artificialisées et de cinq catégories de surfaces non artificialisées. Il précise que l'occupation effective des sols est mesurée à l'échelle de polygones dont la surface est définie en fonction de seuils fixés dans la nouvelle nomenclature.

La présente intervention aura pour objectif d'analyser les modalités de définition de l'« artificialisation » des sols proposées par cette nouvelle nomenclature prévue aux articles L. 101-1-2 et R. 101-1 du code de l'urbanisme (catégories de sols concernés, seuils), et les enjeux qui en découlent.

Eu égard à l'impact de cette nouvelle réglementation, le calendrier de cette nouvelle étape du « ZAN » devra également faire l'objet d'une attention particulière. En effet, conformément à la notice du décret précité, « *cette nomenclature ne s'applique pas pour les objectifs de la première tranche de dix ans prévue à l'article 194 [de la loi Climat et Résilience] : pendant cette période transitoire de 2021 à 2031, les objectifs porteront uniquement sur la réduction de la consommation des espaces naturels, agricoles et forestiers [...]* ».

S'agissant des objectifs de réduction de la consommation foncière, ils seront fixés et évalués au sein des documents de planification et d'urbanisme. L'intégration des objectifs au sein de ces documents suivra un calendrier précis, selon qu'il s'agisse des documents de planification régionaux (avant le 22 novembre 2024), intercommunaux (avant le 22 février 2027) et communaux (avant le 22 février 2028).

Ainsi, cette présentation permettra d'appréhender les modalités de traduction concrète de la nouvelle nomenclature dans le zonage des PLU et, plus généralement, dans les documents de planification et d'urbanisme.

Enfin, quels enjeux peuvent être identifiés en termes de concurrence des usages, notamment pour les industriels et les dépollueurs ?

En conclusion, l'objet de la présentation est de faire le bilan des moyens juridiques de définition de l'artificialisation et des enjeux qu'ils soulèvent afin d'éclairer les acteurs, publics et privés, et de leur permettre de mieux appréhender la mise en œuvre de l'objectif ZAN.

Pauline Leddet-Troadec

p.leddet-troadec@latournerie-wolfrom.com

T : +33 1 56 59 74 74

M : +33 7 89 47 91 06

Marion DELAIGUE

m.delaigue@latournerie-wolfrom.com

T : +33 1 56 59 74 74

M : +33 6 72 25 28 66



164 rue du Faubourg Saint-Honoré
75008 Paris

The Green Industry Act and land management: what's new and what's at stake?

*Joanna Peltzman,
Partner, Lawyer at the Paris Bar,
Environment & Sustainability - Osborne Clarke
joanna.peltzman@osborneclarke.com*

The Green Industry Act of 23 October 2023 is designed to meet two objectives: to decarbonize and make "green" existing industries, and to encourage the development of new green industries, with a view to decarbonizing the economy.

In this communication, we'll be looking at two aspects of the Green Industry Act related to land management: rehabilitating brownfield sites for industrial use (1), and speeding up the establishment of industries (2).

(1) The Climate and Resilience Act set a target of "zero net artificialization" (ZAN) of land by 2050. Following on from these measures, a major section of the Green Industry Act is devoted to this objective. In a context where access to land will become more complicated with the implementation of ZAN, the law aims to facilitate the rehabilitation of brownfield sites. Article 8 of the law facilitates the procedure for closing down facilities classified for environmental protection (ICPE), while article 13 aims to take better account of brownfield sites in territorial coherence schemes (SCOT).

(2) The law also enables the Administration to draw up a national strategy for the period 2023-2030. This determines the strategic sectors that should be set up or developed as a priority in France. To encourage the establishment of new industrial sites, the law provides for the acceleration of administrative procedures on a number of parameters.

Under the terms of article 19, the Administration may, by decree, designate a project as being of "major national interest" (PINM), by initiating a procedure to make town planning documents compatible with the project. Similarly, article 19 facilitates the granting of the "protected species exemption", notably for projects benefiting from an "imperative reason of major public interest" (RIIPM). Article 3 strengthens the powers of state and local public land establishments. Finally, under the terms of Article 15, the natural compensation sites (SNC) created by the August 8, 2016 law for the reconquest of biodiversity, but little used due to the complexity of their implementation, are replaced by "natural compensation, restoration and renaturation sites", in order to encourage the constitution of "restored" turnkey sites.

The aim of the communication is therefore to review the implementation by the French administration of the provisions of the Green Industry Act relating to land management, and also to understand what is at stake for economic players, particularly in terms of litigation.

L'outil d'aide à la décision QUALI'ZAN : intégrer les enjeux de l'artificialisation des sols à l'échelle de l'opération pour orienter l'aménagement.

MOTS-CLES :

Aménagement, Opérationnelle, Artificialisation, Fonctions écologiques, Sobriété

ORATEURS :

- **Quentin Vincent** – Dr. en écologie des sols, Directeur scientifique et technique et co-fondateur de Sol &co
- **Vincent Le Rouzic** – Dr. en urbanisme et économie, Directeur de projet stratégie et innovation à l'EpaMarne – EpaFrance

RESUME :

Depuis l'annonce de la loi Climat et Résilience, notamment avec l'objectif de parvenir au Zéro Artificialisation Nette (ZAN), les aménageurs se penchent davantage sur la problématique de l'artificialisation, sollicitant l'expertise des scientifiques du sol pour quantifier les surfaces « artificialisées » par rapport à celles considérées comme « non artificialisées ». Bien que l'approche de l'artificialisation, en contraste avec la consommation d'espaces naturels, agricoles et forestiers, se révèle pertinente en milieu urbain, en mettant l'accent sur la valorisation des espaces non bâtis, la préservation des sols existants et la création de nouveaux sols vivants, le texte souligne la complexité inhérente aux sols urbains, exigeant une attention particulière portée à leur fonctionnalité. Ainsi, même si les territoires concernés relèvent davantage de l'échelle de la planification, l'évaluation de l'artificialisation des projets d'aménagement doit également s'opérer à l'échelle de l'opération.

C'est dans ce contexte que l'EpaMarne EpaFrance, en collaboration avec la société Sol &co, élabore actuellement un outil d'aide à la décision permettant d'apprécier dans quelle mesure le projet d'aménagement est en adéquation avec la stratégie ZAN. A partir de données sur l'état d'artificialisation (estimé ou mesuré) des sols avant et après projet, ainsi que des données relatives aux futurs aménagements (espaces verts et bâtis), le niveau de compatibilité à la stratégie ZAN de trois grandes finalités est évalué : (1) la sobriété foncière et l'intensité urbaine, (2) le fonctionnement écologique des sols et (3) le potentiel fertile et la qualité paysagère.

La sobriété foncière et l'intensité urbaine permettent d'évaluer si ce projet d'aménagement est le plus sobre possible en ressource foncière et s'il s'inscrit correctement dans le tissu urbain, pénalisant ainsi, par exemple, des opérations d'aménagement situées hors continuités urbaines. Ensuite, les fonctions écologiques des sols sont appréhendées à travers le potentiel de biodiversité, d'infiltration des eaux par les sols et le stockage du carbone. Pour finir, le potentiel fertile se mesure avec des prélèvements du terrain existant et des analyses en laboratoire tandis que la qualité paysagère est évaluée à travers les différents aménagements végétalisés prévus.

Le choix d'avoir trois finalités plutôt qu'un seul indicateur final permet de ne pas hiérarchiser les différentes approches et ainsi permettre à l'aménageur de choisir sa stratégie au regard des différents niveaux d'indicateurs à sa disposition. En effet, cet outil porte un but réflexif pour construire le projet de façon itérative, en reposant sur une approche contextuelle. En mettant en évidence des points critiques du projet, cet outil permet d'ajuster les stratégies d'aménagements les plus pertinentes et le plus en amont possible pour améliorer la compatibilité du projet à la stratégie ZAN de l'aménageur.

Un des enjeux de l'utilisation de cet outil est d'être assez en amont du projet pour que des changements du plan masse soit encore envisageables, tout en ayant assez de données sur le projet envisagé pour faire fonctionner l'outil. De plus, il est nécessaire d'être parcimonieux dans les indicateurs à mesurer pour s'assurer de l'utilisation de l'outil. Des phases tests sont en cours pour déterminer les meilleurs indicateurs disponibles par l'aménageur et la meilleure période pour utiliser l'outil, dans la conception du projet.



INTERSOL, 26-28 mars 24 - Paris, France

Comment mesurer le coût de la dégradation des sols ?
Toward an assessment of the costs of soils' degradation

Flavien Poinçot, Acta, Jean-Sauveur Ay, INRAe, Noémie Pousse, ONF, Laurent Rigou, ASUP, Laurent Thannberger, VALGO

Mots clés : aménagement, changement d'usage, diagnostic

Objectifs : Définir de premiers éléments de cadrage sur la définition et la mesure du coût économique de la dégradation des sols et identifier des actions prioritaires à mettre en œuvre pour une meilleure évaluation de cette dégradation

Caractère innovant du projet : Le travail propose une approche originale centrée sur la prise en compte de la multifonctionnalité des sols pour comparer de manière unifiée l'impact de différentes dégradations sur un sol, quel que soit son usage

1. Introduction et objectif de l'étude

La dégradation d'un sol regroupe l'ensemble des modifications physiques, chimiques et biologiques qui nuisent aux fonctions et services qu'il peut potentiellement fournir. Nous présentons dans cet article des éléments de cadrage sur la définition et la mesure du coût économique de la dégradation des sols, nous proposons un outil permettant de comparer les différentes dégradations de manière unifiée et nous illustrons ces éléments sur des études de cas. Le focus sur les fonctions et services rendus par les sols permet de faire apparaître dans une analyse multi-dimensionnelle la grande variété des impacts que les dégradations entraînent. Cette variété implique toutefois que la traduction en coûts économiques n'est pas en l'état opérationnelle pour guider les décisions privées et publiques. Nous proposons des recommandations pour avancer sur ce point en conclusion.

2. Plan de la présentation

La présentation détaillera les points essentiels de la publication AY et al (Ay J.-S., Pousse N., Rigou L. et Thannberger L. - 2020 - Vers une évaluation des coûts de la dégradation des sols : Éléments de cadrage, outil d'analyse et études de cas, Etude et Gestion des Sols, 27, 147-161) :

- Éléments de cadrage
 - o Quelle définition pour le coût de la dégradation des sols ?
 - o Quel statut juridico-économique pour les sols ?
 - o Fonctions des sols ou services rendus par les sols ?
 - o Dégradation des sols ou des fonctions des sols ?
 - o Quelle réversibilité pour les dégradations des sols ?
- Propositions pour un outil d'analyse
 - o La pertinence discutable d'une mesure agrégée du coût de la dégradation des sols
 - o Vers une méthode globale d'évaluation locale de la dégradation des sols
- Etudes de cas
 - o Mesures de la dégradation des sols forestiers liée à la compaction
 - o Perceptions de la dégradation des sols agricoles au sein de territoires ruraux

SUMMARY

Key words: Framework, analytical tool, and case studies

1. Introduction and study objectives

Soil degradation brings together all the physical, chemical and biological modifications that impair the functions and services that soils can potentially provide. We present in this article framing elements on the definition and the measurement of the economic cost of soil degradation, we propose an analytical tool allowing to compare the different degradation in a unified way, and we illustrate these elements on case studies. The focus on the functions and services provided by soils allows us to show in a multi-dimensional analysis the wide variety of impacts. With the current level of knowledge, this variety implies that the assessment of economic costs is not yet operational to guide private and public decisions. We offer recommendations for advancing on this point in conclusion.

**Préservation de l'environnement dans l'immobilier :
l'importance des mesures de compensation**

**Protecting the environment in property:
the importance of compensation measures**

Adeline Rente, Cheffe de groupe études - Brézillon
a.rente@brezillon.fr / Tél. : +33 7 64 49 86 43

Les zones humides jouent un rôle vital dans la régulation des cycles de l'eau, la biodiversité et la protection contre les inondations.

La réalisation de mesures de compensation de zone humide dans le cadre de projets immobiliers est importante pour préserver l'équilibre écologique et minimiser les impacts environnementaux.

L'intégration de mesures compensatoires implique souvent la restauration ou la création de zones humides équivalentes à celles affectées par un projet immobilier.

Dans le cadre de la construction d'une résidence de Services pour Séniors en Ile-de-France, un arrêté préfectoral définissant un besoin de compensation de zones humides de 1.6 ha a été édité. L'intervention concernera la présentation des mesures mises en place : la réouverture d'un ru et la création d'une zone humide de compensation de la zone humide détruite sur le projet de résidence.

Démarche méthodologique pour la valorisation de sédiments fluviaux non dangereux en agriculture

Laurent EISENLOHR¹ et David JULLIEN²

La méthodologie fournit une démarche d'évaluation de l'acceptabilité agro-pédologique et environnementale des sédiments fluviaux non dangereux destinés à être valorisés en vue d'améliorer les propriétés physiques de sols agricoles. Il s'appuie sur des expérimentations conduites ces dernières années, comme celles réalisées dans le cadre du projet VASC³. Cette méthodologie a vocation à être utilisée :

- soit par un gestionnaire de sédiments de dragage lorsqu'il souhaite étudier leurs possibilités de valorisation en agriculture,
- soit par un professionnel du monde agricole lorsqu'il souhaite étudier les possibilités de valorisation d'un gisement de sédiments localisé à proximité de ses parcelles agricoles,
- soit par un service de l'Etat en charge de la rédaction d'un arrêté préfectoral,
- soit par un bureau d'étude en charge d'étudier la faisabilité de la valorisation agricole de sédiments.

La démarche méthodologique pour la valorisation de sédiments en agriculture présente 5 étapes (voir Figure 1) :

1. la caractérisation de la non dangerosité des sédiments,
2. le traitement physique des sédiments en vue de la préparation d'un gisement de sédiments élaborés,
3. la caractérisation des sédiments élaborés vis-à-vis des référentiels réglementaire et technique,
4. l'identification des potentialités de valorisation sur des sols agricoles,
5. la compatibilité du sol agricole et des sédiments ainsi que leur mise en œuvre.

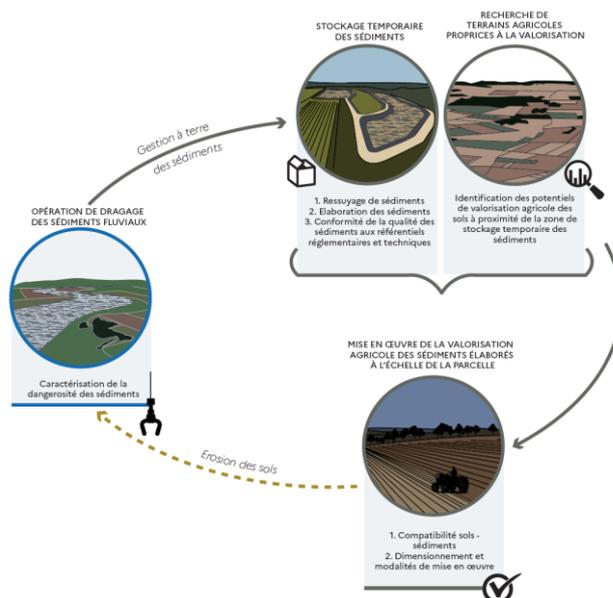


Figure 1 : Démarche de valorisation des sédiments fluviaux non dangereux en agriculture.

¹ Cerema, chef de groupe Economie circulaire et matériaux

² Chambre Interdépartementale de la Charente-Maritime et des Deux Sèvres, responsable du Pôle Gestion de l'espace et des Ressources -

³ Le projet VASC voir : <https://charente-maritime.chambre-agriculture.fr/territoires/valorisation-des-sediments/vasc>

Table ronde

La fin du hors sol pour le foncier :

Quelles perspectives pour la valorisation des sols urbains ?

Modérateurs :

- *Romain Garnier, Chef de projet Filière Sols - Cluster Eau Milieux Sols*
- *Jean-Pierre Aubert, Président - Terres de Métamorphoses*

Afin de répondre aux enjeux environnementaux et d'aménagements urbains, les politiques publiques articulent leurs actions autour d'une dynamique d'économie circulaire, de transition écologique et énergétique. Les sols urbains sont soumis à de multiples agressions anthropiques : pollutions, tassements, aménagements et excavations d'environ 18 millions de tonnes par an en Ile-de-France. Ils sont au centre de ces enjeux et de toutes les attentions des acteurs publics franciliens.

Eviter l'excavation des sols par des traitements sur site, contribuer à la mise en place d'une économie circulaire des terres excavées, capitaliser sur les sols pour renaturer la ville, sont des leviers essentiels pour réduire l'impact environnemental du développement urbain et pour la requalification des milieux.

L'anticipation des enjeux et des espaces de traitement des terres, est un élément nécessaire pour la gestion des sites et sols pollués comme pour la mise en place d'une économie circulaire sur les terres inertes.

La question de la disponibilité du foncier, et à travers elle, la gestion des friches, des délaissés urbains et des espaces pouvant faire l'objet d'une occupation temporaire, nécessite une vision stratégique et une gouvernance à tous les niveaux des politiques urbaines.

Pour en débattre :

- *Stéphanie Bardon, Cheffe de Mission Economie Sociale, Solidaire et Circulaire au sein de la Direction du Développement Economique et Emploi, DGA Attractivité et Relations aux Usagers - Grand Orly Seine Bièvre*
- *Thomas Gaudron, Responsable Terres Excavées et Economie Circulaire - Société des Grands Projets*
- *Séverine Cohuet, Chef de Projet Reconquête des Friches Urbaines - ADEME*
- *David Hiez, Président de l'UPDS*

Round table:

The end of above ground for land:

What prospects for the development of urban soil?

Moderators:

- *Romain Garnier, Soils Sector Project Manager - Cluster Eau Milieux Sols*
- *Jean-Pierre Aubert, President - Terres de Métamorphoses*

In order to respond to environmental and urban development challenges, public policies articulate their actions around the dynamics of the circular economy, ecological and energy transition. Urban soils are subject to multiple anthropogenic attacks: pollution, settlements, developments and excavations of around 18 million tons per year in Ile-de-France. They are at the center of these issues and of all the attention of public actors in the Ile-de-France region.

Avoiding soil excavation through on-site treatments, contributing to the establishment of a circular economy of excavated land, capitalizing on soil to renature the city are essential levers for reducing the environmental impact of urban development and for the requalification of environments.

Anticipating the issues and areas for land treatment is a necessary element for the management of polluted sites and soils as well as for the establishment of a circular economy on inert land.

The question of the availability of land, and through it, the management of wastelands, abandoned urban areas and spaces that can be subject to temporary occupation requires a strategic vision and governance at all levels of urban policies.

To debate it:

- *Stéphanie Bardon, Head of Social, Solidarity and Circular Economy Mission within the Economic Development and Employment Department, DGA Attractiveness and User Relations - Grand Orly Seine Bièvre*
- *Thomas Gaudron, Head of Excavated Land and Circular Economy - Société des Grands Projets*
- *Séverine Cohuet, Project Manager for the Reconquest of Urban Wastelands - ADEME*
- *David Hiez, President of the UPDS*

Sites industriels clés en main et aménagement du territoire : perspectives et regards croisés en droit de l'urbanisme et droit de l'environnement

Pauline Leddet-Troadec
Avocate au Barreau de
Paris, Associée droit de
l'environnement
Latournerie Wolfrom Avocats

Marion Delaigue
Avocate au Barreau de Paris
Associée droit public
Latournerie Wolfrom Avocats

Mots clés : INDUSTRIE VERTE – URBANISME – ENVIRONNEMENT – PLANIFICATION TERRITORIALE – PROCEDURES – ZAN

Objectif : Comprendre et anticiper les enjeux juridiques liés à la planification et à l'aménagement des territoires par le prisme du dispositif « sites industriels clés en main » qui cristallise par ailleurs des enjeux de simplification administrative des procédures environnementales.

En décembre 2020, le Gouvernement a lancé un appel à proposition à destination des collectivités et opérateurs qui disposent de sites aménagés et « engagés dans une vraie démarche de développement économique et territorial ».

Ces sites devaient remplir plusieurs critères dont des critères de taille (seuil de 1ha) et d'activité (industrielle, de recherche et développement ou logistique) et de disponibilité du site. La principale originalité réside dans l'anticipation des procédures et études environnementales. L'objectif étant que le porteur de projet puisse déposer, sans délai, les demandes d'autorisation environnementale et de permis de construire dans la mesure où les procédures préalables sont anticipées.

À la suite de cet appel à proposition, 49 sites ont été sélectionnés puis 78 autres dans le cadre d'un second appel à proposition en 2021.

Toutefois, les 127 sites identifiés lors de la première vague n'ont pas tous trouvé preneurs, du fait notamment de critères de sélection pas assez cadrés.

En octobre 2023, le Gouvernement a relancé sa politique de sites « clés en main » et souhaité changer de paradigme. L'objectif est désormais d'accompagner les porteurs de projet pour « *dérisquer chacun des sites et non pour labelliser des sites existants* » selon un conseiller ministériel.

Ainsi, seront retirés les projets qui, après les études de pollution ou les études archéologiques ou des objectifs « zéro artificialisation nette » (ZAN), n'auront pu répondre aux critères de sélection.

Dans cette lignée, la loi relative à l'industrie verte du 23 octobre 2023 en son article 1^{er} prévoit que soient fixés dans le SRADDET les objectifs de développement industriel. Le but est de diviser par deux les délais réels d'implantation d'usines en les faisant passer de dix-sept à moins de neuf mois.

Cette loi prévoit notamment de mener en parallèle les phases d'instruction des demandes d'autorisation et de consultation du public, d'accélérer la procédure d'autorisation environnementale ou encore permettre des facilités pour les projets reconnus d'intérêt national majeur.

L'industrie verte matérialise deux stratégies d'aménagement : celle de planification territoriale (i) et celle de l'anticipation des études des sols et des études faune/flore afin d'accélérer l'implantation des activités industrielles (ii).

(i) Sur la planification territoriale

Ce dispositif soulève de nombreuses questions pour les collectivités territoriales en matière de consommation du foncier, dans le cadre de l'objectif ZAN, et en matière de territorialisation d'un objectif de réindustrialisation qui s'imposerait aux communes.

L'objet de la présentation est d'offrir des clés d'analyse et de compréhension sur les risques et opportunités inhérents à l'accueil d'un site industriel clé en main dans un territoire.

(ii) Sur l'anticipation des procédures et études environnementales

Sont notamment concernées les procédures administratives relatives à l'urbanisme, l'écologie et l'archéologie préventive, parmi lesquelles figurent, par exemple les études d'impact, les études 4 saisons, celles relatives à la loi sur l'eau ou encore les études géotechniques. L'objet de la présentation sera aussi de faire un état des lieux de ce dispositif et des opportunités qu'il peut présenter pour les porteurs de projet tout en identifiant les risques juridiques et les contentieux encourus du fait de l'anticipation des démarches.

Pauline Leddet-Troadec

p.leddet-troadec@latournerie-wolfrom.com

T : +33 1 56 59 74 74

M : +33 7 89 47 91 06

Marion DELAIGUE

m.delaigne@latournerie-wolfrom.com

T : +33 1 56 59 74 74

M : +33 6 72 25 28 66



164 rue du Faubourg Saint-Honoré
75008 Paris

Suivre et valoriser la régénération d'un territoire à travers la notation de la santé des sols - cas pratique La Ferme de la Granja de GreenPods x Genesis

Contexte :

- L'exploitation de la Granja (170 hectares) a été reprise en 2020 par GreenPods avec l'appui financier du fond de portage Maif Transition. Celle-ci produisait sur les trente dernières années du maïs en intensif, l'objectif de GreenPods est d'y relocaliser la filière d'amandiers.
- Genesis est l'acteur de la preuve de l'impact environnemental lié à l'usage des sols. La mesure de l'impact se fait grâce à la mesure de la **santé des sols**.

Cas pratique :

Afin d'accompagner au mieux la mise en place des pratiques de régénération des sols d'une part et de permettre à la Maif de suivre l'impact environnemental de son investissement d'autre part, GreenPods et le Fond Maif Transition ont fait appel à Genesis.

En octobre 2021, Genesis a réalisé un diagnostic initial de la fonctionnalité des sols de l'exploitation. Celle-ci est mesurée grâce à une trentaine d'indicateurs de sol (analyses physico-chimiques, pollution, (MERIEUX NUTRISCIENCES), carbone, biodiversité). Cela a permis de comprendre l'état initial de dégradation des sols et d'accompagner GreenPods dans la mise en place de pratique pour réhabiliter les sols avant les plantations d'amandiers.

Depuis un suivi annuel de l'évolution des fonctions des sols est conduit par Genesis, à la même période chaque année pour suivre l'évolution (T1 en Oct 2022, T2 en Oct 2023). En 2023, des tendances positives commencent d'ores et déjà à apparaître, cohérentes avec les pratiques d'agriculture de conservation des sols mises en place.

Take aways :

-> Les mesures de santé des sols réalisées par Genesis permettent à GreenPods d'adapter ses pratiques et ses amendements (eg. Chaulage, apport de Matière organique, etc.)

-> La preuve d'impact environnemental permet :

- à GreenPods de valoriser son impact (filiale, financement) - au fond Maif Transition de nourrir son reporting environnemental pour remplir ses obligations réglementaires de reporting

Speakers :

- Christophe Calvaruso – Genesis
- Sylvain Mourard – Severine Martinie – Mérieux NutriSciences

Intégrer la biodiversité, le risque d'exposition et les services écosystémiques dans la revalorisation des zones industrielles : contraintes et perspectives

Integrating biodiversity, health risks and ecosystemic services in restoring the value of industrial area: constraints and perspectives

Alexiane Godain, Matthieu Dorchies, Julie Estival, Sébastien Kaskassian, TAUW France, 14D rue Pierre de Coubertin, 21000 Dijon, France

Mots clés : biodiversité, outils, études de risque, changement d'usage, recyclage foncier, services écosystémiques, fonctionnalités, refunctionalisation, biodisponibilité.

Objectifs : Illustrer les enjeux et les difficultés de modéliser et prédire les risques d'exposition dès lors que des mécanismes de biodisponibilité et de bioaccessibilité sont présents. Difficultés de valoriser les sols pouvant favoriser les services écosystémiques dès lors que des restrictions d'usage ont été nécessaires pour réduire les risques d'exposition.

Introduction

La maîtrise des risques reste l'enjeu majeur des projets de réhabilitation des friches industrielles et des espaces avoisinants potentiellement impactés. La disponibilité et la mobilité des polluants demeurent complexes à caractériser et maîtriser. Pour réduire le risque d'exposition aux polluants présents dans les sols superficiels, l'imperméabilisation des sols ou leur excavation a souvent été la solution appliquée. Mais cette solution immédiate génère à plus long terme le risque de supprimer des fonctions écologiques du sol vitales pour l'Homme comme la régulation du climat ou la production de nourriture saine.

Dans un contexte où les projets d'aménagement visent de plus en plus à encourager le retour de la biodiversité et à restaurer des services écosystémiques, il est primordial d'améliorer notre capacité à prédire et maîtriser la biodisponibilité des polluants. L'objectif de cette étude est d'une part d'illustrer les enjeux et les difficultés à modéliser et prédire les risques d'exposition dès lors que des mécanismes de biodisponibilité et de bioaccessibilité sont présents. L'objectif est également d'aborder les difficultés à valoriser les sols pouvant favoriser les services écosystémiques dès lors que des restrictions d'usage ont été nécessaires pour réduire les risques d'exposition.

Contexte de l'étude

TAUW France a été mandaté pour réaliser une interprétation de l'état des milieux à proximité d'une friche industrielle au droit de laquelle des activités de fonderie et d'affinage des métaux se sont exercées pendant plusieurs décennies. Il est localisé dans une zone à vocation artisanale et industrielle jouxtant une zone urbaine pavillonnaire. Se trouvent donc des jardins et des pavillons localisés à moins de 25 m d'un des bâtiments industriels ainsi que des parcelles non occupées pour lesquelles le PLU prévoit un usage résidentiel collectif.

Des pollutions concentrées en métaux ont été identifiées dans les remblais au droit de la friche industrielle. Le ruissellement des eaux pluviales a également entraîné une dégradation de la qualité des sols superficiels (0,0 – 0,5 m de terres végétales) sur les parcelles accolées au site hébergeant des jardins et des pavillons. Certaines résidences hébergent de jeunes enfants ou des personnes âgées. Les espaces extérieurs sont composés de jardins récréatifs, de potagers ou de vergers. Malgré la présence de polluants, ces sols participent au maintien de nombreuses fonctions écologiques en milieu urbain mais entraînent également un risque d'exposition au plomb et à l'arsenic par ingestion des sols ou par ingestion de végétaux contaminés dans le cas de potagers ou de vergers.

Usage de jardins récréatifs : modélisation des risques d'exposition via une mesure de bioaccessibilité

La première modélisation des risques sanitaires réalisée sur les teneurs totales en métaux n'avait pas permis de statuer sur la compatibilité sanitaire pour un usage résidentiel. Afin d'affiner cette modélisation, des mesures de bioaccessibilité via le test HCl (méthode simplifiée) et le test UBM (méthode normalisée) ont été réalisées pour respectivement 20 et 2 échantillons de sol de surface. D'une manière générale, les résultats du test normalisé UBM montrent que les résultats via le test simplifié sont surestimés pour la partie gastrique alors qu'ils sont sous-estimés pour la partie gastro-intestinale. Malgré l'intégration de la bioaccessibilité du plomb comme facteur d'ajustement de l'exposition (test UBM : 62% pour le compartiment gastrique et de 29% pour le compartiment gastro-intestinal), les niveaux de risques calculés ne sont pas compatibles avec les usages de jardins privés.

Usage de jardins potagers : modélisation des risques d'exposition via une mesure de biodisponibilité

Des prélèvements des végétaux comestibles ont été réalisés dans 2 jardins potagers existants. Sur chaque potager, des fruits et légumes à maturité et non lavés ont été prélevés comme représentatifs des groupes :

- groupe d'espèces « exposées » aux retombées atmosphériques (partie comestible se trouve hors sol ou en contact avec l'air extérieur) comme les salades, blette, poireaux, ...
- groupe d'espèces « protégées » des retombées atmosphériques (partie comestible dans le sol ou protégée de l'air extérieur) comme les radis, pomme de terre, céleri rave, betterave, panais...

Les résultats d'analyses sur les végétaux ont confirmé la bioaccumulation des métaux dans les cultures des potagers, notamment des dépassements des valeurs réglementaires pour le cadmium et pour le plomb (ratio « végétaux / sol » ~ 3% pour le Plomb). Pour la consommation de végétaux cultivés, les niveaux de risques calculés étaient également supérieurs aux intervalles de gestion fixés dans la méthodologie nationale.

Solutions de gestion et d'aménagement : conflits d'usage, santé humaine vs. santé des sols

Afin de supprimer rapidement les risques d'exposition pour les populations, le recouvrement des sols en place par au moins 30 cm de terres saines a été recommandé. Il permettra d'assurer la compatibilité sanitaire pour un usage récréatif des jardins. En revanche aucune mesure de gestion peu coûteuse et immédiate ne permet d'assurer la compatibilité sanitaire pour un usage des jardins comme potager. La mise en place de restrictions d'usage, via la réalisation d'un dossier de servitude d'utilité publique a donc été recommandé.

Le développement des espaces verts et le retour de la biodiversité en milieu urbain (enjeux de santé des sols et de régulation climatique) sont souvent possibles sur des sols dégradés dès lors que les éléments nutritifs essentiels sont apportés (carbone organique, eau, azote...). En revanche consommer les végétaux (enjeux de santé humaine) implique de maîtriser la biodisponibilité des polluants présents dans les horizons de sols en contact avec le système racinaire des essences étudiées. Ce cas d'étude illustre les conflits d'usage qui émergent dans certains projets d'aménagement sur sites dégradés et la difficulté de faire accepter des scénarios de gestion permettant de soutenir voire d'améliorer les fonctions du sol lorsque les enjeux de compatibilité sanitaire sont présents.



Reconversion d'une friche industrielle en ferme urbaine : Effet de différents types de compost sur la fertilité du sol, le devenir des polluants organiques et leur transfert dans des plantes potagères

Conversion of a wasteland into an urban farm: Effect of different types of compost on soil fertility, the fate of organic pollutants and their transfer into vegetables

Papa M. S. NDOUR¹, Laura STAES¹, Natacha FACON¹, Frédéric LARUELLE¹, Géraldine BIDAR², Laure GENIES², Benoit TISSERANT¹, Joël FONTAINE¹ et Anissa Lounès HADJI-SAHRAOUI¹

¹ Unité de Chimie Environnementale et Interactions sur le Vivant (UCEiV), Université du Littoral Côte d'Opale, UR 4492, 50 Rue Ferdinand Buisson, 62228 Calais cedex, France

² Univ. Lille, Institut Mines-Télécom, Univ. Artois, JUNIA, ULR 4515 - LGCgE, Laboratoire de Génie Civil et géo-Environnement, F-59000 Lille, France

Présentateur : Papa M. S. NDOUR, Post-doctorant, Email : sitndour@yahoo.fr; Tel : 07 54 46 02 65

Contexte :

La friche Nollet, localisée à Roubaix, a fait l'objet d'un projet de reconversion foncière, financé par la Métropole Européenne de Lille (MEL) visant la création d'une ferme urbaine en lien avec les acteurs associatifs locaux. Après excavation des poches de pollution, des technosols ont été créés en vue de les utiliser comme supports de cultures potagères. Dans ce cadre, des expérimentations ont été menées *in situ* afin d'étudier la requalification de ces technosols, caractérisés par une multi-contamination résiduelle par des polluants organiques et inorganiques.

Objectif :

Dans le respect des principes de l'économie circulaire et des pratiques agroécologiques, différents types de composts locaux ont été utilisés afin d'augmenter les potentialités agronomiques et biologiques des sols et de réduire la disponibilité environnementale des polluants présents et leur transfert éventuel dans les parties comestibles des plantes potagères. Il s'agit *in fine*, de tirer profit des services écosystémiques générés par ces technosols.

Dispositif expérimental et Méthodologie :

Le dispositif expérimental est composé de trois zones d'environ 300 m² : ZL (non contaminée), ZI (contaminée par des hydrocarbures totaux (HCT) et des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)), et ZC (contaminée par des HCT, HAP et des dioxines/furanes). Différents types d'amendements organiques (composts de feuilles, de fumier et de BRF), disponibles localement, ont

été appliqués sur ces sols. Ainsi, les paramètres pédo-agronomiques et microbiologiques des technosols ont été suivis ainsi que les teneurs des polluants organiques à la fois dans les sols et les parties comestibles des plantes potagères cultivées (pommes de terre, carottes, blettes et courgettes).

Résultats et Perspectives :

L'apport des différents composts a permis d'améliorer la fertilité des sols, avec notamment une diminution de l'indice de battance et une augmentation des teneurs en nutriments (C organique, N et P assimilable). Du point de vue de la qualité microbiologique des sols, ces amendements ont permis d'augmenter la biomasse microbienne totale des divers sols cultivés ainsi que la diversité des communautés bactériennes et leur potentiel métabolique. En effet, l'introduction des amendements dans les sols a entraîné une augmentation de l'abondance relative des *Actinobacteria* et des *Firmicutes* et une diminution de celle des *Acidobacteria*. Pour les champignons, les amendements ont entraîné une modification de la composition taxonomique, notamment avec une plus forte abondance des *Ascomycota* et des *Basidiomycocota*, sans incidence sur la diversité. Parmi les polluants suivis, HCT, HAP et dioxines/furanes, une diminution significative de 36% a été observée sur les concentrations en HCT à l'issue d'un cycle cultural (environ 6 mois). En revanche, l'application des amendements organiques n'a eu aucun effet sur les teneurs en polluants organiques dans les sols. Dans les légumes testés (carottes, courgettes, blettes et pommes de terre) une accumulation d'HCT et de dioxines/furanes a été détectée, sans aucun effet significatif des amendements. Ces résultats démontrent l'intérêt d'utiliser ces amendements dans le cadre de la requalification des sols. Un second cycle cultural (introduction d'amendements organiques et cultures d'espèces potagères) a été réalisé et nous permettra de mesurer, à plus long terme, l'apport de ces pratiques sur la requalification de technosols et le bien-fondé de la création d'une ferme en zone urbaine.

Mots clés : reconversion de friches, ferme urbaine, économie circulaire, multi-pollution des sols, requalification des sols, composts



INRAE
transfert

METYS

**PRESTATAIRE DE SERVICE POUR
L'ENVIRONNEMENT ET LES ÉCOTECHNOLOGIES**

Notre offre basée sur les savoir-faire INRAE

Agriculture et Environnement



Qualité air, Émission GES, Ammoniac,
Mesure, PRO, Recyclage, Environnement,
Modélisation, Sol, Agronomie

Génomique



Microbiomes, Génomique, Transcriptomique,
Bioinformatique, Biostatistique, Environnement,
Biotechnologies, Agriculture, Santé

Biotechnologies environnementales



Épuration, Méthanisation, Biomasse, Bioénergie,
Gestion de l'eau, Méthanation, Biohydrogène,
Compostage, Biotechnologie environnementale



Éco-Conception

ACV/LCA, ISO 14040/14044, Eco-conception,
Aide à la décision, Bilans environnementaux,
Multicritères, Cycle de vie, Transferts de
pollution

Nos techniciens biologistes et nos experts sont à votre écoute pour réaliser les analyses laboratoires dont vous avez besoin et vous accompagner dans toutes les étapes de votre projet.

www.metys-inrae-transfert.fr
contact@metys-inrae-transfert.fr

INRAE





Mercredi 27 mars 2024

Aménagement durable des territoires

Quels sont les outils de diagnostic disponibles ?

Modérateur : Benjamin Pauget, Responsable R&D & Associé - Tesora

09h00

Information et conformité de l'état des sols : état des obligations et responsabilités

Laurence Lanoy, Avocat associé - Laurence Lanoy Avocats

09h20

Mesure de la biodiversité des sols par l'ADN environnemental (ADNe)

Amélie Barthès, Responsable commerciale Sud-Ouest - SGS Environmental Analytics France

09h40

Nématofaune : un bioindicateur innovant et opérationnel de diagnostic et de suivi du fonctionnement biologique des sols

Cécile Villenave, Responsable scientifique - Elisol Environnement

10h00

Nouveaux éléments pour optimiser l'approche TRIADE afin de diagnostiquer la santé d'un sol sur la base d'indicateurs relevant de la chimie, de l'écotoxicologie et de l'écologie

- *Lilian Marchand, Ingénieur de recherche - Suez*
- *Florence Baptist, Docteur en écologie - Soltis Environnement*

10h20 Pause café

10h50

Le Projet TRIPODE : Applicabilité et l'opérationnalité de la norme TRIADE : retour d'expérience sur un site pilote

Benjamin Pauget, Responsable R&D - Tesora

11h10

TRANSfert sol-plante des polluants et estimation de l'exposition des Populations en Agriculture Urbaine

Anne Barbillon, Coordinatrice de SecurAgri - AgroParisTech Innovation

11h30

Projet CARTHAGE : Contribution de l'air dans les risques et transferts associés aux HAP en agricultures urbaines : gestion et évaluation – zoom sur les BCF expérimentaux générés
Etienne Catry, Ingénieur Etudes et Recherche - Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques, INERIS

11h50

Agro-Eco Sol, un outil de diagnostic des fonctions du sol basé sur des bioindicateurs permettant un conseil de leviers agronomiques
Justine Le Net, Référente technique agro-urbanisme et biologie des sols - Auréa Agrosiences

12h10

Apport des essais au laboratoire pour la compréhension d'un problème d'arsenic
Pierre-Yves Klein, Président - Estralab

12h30

Evaluation des risques sanitaires d'une multitude de PFAS par application des Top Assays sur les substances polyfluorés (Précurseurs)
Frank Karg, Directeur Scientifique de HPC-Group (INOGEN JV) et Président-CEO de HPC International (France & Allemagne)

12h50 Déjeuner

Innovation : session jeunes chercheurs/créateurs/startups

Modérateur : Laurent Thannberger, Responsable scientifique - Valgo

14h00

Mieux diagnostiquer le potentiel de contamination des territoires industriels : nouvelle approche grâce aux mesures de biodisponibilité
Rachel Seillier, Doctorante - Ecole des Mines de Saint-Etienne

14h20

Retour d'expérience sur l'apport et la prise en compte de la bioaccessibilité orale du plomb sur un territoire pilote
Madeleine Billmann, Doctorante - ADEME

14h40

Vers un outil d'aide à l'interprétation des mesures RHIZOtest pour l'évaluation du transfert sol-plante des contaminants
Alexandra Mille-Egea, Doctorante - Ginger Burgeap, Cirad, Inrae

15h00

Gestion intégrée des eaux pluviales en milieu urbain : Amélioration des performances hydrologiques des sols à faible perméabilité
Khalil Lhamidi, Doctorant - Laboratoire de Génie Civil et géoEnvironnement - Université de Lille

15h20

Caractérisation de la qualité des sols et évaluation des polluants émergents dans les clusters d'incidence de la maladie de Crohn en France

Lara Maria Wakim, Ingénieure de recherche - Université de Lille

15h40 Pause café

Solutions techniques : outils d'aide à la compréhension, mesure

Modérateurs :

- *Laurent Thannberger, Responsable scientifique - Valgo*
- *Pierre-Yves Klein, Président - EstraLab*

16h00

L'application des réseaux mesure de flux numériques, pour un management durable des territoires et l'eau souterraine

Marjan Joris, Spécialiste de comptes - iFLUX (Belgique)

16h20

La question du rayon d'influence en injection : Outils de mesure géophysique

Matthieu Sangely, Expert Métier Advanced Remediation Services - Valgo

16h40

Stratégies basées sur les données pour améliorer la gestion des projets d'assainissement. Application sur un site réel

Ignaco Guridi, Chercheur - SARPI Remediation France

17h00

Macro et microplastiques

Oliver Buchholz, Directeur France - SGS Environmental Analytics B.V.

17h20

Jeunes chercheurs/créateurs/startups

Remise des prix de l'innovation 2024

18h00 Fin de la seconde journée



Wednesday March 27, 2024

Sustainable management of territories

What diagnostic tools are available?

Moderator: Benjamin Pauget, R&D Manager & Partner - Tesora

09h00

Information and compliance of the state of the soil: state of obligations and responsibilities

Laurence Lanoy, Associate Lawyer - Laurence Lanoy Avocats

09h20

Soil biodiversity measures using eDNA

Amélie Barthès, South West Sales Manager - SGS Environmental Analytics France

09h40

Nematofaune: an innovative and operational bioindicator for diagnosis and monitoring the biological functions of soils

Cécile Villenave, Scientific Manager - Elisol Environnement

10h00

New elements to optimize the TRIADE approach to diagnose soil health, based on indicators related to chemistry, ecotoxicology and ecology

- *Lilian Marchand, Research Engineer - Suez*
- *Florence Baptist, Ecology PhD - Soltis Environnement*

10h20 Coffee Break

10h50

The TRIPODE Project: Applicability and operationality of the TRIADE standard: feedback on a pilot site

Benjamin Pauget, R&D Manager - Tesora

11h10

Soil-plant transfer of pollutants and estimation of population exposure in Urban Agriculture

Anne Barbillon, SecurAgri Coordinator - AgroParisTech Innovation

11h30

CARTHAGE project: The contribution of air to risks and transfers associated with PAHs in urban agriculture: focus on bioconcentration factors (BCF)

Etienne Catry, Studies and Research Engineer - National Institute of Industrial Environment and Risks, INERIS

11h50

Agro-Eco Sol, a diagnostic tool for soil functions, based on bioindicators, allowing advice on agronomic levers

Justine Le Net, Agro-urban planning and soil biology technical representative - Auréa Agrosiences

12h10

Contribution of laboratory tests to understand an arsenic issue

Pierre-Yves Klein, President - Estralab

12h30

Health risk assessments for large PFAS cocktails by application of the top assays concerning the poly-fluoro substances (Precursors)

Frank Karg, Scientific Director of HPC-Group (INOGEN JV) and President-CEO of HPC International (France & Germany)

12h50 Lunch

Innovation: young researchers/creators/startups session

Moderator: Laurent Thannberger, Scientific Manager - Valgo

14h00

Better diagnose the contamination potential of industrial territories : new approach based on bioavailability measures

Rachel Seillier, PhD student - Ecole des Mines de Saint-Etienne

14h20

Feedback on the contribution and consideration of the oral bioaccessibility of lead in a pilot area

Madeleine Billmann, PhD student - ADEME

14h40

Towards an interpretation framework of RHIZOtest measurements for evaluating the soil-plant transfer of contaminants

Alexandra Mille-Egea, PhD student - Ginger Burgeap, Cirad, Inrae

15h00

Integrated urban stormwater management: Enhancing Hydrological Performance of Low-Permeability Soils

Khalil Lhamidi, Doctoral Student - Civil Engineering and GeoEnvironment Laboratory - University of Lille

15h20

Characterizing Soil Quality and Assessing Emerging Pollutants in Clusters of Crohn's Disease Incidence in France

Lara Maria Wakim, Research engineer - University of Lille

15h40 Coffee Break

Technical solutions: understanding tools, measuring

Moderators:

- *Laurent Thannberger, Scientific Manager - Valgo*
- *Pierre-Yves Klein, President - EstraLab*

16h00

The application of digital flow measurement networks, for sustainable management of territories and groundwater

Marjan Joris, Account Specialist - iFLUX (Belgium)

16h20

The question of the radius of influence when injecting: Geophysical measurement tools

Matthieu Sangely, Expert Métier Advanced Remediation Services - Valgo

16h40

Data-driven strategies for improving remediation project management. Application in a real site

Ignaco Guridi, Researcher - SARPI Remediation France

17h00

Macro and microplastics

Oliver Buchholz, Country Manager France - SGS Environmental Analytics B.V.

17h20

Young researchers/creators/startups2024

Intersol Innovation Awards Ceremony

18h00 End of Day of Two



Information et conformité de l'état des sols : état des obligations et responsabilités

Soil condition information and compliance obligations



Laurence Lanoy
Docteur en droit
Avocat / Spécialiste en droit de
l'environnement
3, rue Antoine Arnauld • 75016
PARIS

Tél. +33 (0)1 45 20 13 10 •
Fax : +33 (0)1 45 20 14 59 •
llanoy@laurencelanoy.com

Maitriser l'impact des exploitations industrielles sur les sols est une priorité nationale et européenne de longue date. On considère aujourd'hui en effet plus de 30% des sols mondiaux et environ 70% des sols européens comme dégradés ou en mauvais état avec un impact sanitaire important. La surveillance et le suivi étroit des sols, qui se régénèrent très lentement après avoir subi des pollutions, constitue un enjeu majeur pour préserver cette ressource fragile mais indispensable.

L'encadrement contractuel de la cession des sites pollués a pris une dimension déterminante pour servir cet objectif, avec notamment le renforcement de l'obligation d'information relative aux risques et à la pollution des sols, introduite par la loi Climat et Résilience du 22 août 2021. Les modalités d'information des acquéreurs et des locataires en matière de risques et de pollution de sols ont été ainsi définies dans le décret du 1^{er} octobre 2022 applicable depuis le 1^{er} janvier 2023. Elles complètent le rendu obligatoire d'attestations diverses, dont l'attestation ATTES, qui garantit la compatibilité entre l'état des sols et l'usage futur du site.

Ainsi, la rédaction de clauses relatives à la pollution des sols plus transparentes dans les contrats de vente s'appuyant sur des diagnostics et certifications environnementales solides permet une meilleure maîtrise des risques environnementaux. Pourtant l'encadrement actuel est encore insuffisant et fait l'objet de diverses propositions parlementaires, à l'image de la proposition de loi déposée le 12 octobre dernier à l'Assemblée nationale, visant à instaurer un diagnostic de la santé des sols des terrains agricoles naturels et forestiers, indépendamment de l'activité qui s'y exerce.

Laurence Lanoy, avocat spécialiste en droit de l'environnement, exposera les réglementations applicables à l'information et la conformité de l'état des sols et celles à venir au vu des objectifs affichés des institutions européennes de préservation de la biodiversité, avant de présenter les enjeux relatifs à leur application et les solutions envisageables pour la protection des sites.

* * *

Avocat depuis 1990 et Docteur en droit, Laurence Lanoy a développé une pratique approfondie en droit de l'environnement avant de fonder en 2005 le cabinet Laurence Lanoy Avocats. Elle conseille et assiste des entreprises nationales et internationales, des collectivités publiques et des cabinets d'avocats internationaux notamment en droit de l'environnement et du développement durable, en droit minier et en droit de l'énergie.

SOIL BIODIVERSITY BY EDNA

Dr. Amélie BARTHÈS, Ingénieure Commerciale

SGS Environmental Analytics France

99-101 Avenue Louis Roche

92600 Gennevilliers France

Mobile +33 7 71 43 50 76 / amelie.barthes@sgs.com

www.sgs.com/analytics-fr

Summary :

The biodiversity of soil can provide a great deal of information about its status and its quality. Using eDNA metagenomics we can profile the species present there. This profiling can include taxonomic groups of great importance for soil quality and health, from bacteria to plants. After taxonomic identification, we can extract further information by assigning metabolic functions to the microbes, allowing us to understand the capability to degrade some pollutants. Based on a complete concrete case studies in Europe, we will show how eDNA can help us to understand the state of soil by studying his biodiversity.

Nématofaune : un bioindicateur innovant et opérationnel de diagnostic et de suivi du fonctionnement biologique des sols

Cécile Villenave - Camille Chauvin – ELISOL environnement

Mots-clé : *Indicateurs de qualité, biodiversité, bioindicateurs, Norme ISO, référentiel, base de données, suivi, bilan environnemental, caractérisation des risques sanitaires et environnementaux*

Objectifs :

Dans le contexte du diagnostic d'anciennes friches industrielles, urbaines et/ou en cours de réhabilitation, la nématofaune permet de mesurer l'état du fonctionnement biologique du sol. Cette méthode de bioindication peut être utilisée pour le diagnostic d'une parcelle isolée ou pour suivre la dynamique de re-fonctionnalisation des sols, c'est-à-dire de leur capacité à recueillir de la biodiversité et assurer des fonctions. L'étude de diverses situations sur le territoire national français a permis de développer un référentiel d'interprétation dédié aux anthroposols et sols construits. Cette présentation propose de faire un point sur la genèse de ce référentiel et son utilisation actuelle dans le cadre d'études publiques et privées récemment réalisées.

Les nématodes du sol sont des organismes pluricellulaires (métazoaires) microscopiques, très abondants et diversifiés dans les sols ; ils sont utilisés comme bio-indicateurs de l'état biologique des sols depuis les années 1990. L'analyse de ces organismes par une méthode normée (ISO 23611-4) et le calcul de différents indices nématofauniques basés sur l'abondance et la composition des communautés de nématodes permettent de discuter des flux de nutriments, de la stabilité du milieu ou de la diversité des organismes dans le sol. ELISOL environnement a validé l'utilisation de ces organismes dans des démonstrateurs et sur sites au cours de plusieurs projets de recherche (BIOTECHNOSOL, APPOLINE, DANE, BIOTUBES...) et les utilise en routine pour l'évaluation de sites en cours de re fonctionnalisation ou le diagnostic de parcelles isolées, en complément de mesures de terrain et d'analyses physico-chimiques. Sur la base de ces résultats (>800 analyses sur le territoire national), ELISOL environnement a constitué un référentiel d'interprétation du fonctionnement biologique des anthroposols (sols construits, sols déplacés sols reconstruits, sols urbains). Ce référentiel d'interprétation a été développé à l'attention des usagers, et renseigne sur l'intensité des principales fonctions écologiques des sols reflétées par les résultats d'analyses de la nématofaune (fertilité biologique, régulation biologique, support de biodiversité, dynamique de minéralisation du carbone, pression parasitaire). Ces fonctions se présentent comme des scores allant de 0 à 10, 10 étant la meilleure note.

Le suivi de sites en cours de réhabilitation indique que diverses trajectoires de re-fonctionnalisation des sols peuvent être obtenues en fonction des méthodes de réhabilitation, des matériaux utilisés, de l'âge de mise en place, de l'état initial et de l'usage des sols. Des résultats d'état des lieux de fonctionnement biologique du sol de parcelles isolées en milieux urbains et/ou pollués ainsi que des exemples de trajectoires de re fonctionnalisation de sites en cours de réhabilitation seront présentés.

Nouveaux éléments pour optimiser l'approche TRIADE afin de diagnostiquer la santé d'un sol sur la base d'indicateurs relevant de la chimie, de l'écotoxicologie et de l'écologie

Lilian Marchand¹, **Florence Baptist**², Aurélie Bonin³, Eva Bellemain³, Thomas Pommier⁴, Cecile Grand⁵, Emmanuelle Oppeneau¹, Maxime Louzon⁶, Aymeric Besse⁷, Maxime Bouyer⁷, Nadège Oustrière⁷

En gras : les speakers

¹ SUEZ le LyRE – 15 avenue Leonard de Vinci – 33600 Pessac - France

² SOLTIS Environnement - 80 Boulevard Franklin Roosevelt – 38500 Voiron - France

³ ARGALY - Cleanspace, 354 voie Magellan – Alpespace – 73800 Saint Hélène du Lac - France

⁴ UMR1418 LEM Ecologie Microbienne - Université Claude Bernard Lyon 1 - 43 BOULEVARD du 11 Novembre 1918 - 69622 Villeurbanne - France

⁵ ADEME - Service Sitésol – Sécurisation et reconversion des friches polluées 20 Avenue du Grésillé – 49004 ANGERS - France

⁶ ENVISOL - 2 rue Hector Berlioz – 38110 La tour du Pin - France

⁷ BORDEAUX METROPOLE - Pôle patrimoine végétal et biodiversité - Esplanade Charles-de-Gaulle 33076 Bordeaux – France

A ce jour, les diagnostics environnementaux dans le domaine des sites et sols pollués (SSP) évaluent principalement la qualité d'un sol par le biais d'analyses physico-chimiques. Sur cette base, des volumes et surfaces conséquents de sol sont déclarés « pollués » et traités comme tel sans que l'on connaisse réellement leur écotoxicité associée, ni leur potentiel écologique. Or l'impact de la santé d'un sol ne peut pas être correctement évaluée à la seule aune d'analyses physico-chimiques. Ce diagnostic requiert une approche plus holistique. C'est ce que propose l'approche TRIADE (NF ISO 19204), basée sur trois « éléments de preuve » (LoE) : la physico-chimie, l'écotoxicologie et l'écologie pour réaliser une évaluation des risques pour les écosystèmes (ERE).

Actuellement, cette approche est peu utilisée dans le domaine des sites et sols pollués, notamment à cause d'un déficit de connaissances et de tests disponibles pour évaluer les désordres occasionnés par une perturbation anthropique, mais également à cause de difficultés inhérentes aux calculs TRIADE.

Le projet DIVA (APR ADEME GESIPOL, 2022-2025) a plusieurs objectifs pour faciliter la prise en main de l'approche TRIADE : (i) proposer une méthodologie d'interprétation des résultats TRIADE plus simple et plus légère que la méthodologie actuelle; (ii) tester et développer une batterie d'indicateurs basés sur l'ADN environnemental pour affiner l'évaluation de la LoE « Ecologie du sol » et (iii) promouvoir l'utilisation d'indicateurs agro/pédo pour compléter les conclusions de l'analyse TRIADE.

L'outil proposé offrira – à terme – une grille de lecture multi-paramétrique pour évaluer la « santé d'un sol » dégradé ou réhabilité, par comparaison à un sol considéré « en bon état ». Il permettra également de mesurer avec précision les impacts positifs et négatifs d'une opération de réhabilitation ou reconstruction de sol.

New elements to optimize the TRIADE approach to diagnose soil health, based on indicators related to chemistry, ecotoxicology and ecology

Lilian Marchand¹, **Florence Baptist**², Aurélie Bonin³, Eva Bellemain³, Thomas Pommier⁴, Cecile Grand⁵, Emmanuelle Oppeneau¹, Maxime Louzon⁶, Aymeric Besse⁷, Maxime Bouyer⁷, Nadège Oustrière⁷

Bold : speakers

¹ SUEZ le LyRE – 15 avenue Leonard de Vinci – 33600 Pessac - France

² SOLTIS Environnement - 80 Boulevard Franklin Roosevelt – 38500 Voiron - France

³ ARGALY - Cleanspace, 354 voie Magellan – Alpespace – 73800 Saint Hélène du Lac - France

⁴ UMR1418 LEM Ecologie Microbienne - Université Claude Bernard Lyon 1 - 43 BOULEVARD du 11 Novembre 1918 - 69622 Villeurbanne - France

⁵ ADEME - Service Sitésol – Sécurisation et reconversion des friches polluées 20 Avenue du Grésillé – 49004 ANGERS - France

⁶ ENVISOL - 2 rue Hector Berlioz – 38110 La tour du Pin - France

⁷ BORDEAUX METROPOLE - Pôle patrimoine végétal et biodiversité - Esplanade Charles-de-Gaulle 33076 Bordeaux - France

To date, environmental diagnoses in the field of polluted soils mainly assess soil quality by means of physico-chemical analyses. On this basis, large volumes and areas of soil are declared 'polluted' and treated as such, without any real knowledge of the associated ecotoxicity or ecological potential. Yet the impact of soil health cannot be properly assessed based on physico-chemical analyses alone. This diagnosis requires a more holistic approach. This is what is proposed by the TRIAD approach (NF ISO 19204), which is based on three "lines of evidence" (LoE): physico-chemistry, ecotoxicology, and ecology to carry out an ecosystem risk assessment (ERA).

Currently, this approach is not widely used in the field of polluted sites and soils, mainly because of a lack of knowledge and tests available to assess the damage caused by anthropogenic disturbance, but also because of the difficulties inherent in TRIADE calculations.

The DIVA project (Call for research proposal ADEME GESIPOL, 2022-2025) has several objectives to make the TRIADE approach easier to use: (i) to propose a simpler and lighter methodology for interpreting TRIADE results than the current one; (ii) to test and develop a battery of indicators based on environmental DNA to refine the evaluation of the LoE 'soil ecology'; and (iii) to promote the use of agro/pedo indicators to supplement the conclusions of the TRIADE analysis.

The proposed tool will provide in the mid-term a multi-parametric grid for assessing the 'health' of a degraded or rehabilitated soil compared with a soil considered to be in 'good condition'. It will also make it possible to accurately measure the positive and negative impacts of a soil rehabilitation or reconstruction operation.

Le Projet TRIPODE

Applicabilité et l'opérationnalité de la norme TRIADE : retour d'expérience sur un site Pilote

B. Pauget¹, N. Manier², M. Noël¹, V. Bert², N. Pucheux (Coord.)²

benjamin.pauget@tesora.fr

¹ TESORA, 41 Rue Périer, 92120 Montrouge ; ² INERIS Rue Jacques Taffanel, 60550 Verneuil-en-Halatte ; ³ EFP Nord-Pas-De-Calais, 594 Av. Willy Brandt, 59777 Lille

De nombreuses friches présentent une situation de blocage de reconversion d'usage lorsque la valeur du foncier est dégradée (site orphelin, milieu rural ou de faible activité socio-économique). Il existe pourtant plusieurs voies de valorisation en dehors de la réalisation d'habitations. Ainsi, certaines friches peuvent trouver une seconde vie à travers des projets de revégétalisations favorisant la biodiversité et leur intégration dans le paysage. Le blocage vient alors de la difficulté à se prononcer vis-à-vis du risque qu'elles représentent pour les écosystèmes.

Le projet TRIPODE a pour objectif de fournir aux acteurs des sites et sols pollués un outil opérationnel d'évaluation du risque pour les écosystèmes (ERE). Pour cela, il prévoit d'améliorer la méthode décrite dans la norme ISO 19204 (approche TRIADE de la qualité du sol) et d'assurer son opérationnalité. Un second objectif porte sur la formulation des recommandations d'aspect pratique ayant trait à la mise en application de la norme et à destination des bureaux d'étude. Le but est d'assurer la transférabilité de la norme aux acteurs de l'évaluation des risques sanitaires et environnementaux site pour garantir son opérabilité et son acceptabilité par les maîtres d'ouvrages et l'administration.

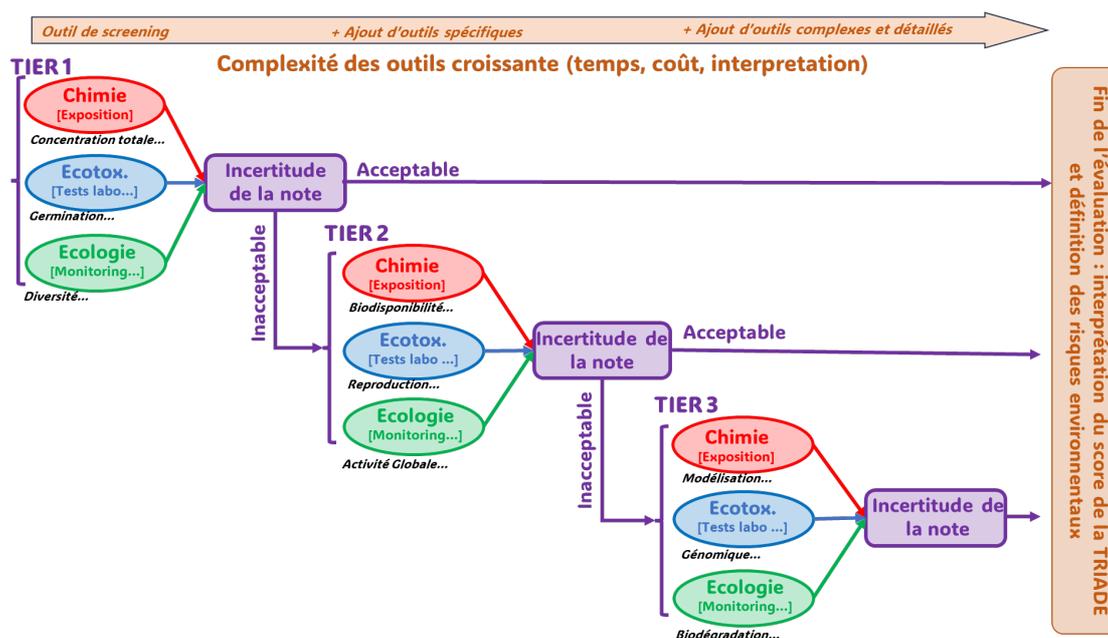


Figure 1 : les trois approches du risque pour les écosystèmes utilisés dans la norme ISO 19204 TRIADE

La méthodologie TRIADE est une méthodologie d'évaluation des risques pour les écosystèmes décrite dans la norme ISO 19204-2017. C'est une approche complète et structurée qui permet de mettre en évidence un risque environnemental lié à la présence de contaminant dans les sols. Cette procédure permet d'identifier, d'évaluer et de gérer les impacts potentiels sur les écosystèmes terrestres, en prenant en compte les caractéristiques propres au site et les substances chimiques présentes. Cette évaluation repose sur trois piliers (approches) fondamentaux

- L'approche chimique consiste à caractériser et quantifier les contaminants présents dans les sols du site d'étude.

- L'évaluation écotoxicologique des sols est principalement réalisé grâce à des essais en laboratoire pour déterminer la toxicité d'un sol pour une ou plusieurs espèce(s) en caractérisant l'effet toxique.

- L'approche écologique consiste à évaluer la qualité écologique du milieu d'étude. Cette approche va intégrer l'ensemble des voies d'exposition des organismes aux contaminants présents dans les sols.

Une fois ces trois approches réalisées, les données recueillies sont intégrées et confrontées entre elles pour évaluer le niveau de risque pour les écosystèmes (ERE) associé à la contamination des sols. L'objectif de cette confrontation est de travailler dans une optique de faisceau de preuve (Line of Evidence, LoE). Si tous les indicateurs des différentes approches apportent des conclusion similaire, l'évaluation des risques environnementaux est alors conclusive (absence ou présence de risques). Si des divergences notables entre les différentes approches il conviendra alors de poursuivre la démarche en effectuant une itération avec des indicateurs plus complexe.

Dans cadre du projet TRIPODE, la TRIADE a été réalisée sur 2 sites pilotes. Sur la base de cette expérimentation, nous proposons de présenter et de discuter de la méthodologie appliquée pour caractériser les risques environnementaux : Identification d'un site témoin, choix des indicateurs, méthode d'intégration dans la TRIADE, calcul de l'indice de risque et de l'incertitude associée...

Ce retour d'expérience sera complété par la rédaction d'un guide opérationnel à destination des acteurs de la reconversion des SSP pour aider à la réalisation des études de type TRIADE.

TRANSPAU : TRANSfert sol-plante des polluants et estimation de l'exposition des Populations en Agriculture Urbaine

A. Barbillon^{1,2}, O. Belhadji¹, B. Pauget³, A. Pelfrène⁴,
contact : anne.barbillon@agroparistech.fr

¹ SecurAgri, AgroParisTech Innovation, 22 place de l'Agronomie, 91120, Palaiseau, France

² Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, UMR SADAPT, 91120, Palaiseau, France.

³ TESORA, 41 Rue Périer, 92120 Montrouge, France

⁴ Univ. Lille, IMT Nord Europe, Univ. Artois, Junia, ULR 4515 – LGCgE, Laboratoire de Génie Civil et géo-Environnement, 48 Boulevard Vauban, 59000, Lille, France

Mots clés : Agriculture urbaine, bioaccessibilité, pollution des sols, évaluation des risques sanitaires.

L'Agriculture Urbaine (AU) se développe partout en France et rend de nombreux services, notamment en participant à la réduction des îlots de chaleur urbains, en favorisant le lien social, l'activité physique, et l'accès à des fruits et légumes frais. Pour autant, l'AU fait face à un problème d'ampleur en ville : la présence de polluants organiques (ex : les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques – HAP) et inorganiques (ex : les Eléments Traces Métalliques – ETM), qui s'accumulent notamment dans les sols. Ces polluants peuvent être assimilés par les plantes et peuvent migrer dans différents compartiments de l'environnement. Les agriculteurs urbains, jardiniers, consommateurs, adultes et enfants, risquent alors d'y être exposés, notamment par la consommation des légumes autoproduits mais aussi de manière non négligeable par l'ingestion de particules de sol (lors du travail du sol et/ou port des mains à la bouche).

Bien que l'influence des paramètres environnementaux (pratiques culturales, paramètres des sols...) sur les transferts de polluants (organique et/ou inorganiques) du sol vers les plantes cultivées ou l'homme soit documentée, il existe des lacunes quant à leur intégration dans les calculs de risques sanitaires. Pour poser un réel diagnostic de risques, la concentration en polluants des sols mais aussi des végétaux consommés est une information importante mais reste toutefois insuffisante. Dans une démarche d'évaluation plus pertinente de l'exposition des populations et *in fine* du risque sanitaire, la compréhension des mécanismes d'absorption digestive des polluants, ou biodisponibilité orale, en lien avec l'ingestion de particules de sols et la consommation de légumes est un atout indéniable. Cette biodisponibilité peut être estimée grâce à la mesure de la bioaccessibilité orale (i.e. fraction libérée dans les sucs gastrointestinaux humains et donc disponible pour l'absorption). Ce paramètre appliqué en tant que facteur correctif de la concentration totale permet une estimation plus réaliste de l'exposition. En dépit de nombreux travaux entrepris en France pour estimer la biodisponibilité par la mesure de la bioaccessibilité orale des ETM dans la matrice « sol » au moyen de tests *in vitro*, celle-ci n'est pas encore suffisamment intégrée comme outil d'évaluation des risques et de gestion des sites. De plus, la mesure de la bioaccessibilité orale des ETM dans la matrice « légumes » est étudiée dans la littérature mais peu appliquée en France.

Face à ces enjeux, TRANSPAU, projet coordonné par JUNIA, avec SecurAgri et Tesora en partenaires, et soutenu financièrement par l'ADEME, vise à répondre à deux objectifs :

- Etudier les transferts sol-plante des ETM (et plus spécifiquement de l'arsenic) et des HAP pour différents types de couples sol-légumes ;

- Mieux caractériser l'exposition des populations aux pollutions rencontrées dans les sols et les légumes en AU en prenant en compte la bioaccessibilité des ETM (Pb, Cd, As, Cr, Ni) dans les sols et dans les légumes.

Ce sont 5 fermes urbaines franciliennes qui ont été sélectionnées en 2023, présentant des contaminations multiples. Au total, 15 analyses de sol en 8 ETM, 16 HAP et propriétés agronomiques ont été réalisées sur ces sites et 30 échantillons de fruits et légumes ont été collectés, en vue d'analyser les polluants suivants : Pb, Cd, As, Cu, Hg, Zn, Cr et Ni, HAP. Des tests de bioaccessibilité dans les sols et les légumes ont également été réalisés pour les ETM.

Projet CARTHAGE

Contribution de l'Air dans les Risques et Transferts associés aux HAP en Agricultures urbaines : Gestion et Evaluation – zoom sur les BCF expérimentaux générés

Etienne CATRY, Karen PERRONNET, Roseline BONNARD, Ineris, Parc Technologique Alata, Verneuil-en-Halatte (60)

Anne BARBILLON, AgroParisTech, 22 place de l'Agronomie, Palaiseau (91)

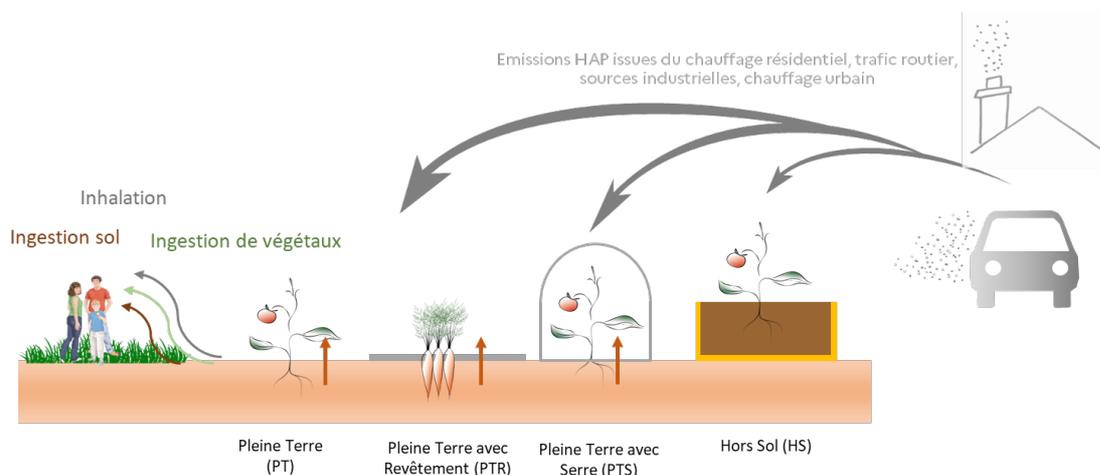
MOTS-CLES : HAP, sol, air, végétaux potagers, milieu urbain, coefficient de transfert (BCF), modélisation des transferts et des expositions

Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) sont des polluants présents dans les environnements urbains. Ils sont émis dans l'atmosphère à la fois sous forme de gaz et de particules à l'issue de combustions incomplètes. La source anthropique principale d'émissions est le chauffage résidentiel puis dans une moindre mesure le trafic routier. Leur impact sanitaire est relativement bien documenté pour les 16 HAP classiquement analysés.

Le projet de recherche CARTHAGE (2018-2023) a étudié les mécanismes de transfert de HAP de l'environnement (sols, air...) vers les plantes potagères, ainsi que l'impact de quatre modalités de cultures et de préparation sur l'exposition et les risques sanitaires liés aux HAP pour les travailleurs et usagers de trois micro-fermes urbaines franciliennes, ainsi que pour les consommateurs des végétaux cultivés. Le projet CARTHAGE piloté par l'Ineris en collaboration avec AgroParisTech est issu de l'appel à projet PRIMEQUAL/Ademe.

Le projet évalue, en conditions réelles sur des micro-fermes, la **contribution de la pollution atmosphérique à la contamination des végétaux** en HAP, en distinguant les **différents mécanismes de transferts** tels que les transferts foliaire et racinaire **pour plus de 16 HAP**. Les expérimentations visent à générer des facteurs de bioconcentration sol-plante et air-plante. Le projet émet également des recommandations à destination des porteurs de projet pour réduire les risques sanitaires des usagers.

Les niveaux de pollution aux HAP (> 16 composés), jusqu'ici peu étudiés dans un contexte urbain, sont ainsi évalués dans les sols superficiels, les végétaux potagers, l'air avec notamment la mise en œuvre d'un préleveur automatique visant à caractériser les formes gazeuses et particulaires.

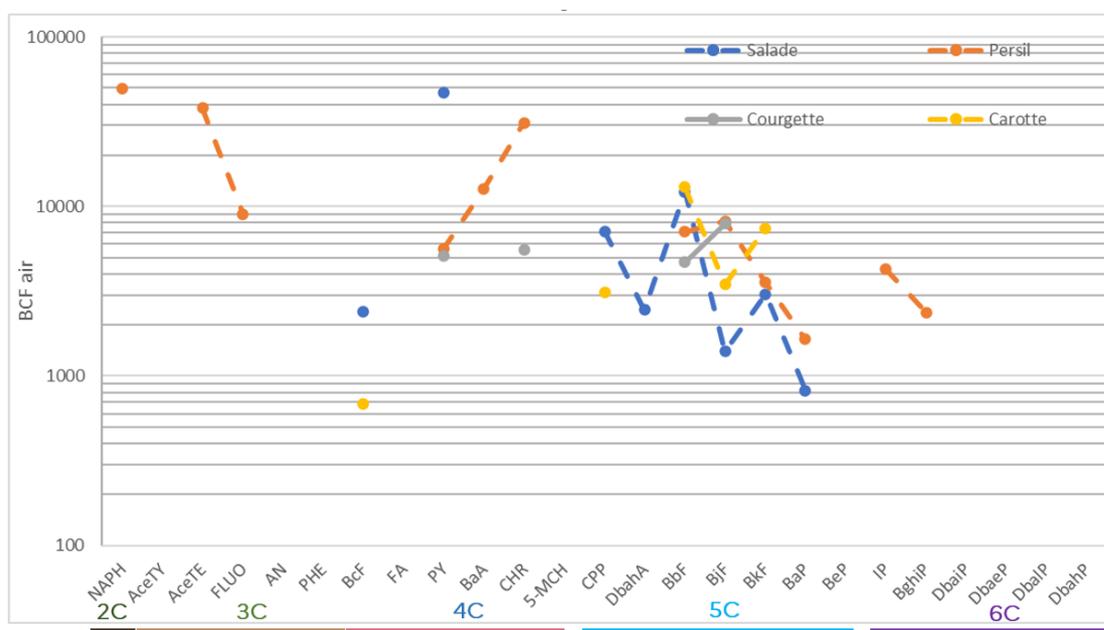


Sur les 3 micro-fermes urbaines, les salades et le persil présentaient des teneurs plus élevées en HAP que les courgettes et carottes qui présentaient des teneurs faibles, parfois non quantifiables par le laboratoire. La contribution du sol et de l'air diffère selon le végétal et les HAP.

Ainsi, des coefficients de bioconcentration BCF sol-plante et air-plante sont calculés dès lors que les HAP sont quantifiés dans le sol, l'air et le végétal. La méthode proposée consiste à comparer les concentrations mesurées dans des végétaux ayant poussé dans des sols ayant deux niveaux de contamination en HAP différents (pleine terre en place versus hors sol avec de la terre moins polluée), afin de déterminer les contributions de chaque compartiment air et sol dans la contamination du végétal. Les coefficients BCF sont ensuite déduits en supposant une relation linéaire entre les concentrations dans chaque compartiment et dans les végétaux.

Au total, 49 BCF sol (16 pour la salade, 14 pour le persil, 8 pour la courgette et 11 pour la carotte) et 29 BCF air (8 pour la salade, 12 pour le persil, 4 pour la courgette et 5 pour la carotte – Figure a) ont été calculés.

Figure a : BCFair calculé expérimentalement sur les 3 micro-fermes (valeurs moyennes – échelle log)



Les contributions des deux compartiments sol et air dans la contamination des végétaux sont étudiées tout particulièrement et il ressort que chacun des compartiments apporte une contribution significative. Si cela était attendu pour les légumes feuille voire les légumes fruits, il est surprenant de constater que les carottes, légume racine, subissent bien sûr une contamination par le sol, mais également une contamination par l'air qui n'est pas à négliger.

Concernant les BCFair (Figure a), une tendance se dégage pour les légumes feuilles (salade et persil) avec une diminution globale des BCF lorsque le nombre de cycles aromatiques augmente. Cette tendance, qui va à l'encontre de ce que suggère la corrélation de Bacci (1992) n'est pas observée pour les courgettes et les carottes sur le peu de BCF déduits des mesures.

En ce qui concerne les BCFsol, il semble difficile de dégager une tendance nette concernant l'évolution des valeurs de BCF en fonction du nombre de cycles aromatiques. Les BCFsol les plus importants sont calculés pour la salade, où on observe plus d'un ordre de grandeur d'écart avec les autres végétaux.

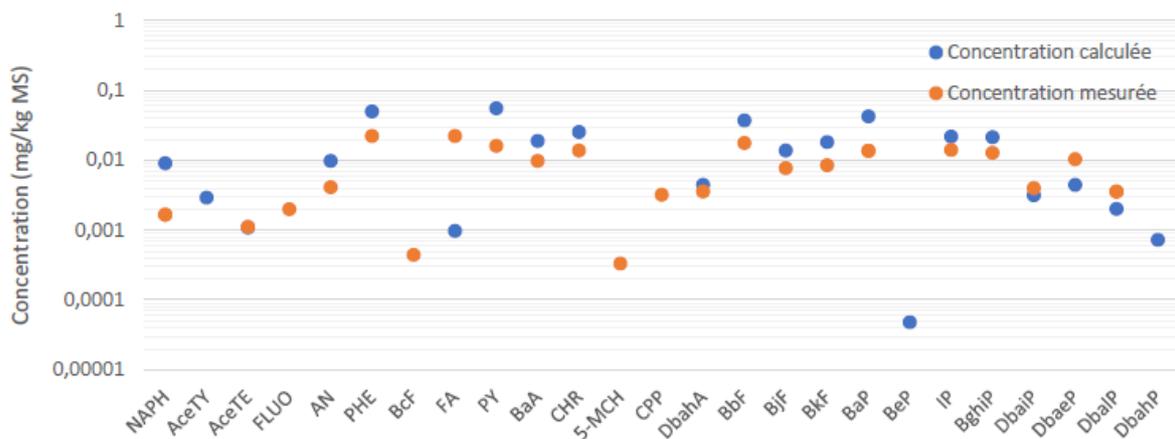
A terme, ces BCF expérimentaux pourront permettre de calculer des ordres de grandeur de concentrations dans les végétaux à partir des concentrations dans le sol et dans l'air (études d'évaluation sanitaire prospectives).

Dans un second temps, les valeurs des concentrations mesurées dans les végétaux sont comparées avec des concentrations calculées aux moyens de modèles empiriques. Ces modèles estiment les coefficients de bioconcentration à partir des propriétés physico-chimiques des substances tels que le log Kow.

La salade affiche des BCF air et sol déduits des mesures supérieurs aux BCF estimés par les relations empiriques de MODUL'ERS. Les BCFair du persil et de la courgette déduits des mesures sont également supérieurs à ceux calculés par MODUL'ERS. En revanche, le persil, la carotte et la courgette ont des BCF sol déduits des mesures inférieurs aux BCF estimés par MODUL'ERS.

Enfin, les concentrations modélisées dans les végétaux grâce aux modèles prédictifs sont du même ordre de grandeur que celles mesurées expérimentalement, tout en étant presque systématiquement supérieures (Figure b pour le persil). Le cas de la courgette est un peu à part puisque dans ce cas, les modèles calculent des concentrations 10 à 100 fois supérieures à celles mesurées. La modélisation, reposant sur plusieurs équations simplifiées et indépendantes, ne peut être le reflet de la complexité des mécanismes de transfert au niveau du végétal.

Figure b : Cas du persil – concentrations calculées et mesurées expérimentalement sur 1 site (échelle log)



Bien que les valeurs modélisées, proches de celles obtenues expérimentalement peuvent être le fruit de compensations calculatoires non expliquées à ce stade, le projet Carthage a permis de valider l'utilisation des modèles de MODUL'ERS pour les HAP et les quatre végétaux testés dans un contexte urbain. Ils permettent en effet de retrouver par le calcul les ordres de grandeur de concentrations dans les végétaux mesurés expérimentalement. La modélisation conduit, en l'absence de concentrations mesurées dans les végétaux, à une approche sécuritaire dans le cadre d'une évaluation des risques sanitaires.

Agro-Eco Sol, a soil function diagnostic tool based on bioindicators to provide advice on agronomic practices

Justine LE NET* (Auréa AgroSciences), Matthieu VALE (Auréa AgroSciences)

Justine Le Net - Référente technique Agro-urbanisme et Biologie des sols -

Auréa AgroSciences – j.lenet@aurea.eu

Keywords: Soil bioindicators, agroecological diagnostics, ecosystem services, soil analysis

At a time of agro-ecological transition and climate change, the expectations placed on soils to provide services are more numerous and more precise. In addition to services linked to crop production (supply of mineral elements, regulation of pests and diseases, structural stability, etc.), there is now a growing interest in the soil's role in carbon storage, maintaining biodiversity, regulating air and water quality, etc.

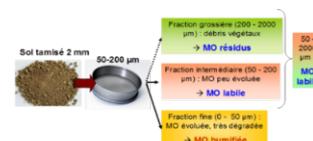
To maximize these soil services, diagnostic tools are needed to assess current levels and potential for improvement. Relevant tools already exist to assess the physical, chemical and nutrient fertility of soils, such as soil analysis or surface structural condition diagnostics. With regard to organo-biological fertility, numerous research projects and programs over the past 30 years have led to significant advances in the field of bioindicators. Today, we have measurement methods that are sensitive, reproducible and, in some cases, standardized. These methods concern both indicators linked to the various soil carbon and nitrogen compartments, and indicators of the abundance, activity and diversity of soil organisms.

A measurement method can only become an indicator if it has interpretation references (range of variation, impact of pedoclimate and cropping practices) and also links with soil functions. Significant progress has been made in this area, and many indicators now have data on the link between indicators and functions.

Capitalizing on all these advances, the offer resulting from the Agro-Eco Sol ¹ project provides comprehensive agronomic expertise, from sampling to diagnosis and operational advice on managing the fertility of agricultural soils. It is designed to facilitate access to new soil quality bioindicators (Figure 1), in addition to conventional physico-chemical parameters and structural characterization.

Les différents compartiments du carbone et de l'azote du sol

(carbone actif extrait au KMnO₄, fractionnement granulométrique de la MO, azote minéralisable (APM, ABM, incubation), carbone minéralisable (incubation), carbone microbien)



L'activité des micro-organismes du sol

(activités enzymatiques **C** (beta-Glucosidase, beta-Galactosidase), **N** (Uréase, Arylamidase, Protéase), **P** (Phosphatases), **S** (Arylsulfatase))



L'abondance et la diversité des organismes du sol

- méthodes moléculaires : micro-organismes (bactéries, champignons),
- identification morphologique : microfaune (nématodes), mésofaune (collemboles et acariens), macrofaune (carabidae et vers de terre).



Figure 1: Bioindicators in the Agro-Eco Sol offer

The Agro-Eco Sol offer provides a two-step interpretation of bioindicators:

- The **relative positioning** of a measurement within a distribution, for all biological indicators (Figure 2);
- The **functional interpretation**, leading to advice for the farmer.

Relative positioning is based on a qualitative interpretation of the parcel's biological indicator values in relation to a geographical distribution and/or cross-referenced by use (field crops, meadows, vineyards, etc.). It is accompanied by models that take pedoclimate into account for molecular microbiology indicators, as well as functional potentials for earthworms.

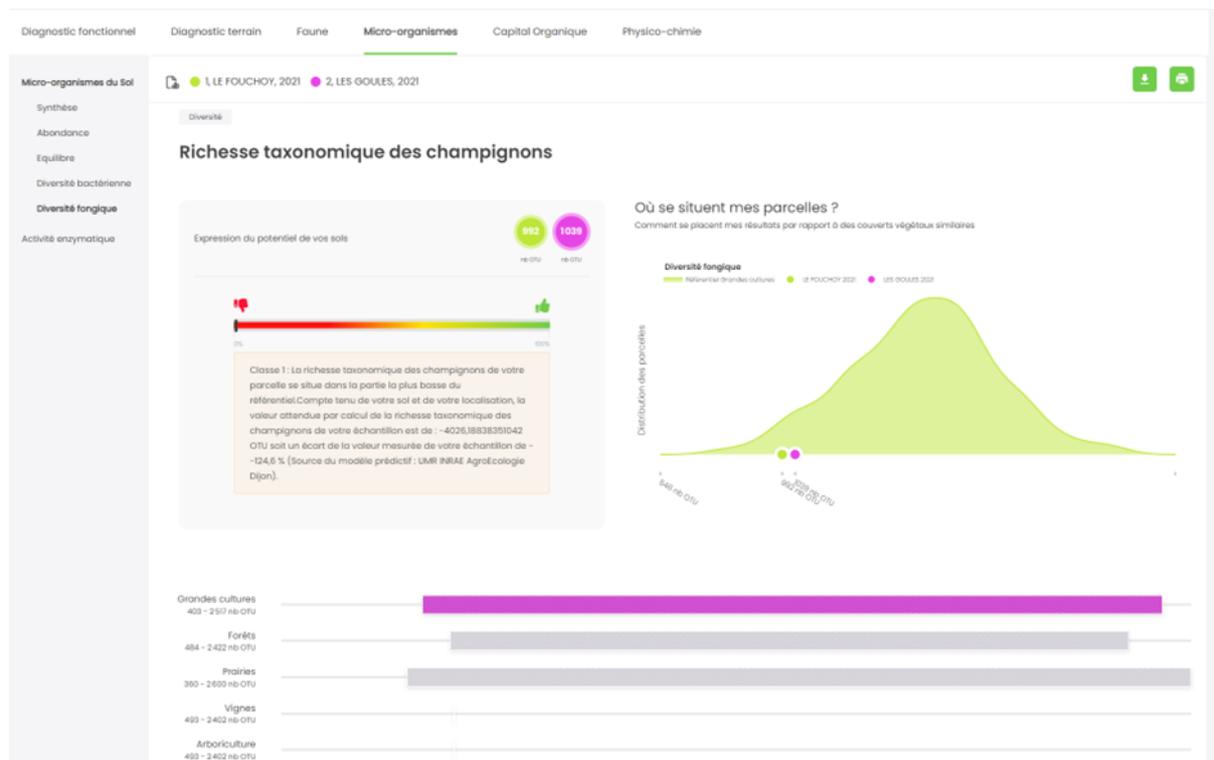


Figure 2: Example of results display for relative positioning

By comparing the levels achieved as a result of the measurements with the expected and desirable levels adapted to the parcel, a level of satisfaction is obtained for each soil function: this is the functional diagnosis.

Advice is then developed by triggering agronomic practices in the case of unsatisfactory diagnosis of functions. In the case of a satisfactory diagnosis, the advice points to beneficial practices to be maintained. These practices are adapted to the context of the parcel. Some forty practices are currently available, most of them based on agroecology, and belong to 8 groups: organic inputs, mineral inputs, cover crop management, crop residue management, crop succession, specific practices for carbon storage, tillage, water management and landscape management.

Functional diagnostic and advice are currently adapted to the agricultural context (field crops). Analysis methods are already available for all types of use. Interpretation guidelines still need to be consolidated for non-agricultural uses.

¹ project led by Auréa AgroSciences, in partnership with INRAE and ARVALIS, and supported by the French program « Investments for the future » operated by ADEME (the French Environment and Energy Management Agency)



Apport des essais laboratoire pour la compréhension d'une problématique d'Arsenic Contribution of laboratory experiments to understanding an arsenic issue.

Pierre-Yves KLEIN, EstraLab, 102 route de Limours, 78470 Saint Rémy les Chevreuse
Mail : pierre-yves.klein@estralab.com / Tel : 07 85 97 01 66

Caractère innovant du sujet proposé : comment le PCT devient un outil de compréhension des phénomènes et de développement de solutions.

Mots clés : PCT, Arsenic, Essais laboratoire

Objectif :

En 2017, la mise à jour de la politique nationale de gestion des sites et sols a introduit la notion de Plan de Conception de Travaux et la mise en œuvre d'essais pilotes laboratoires et terrain tels que décrits dans la norme NF X 31-620-3. L'enjeu de ces essais est de sécuriser le choix de la stratégie technique de dépollution.

L'exposé vise à montrer que ces essais peuvent avoir un bénéfice plus large qu'une simple validation de techniques de traitement : ils permettent de mieux comprendre les phénomènes en jeu, d'apporter des éléments de solution technique plus éclairés et ainsi d'orienter les stratégies opérationnelles.

L'exposé présentera ainsi plusieurs exemples d'approches qui ont permis de contribuer à la compréhension des phénomènes en jeu dans des milieux complexes.

Contenu :

Dans le cadre d'une première problématique, l'origine de la présence d'arsenic dans les eaux souterraines d'un sol alluvionnaire a pu être démontrée par des essais au laboratoire. Ainsi, il a été montré qu'en simulant les conditions physico chimiques des eaux du site, l'arsenic naturel du sol pouvait être mobilisé sous la forme d'arsenic V et présenter des concentrations dans les eaux significatives et en cohérence avec les constats du site.

Dans le cadre d'une deuxième problématique Arsenic, des essais de neutralisation par bullage de CO₂ ont été mis en œuvre et suivis en termes d'efficacité sur le pH, la solubilité des espèces, et les effets annexes. Le monitoring de ce traitement d'apparence simple a permis d'identifier certains phénomènes complexes en jeu dans ce matériau conduisant à l'apparition de phases amorphes associées à une baisse limitée du pH. Des phénomènes biologiques anaérobie de type bactérie sulfato réductrice ont également pu être identifiés.

Un troisième exemple présentera l'apport d'essais au laboratoire orientés vers la mise en œuvre terrain. Nous présenterons ainsi un outil de type maquette 2D permettant de simuler une ou plusieurs tranches de sol occupées par une ou deux phases liquides de propriétés différentes. Les essais menés sur deux phases liquides solubles de densité et viscosité différente ont permis de contribuer à l'élaboration d'une stratégie de récupération sur le terrain optimale.

Conclusion :

Les essais au laboratoire et sur site se développent dans le cadre de la démarche PCT présente dans la politique nationale depuis 2017. Classiquement, ils visent à soumettre des sols ou des mix sol+eau à des conditions de traitement telles qu'envisagées sur site et à évaluer l'abattement en polluant obtenu.

Mais ces essais peuvent être utilisés de manière plus approfondie pour contribuer à la compréhension des phénomènes en jeu sur le site et devenir ainsi de véritables outils de diagnostic technique stratégique concernant la physico chimie et la mise en œuvre.

Une telle approche est largement pertinente et économique pour les sites complexes. Elle permet de gagner du temps en identifiant certaines problématiques / solutions dès le stade PG/PCT. Elle permet de réduire les risques des projets en intégrant les phénomènes observés dès la phase de conception amont.

Evaluation des risques sanitaires d'une multitude des PFAS par application des Top Assays sur les substances polyfluorés (Précurseurs)

Health Risk Assessments for large PFAS Cocktails by Application of the Top Assays concerning the poly-fluoro Substances (Precursors)

Dr. Frank Karg: Scientific Director of HPC-Group (INOGEN JV) &
President-CEO of HPC INTERNATIONAL / France & Germany
Email: frank.karg@hpc-international.com / Phone: +33 607 346 916

HPC INTERNATIONAL
Hôtel de Recherche / Centre Médical de Perharidy / 29 680 Roscoff - France

1. Introduction

Les PFAS : Per- & Polyfluoro-Alkyl Substances sont devenues progressivement depuis des années 1960 un problème environnemental majeur, également pour la Santé Publique, en raison de leur application multiple et vaste (historique et toujours actuelle). Cette menace environnementale et pour la Santé Publique commence à être prise en compte petit à petit depuis les années 2010 et fortement en 2022 & 2023. Par conséquent, les PFAS se retrouvent aujourd'hui dans les sols, les eaux souterraines, les aliments et l'eau potable ainsi que dans les Gaz du sol et de l'Air ambiant pour une famille de PFAS volatils, les FTOH : Fluorotéломère-Alcools. Entre 9 000 à 12 000 polluants synthétiques de PFAS ont été produits.

Les PFAS polymères du type « Teflon » (ou PFTE) etc. ne disposent pas une bonne biodisponibilité et sont donc par conséquence beaucoup moins toxiques que les PFAS monomères. Ces PFAS monomères sont l'objet des travaux présentés ci-joint. Les PFAS sont connues notamment pour leurs effets toxicologiques des perturbations endocriniens, d'hépatotoxicité, d'immunotoxicité, le développement des fœtus et pour certains, la cancérogénicité (PFOA...).

Concernant les Évaluations Quantitatives des Risques Sanitaires (EQRS), l'exposition peut être estimée soit par la mesure des concentrations dans les milieux d'exposition soit par la modélisation du transfert des polluants d'un compartiment à l'autre (par ex. des polluants dans les eaux souterraines ou du sol vers les gaz du sol et de l'air ambiant). Des données toxicologiques (Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR)) sont à chercher et à actualiser au niveau international à chaque évaluation des risques. Les VTR les plus récentes sont disponibles surtout aux USA (EPA, ATSDR...) et, en Europe, au niveau de l'EFSA.

Dans le cas des alcools fluorotéломériques (FTOH), présents dans les sols, eaux souterraines et gaz du sol, il faudra aussi réaliser des investigations dans l'air ambiant des bâtiments destinés à des usages sensibles (ERP : Ecoles, Crèches, etc.) ou résidentiels, sur une base des seuils de quantification (ou au moins des seuils de détection), ne pas plus élevé, que les VTR applicables. Concernant les VTR des FTOH, cf. aussi Bil et al. 2020 et SLU et al. 2017).

Une étape complémentaire de l'EQRS (aussi appelée ARR : Analyse des Risques Résiduels, TERQ : Toxicological Exposure Risk Quantification, ou HRA : Health Risk Assessment) est la définition des Concentrations Maximales Acceptables (CMA) en intégrant une additivité des risques des polluants ayant les mêmes cibles et effets toxicologiques pour des Excès des Risques Individuels (de cancer) acceptables : $ERI < 10E-5$ ou d'un Indice de Risque systémique de $IR < 1$ (= DJE / DJT : Dose Journalière d'Exposition par rapport à la Dose Journalière Tolérable). Les CMA sont couramment utilisées sous forme de Valeurs de contrôle de conformité sanitaire, afin de vérifier ou de co-élaborer des objectifs de mesures correctives, voire des objectifs de dépollution.

L'évaluation des risques nécessite aussi une bonne prise en compte des précurseurs (PFAS polyfluorés) et de leur chimie environnementale, afin d'apprécier le potentiel de formation environnementale et dans l'organisme de PFAS perfluorés stables, comme par ex. décrit dans les Fiches 4 & . La Figure 1 ci-dessous donne un exemple de biotransformations de précurseurs polyfluorés vers des produits stables.

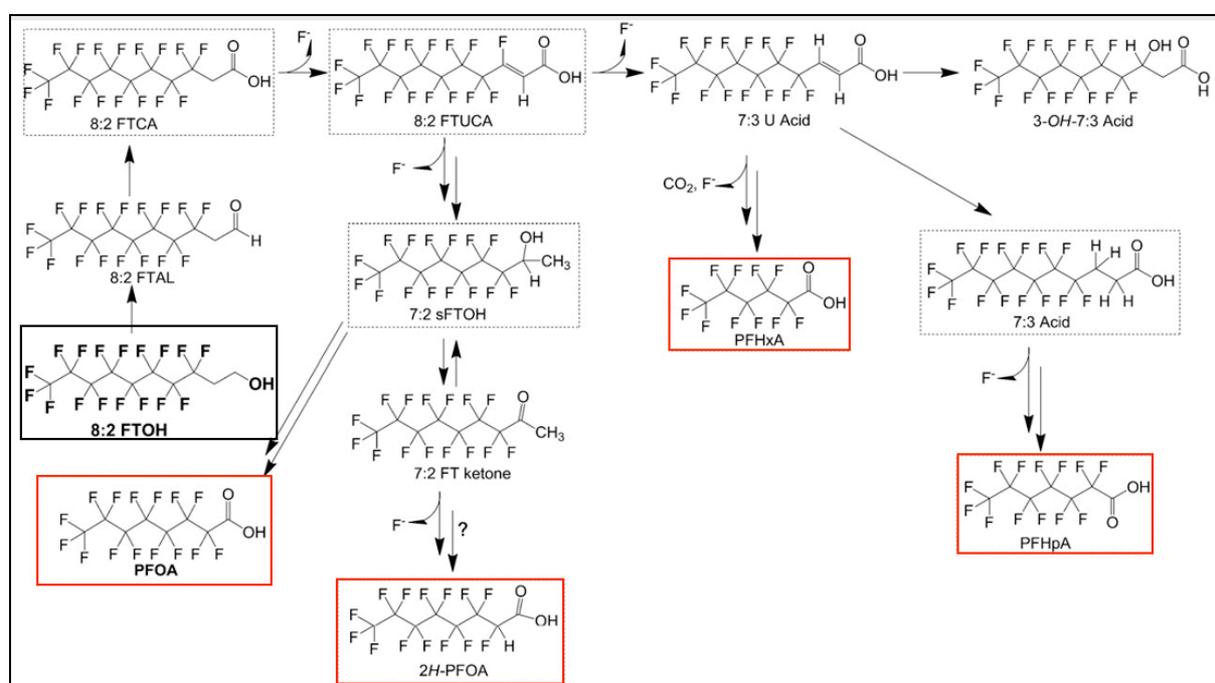


Fig. 1 : Exemple de biotransformation de précurseurs (PFAS polyfluorés) vers des PFAS per-fluorés stables : le 8:2 FTOH est transformé en PFHxA, PFHpA et PFOA. (N. Wang et al. (2009) et J. Liu & S. M. Avendaño, 2013).

2. Evaluation des risques sanitaires des mélanges des PFAS par application des Top Assays

La plus grande inconnue dans les effets des mélanges par des PFAS concerne la grande partie des PFAS poly-fluorés. Il est recommandé d'appliquer les analyses des PFAS (28 – 40 molécules, cf. aussi l'Arrêté Ministériel en France du 20/06/2023) avant et après le « Top Assay ».

Le « Top Assay » (Total Oxidizable Precursor) transforme les PFAS poly-fluorés vers les PFAS perfluorés (Fig. 2a & b). Dans l'environnement, l'ensemble des PFAS poly-fluorés (Précurseurs) sont biotransformés vers les PFAS per-fluorés stables. Via le « Top Assay » il est possible d'intégrer dans l'évaluation des risques sanitaires immédiatement les PFAS per-fluorés, produits des biotransformations dans un scénario d'exposition. Par contre, il ne faut pas se contenter de réaliser

l'évaluation des risques sanitaires uniquement sur les PFAS per-fluorés après le « Top Assay », car les effets avec-seuil de dose de certains PFAS poly-fluorés pourront être importants dans les expositions

sub-chroniques et chroniques, comme par ex. concernant les PFAS volatils (FTOH : fluorotélomère-alcools, etc.) [Karg 2023c].

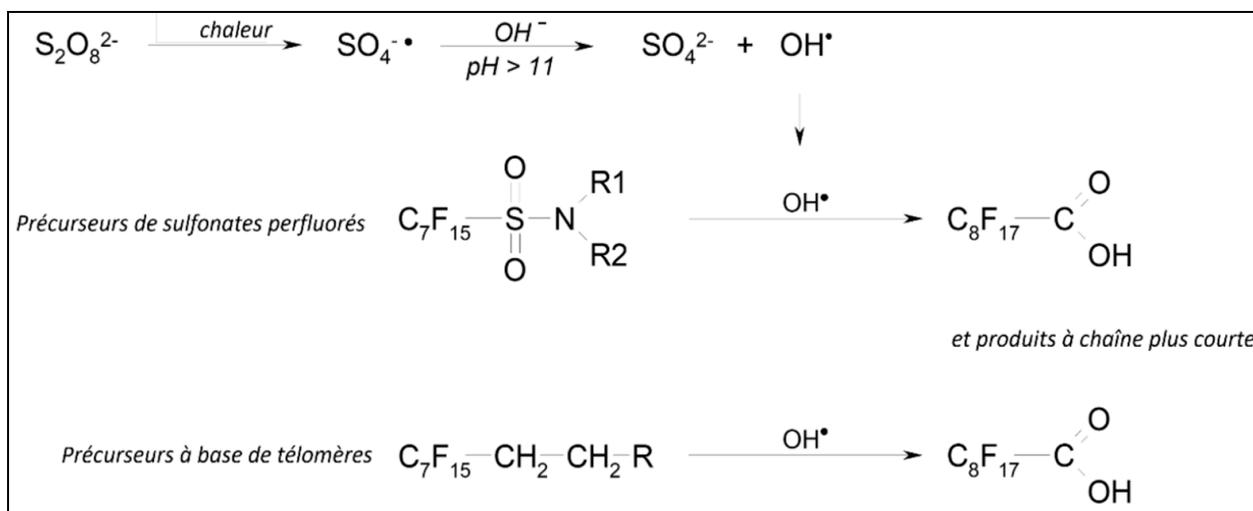


Fig. 2a : Top Assay (Total Oxidizable Precursor) analyse de la quantité totale de précurseurs (PFAS poly-fluorés) oxydables via persulfate (Houtz et Sedlak : 2012)

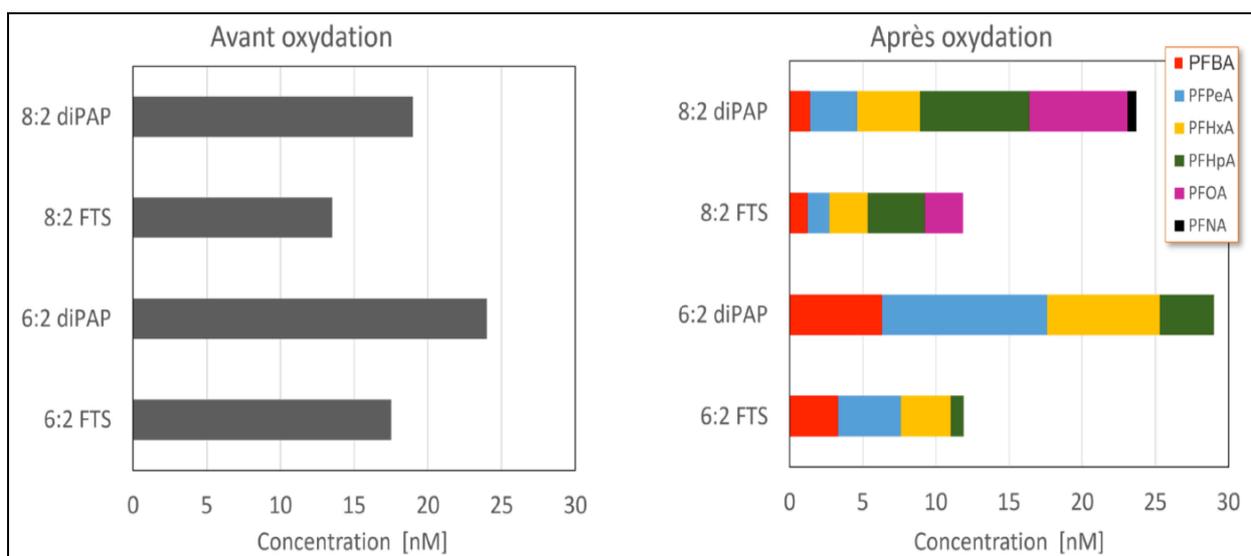


Fig. 2b : Top Assay : Exemple de quantification des PFAS poly-fluorés via leurs acides carboxyliques perfluorés finaux correspondants après dégradation (Houtz et Sedlak : 2012), à prendre en compte dans une EQRS (Karg et al. 2023e).

3. Références

ANSES (2017): Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à l'évaluation des risques sanitaires d'alkyls per- et polyfluorés dans les eaux destinées à la consommation humaine. Saisine n° 2015-SA-0105 Saisine liée n° 2012-SA-0001

<https://www.anses.fr/fr/system/files/EAUX2015SA0105.pdf>

BfR 2018): Perfluorierte Verbindungen PFOS und PFOA sind in Lebensmitteln unerwünscht. Bundesinstitut für Risikobewertung. <https://www.bfr.bund.de/cm/343/perfluorierte-verbindungen-pfos-undpfoa-sind-in-lebensmitteln-unerwuenscht.pdf>

Bil, W.; Zeilmaker, M.; Fragki, S.; Lijzen, J.; Verbruggen, E.; Bokkers, B. (2021): Risk Assessment of Per- and Polyfluoroalkyl Substance Mixtures: A Relative Potency Factor Approach. *Environmental Toxicology and Chemistry* Volume 40, Issue 3 p. 859-870
<https://doi.org/10.1002/etc.4835>
<https://setac.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/etc.4835>

Bil W, et al. (2022a). Response to Letter to the Editor on Bil et al. 2021 "Risk Assessment of Per- and Polyfluoroalkyl Substance Mixtures: A Relative Potency Factor Approach". *Environ Toxicol Chem.* 41 (1): 13-18.

Bil W, et al. (2022b). Internal Relative Potency Factors for the Risk Assessment of Mixtures of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Human Biomonitoring. *Environ Health Perspect.* 130 (7): 77005.

Bil. W., Ehrlich, V., Chen, G., Vanderbriel, R., Zeilmakler, M., Luijten, M., Uhl, M., Marx-Stoelting, P., Halldorsson, T., I., Bokkers, B. (2023) : Internal relative potency factors based on immunotoxicity for the risk assessment of mixtures of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in human biomonitoring. *Environment International*, Volume 171, January 2023, 107727
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412022006547>

Cousins IT, et al. (2020). The high persistence of PFAS is sufficient for their management as a chemical class. *Environ Sci Process Impacts.* 22 (12): 2307-2312.

Goodrum PE, et al. (2021). Application of a Framework for Grouping and Mixtures Toxicity Assessment of PFAS: A Closer Examination of Dose-Additivity Approaches. *Toxicol Sci.* 179 (2): 262-278.

EFSA (2015) : Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food, *EFSA Journal* 2020;18(9):6223 <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/6223>

EFSA (2020) : *EFSA Journal* 2020;18(9):6223 <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/6223>

EFSA (2018): Risk to human health related to the presence of perfluorooctane sulfonic acid and perfluoro- octanoic acid in food. European Food Safety Authority.
<https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/5194>
<https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2018.5194>

EFSA (2020). PFAS dans les aliments : l'EFSA évalue les risques et définit un apport tolérable. Publié le : 17 septembre 2020. <https://www.efsa.europa.eu/fr/news/pfas-food-efsa-assesses-risks-and-sets-tolerable-intake>

Guyton, K.Z.; Rusyn, I.; Chiu, W.A.; Corpet, D.E.; van den Berg, M.; Ross, M.K.; Christiani, D.C.; Beland, F.A.; Smith, M.T. (2018) : Application of the key characteristics of carcinogens in cancer hazard identification. *Carcinogenesis* 2018, 39, 614–622.
<https://academic.oup.com/carcin/article/39/4/614/4883395>

Heilier, J.F., Rousselle, C., Karg, F., Ronga, S., Charlate, P., Pouzaud, F. (2023) : Evaluation et Gestion des PFAS : 9. Toxicité et Valeurs Toxicologiques de Référence. Guide de Gestion des PFAS de la SFSE : Société Francophone de Santé et Environnement. Mise en ligne, le 27/11/2023.

<https://sfse.wetransfer.com/downloads/e193f037a0dcb952f56e28b7e58a989220231123142128/f19c7b>

Heys KA, et al. (2016). Risk assessment of environmental mixture effects. RSC Advances. 6 (53): 47844-47857.

Houtz, E.F., Sedlak, D.L. (2012): Oxidative conversion as a means of detecting precursors to per-fluoroalkyl acids in urban runoff. Environ. Sci. Technol. 46, 9342-9349.

IPCS / WHO (2009): International Program on Chemical Safety. Assessment of combined Exposures to Multiple Chemicals: Report WHO/IPCS International Workshop. 75 pages.

Karg, F. (2022a). ERP sensibles (Ecoles, Crèches) & Habitations et Diagnostics, Evaluation des Risques Toxicologiques et Traitements des PFAS, notamment les FTOH : Fluorotéromère-Alcools volatils / **Public Site Use Scenarios (Schools, Kindergartens & Residences and Site Investigation, Toxicological Health Risk Assessments (TERQ) and Treatments of PFAS, especially volatile FTOH: Fluorotelomere Alcohols.** INTERSOL 2022, Lyon / France: 21-23/06/2022, Congress Minutes.

https://www.saturne.net/mud/index.php?d=intersol2022_abstracts_pg

Karg, F. (2022b): Management of FTOH: Fluorotelomere Alcohols (volatile PFAS) in ambient air of public site use scenarios (schools, kindergartens) & residences: site investigation, toxicological health risk assessments (TERQ) / Gestion des FTOH: Fluorotéromère-Alcools (PFAS volatils) dans l'air ambiant des ERP sensibles (écoles, crèches) & habitations : diagnostics et évaluation des risques toxicologiques. AtmosFair, Lyon: 20 & 21/09/2022. Congress Minutes.

https://www.saturne.net/mud/index.php?d=atmosfair2022_program_abstracts

Karg, F. (2022c): PFAS: Management of Pollution and Health Risks: Site Investigations, Environmental Chemistry, Risk Assessment (sensitive ERP and others), Regulatory Thresholds and Treatments (including volatile PFAS FTOH in soils, groundwater, soil gas & ambient air). International PFAS-Congress ARET-SFSE-HPC INTERNATIONAL, Paris 20 October 2022. Minutes of Congress.

https://www.saturne.net/mud/index.php?d=pfas_congress22_abstracts_pg

Karg, F., Hintzen, U., Robin-Vigneron, L. & Mostersteg, (2022d): Einzelfallprüfung bei PFAS: Anwendung der neuen Mantelverordnung für verhältnismässige und kostenoptimierte Sanierungen bei Vielstoffbelastung. (**Site specific Risk Assessment and Cost effective Site Remediation of PFAS**). Altlastenspektrum 06/2022, p. 180 – 192, ITVA December 2022.

<https://altlastendigital.de/ce/einzelfallpruefung-bei-pfas/detail.html>

Karg, F., Hintzen, U., Robin-Vigneron, L. et Girard, P. (2023a) : PFAS : Chimie Environnementale, Diagnostics & Identification des Sources, Toxicologie et Evaluation des Risques (EQRS), incluent les FTOH. PFAS / Environmental Chemistry Investigations, Source Identification, Toxicology and TERQ Risk Assessments, including FTOH. Minutes of International Congress PFAS – Management of Environmental and Health Risks". Paris, June 13-14, 2023.

<https://hpc.ag/wp-content/uploads/PFAS-Congress-Abstract-KARG-HPC-INTERNATIONAL-2023-F.pdf>
<https://hpc.ag/wp-content/uploads/PFAS-Congress-Abstract-KARG-HPC-INTERNATIONAL-2023-E.pdf>

Karg, F. (2023b) : Pollution par PFAS volatils : risques pour la santé dus aux émanations et contaminations de l'air ambiant. Minutes du Congrès Atmosfair, Paris 27 & 28/06/2023.

<https://hpc.ag/wp-content/uploads/PFAS-AtmosFair-KARG-HPC-INTERNATIONAL-27-06-2023-F.pdf>

<https://hpc.ag/wp-content/uploads/PFAS-Atomsfair-Karg-HPC-INTERNATIONAL-E-2023.pdf>

Karg, F. (2023c): PFAS Toxicological Exposure Risk Quantification (TERQ) via application of poly-fluorinated PFAS transformation to final per-fluorinated PFAS via Top Assay Analysis. Altlastenspektrum, ITVA, in preparation, December 2023.

Karg, F., Rousselle, C. (2023d) : Evaluation et Gestion des PFAS : 4. Devenir dans l'Environnement et Biotransformation / Chimie Environnementale. Guide de Gestion des PFAS de la SFSE : Société Francophone de Santé et Environnement. Mise en ligne, le 27/11/2023.

<https://sfse.wetransfer.com/downloads/e193f037a0dcb952f56e28b7e58a989220231123142128/f19c7b>

Karg, F., Heilier, J.-F., Ronga-Pezeret, S., Rousselle, C., Bouhoulle, E. (2023e) : Evaluation et Gestion des PFAS : 10. Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires et mélanges. Guide de Gestion des PFAS de la SFSE : Société Francophone de Santé et Environnement. Mise en ligne, le 27/11/2023.

<https://sfse.wetransfer.com/downloads/e193f037a0dcb952f56e28b7e58a989220231123142128/f19c7b>

Liu, J., Avendaño, S.M. (2013): Microbial degradation of polyfluoroalkyl chemicals in the environment: a review. Environment international. 1 November 2013, DOI:10.1016/j.envint.2013.08.022. Corpus ID: 28773717.

<https://www.semanticscholar.org/paper/Microbial-degradation-of-polyfluoroalkyl-chemicals-Liu-Avenda%C3%B1o/cd3c413c79adf7cec83822997cf350a9705cd23d>

NJ-DW-QI (2017): HEALTH-BASED MAXIMUM CONTAMINANT LEVEL SUPPORT DOCUMENT: PERFLUOROCTANOIC ACID (PFOA). New Jersey Drinking Water Quality Institute Health Effects Subcommittee February 15, 2017. <https://www.state.nj.us/dep/watersupply/pdf/pfoa-appendix.pdf>

Rietjens I, et al. (2022). Letter to the Editor on Bil et al. 2021 "Risk Assessment of Per- and Polyfluoroalkyl Substance Mixtures: A Relative Potency Factor Approach". Environ Toxicol Chem. 41 (1): 7-12.

SLU (Swedish University of Agricultural Science) / Bo Sha (2017): Perfluoroalkyl substances (PFASs), flame retardants and cyclic volatile methylsiloxanes in indoor air in Uppsala, Sweden – occurrence and human exposure assessment. Department of Aquatic Sciences and Assessment Master thesis • 30hec • Advanced level A2E. Sustainable Development, Uppsala 2017

https://stud.epsilon.slu.se/10280/1/sha_b_170913.pdf

State of Hawaii - Department of Health (State of Hawaii, Department of Health) (2020). Interim Soil and Water Environmental Action Levels (EALs) for Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs)

State of Hawaii - Department of Health (State of Hawaii - Department of Health) (2021). Interim Soil and Water Environmental Action Levels (EALs) for Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs), UPDATE

State of New Hampshire Environmental Services (2019): Direct Contact Risk-Based Soil Concentrations for Perfluorooctanoic acid (PFOA), Perfluorooctane sulfonate (PFOS), Perfluorohexane sulfonic acid (PFHxS) and Perfluorononanoic acid (PFNA): State of New Hampshire, December 11, 2019.

<https://www4.des.state.nh.us/nh-pfas-investigation/wp-content/uploads/PFAS-DCRB-value-121119.pdf>

TCEQ (2016) : Perfluoro Compounds (PFCs): RfD Values. Texas Commission on Environmental Quality

<https://www.tceq.texas.gov/assets/public/implementation/tox/evaluations/pfcs.pdf>

TECQ: Texas Commission on Environmental Quality (2023): Per- and Poly-fluoroalkyl Substances (PFAS):

<https://www.tceq.texas.gov/downloads/toxicology/pfc/pfcs.pdf>

UBA (2020): Sanierungsmanagement für lokale und flächenhafte PFAS-Kontaminationen Anhang A. Texte

137/2020. Umweltbundesamt, Berlin.

[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-07-](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-07-13_texte_137-2020_handbuch_pfas-anhang-a.pdf)

13_texte_137-

2020_handbuch_pfas-anhang-a.pdf

US-EPA (2022). INTERIM Drinking Water Health Advisory: Perfluorooctane Sulfonic Acid (PFOS), CASRN 1763-23-1. EPA Document Number: EPA/822/R-22/004, June 2022.

<https://www.epa.gov/system/files/documents/2022-06/interim-pfos-2022.pdf>

Van Den Berg et al. (2006). REVIEW- The 2005 World Health Organization- Reevaluation of Human and Mammalian Toxic Equivalency Factors for Dioxins and Dioxin-Like Compounds. TOXICOLOGICAL SCIENCES 93(2), 223–241 (2006) doi:10.1093/toxsci/kfl055 Advance Access publication July 7, 2006

<https://epa-prgs.ornl.gov/chemicals/help/documents/vandenberg2006.pdf>

Wang, N. Szostek, B., Buck, R.C., Folsom, P.W., Sulecki, L.M., Gannonet, J.T. (2009): Fluortelomer alcohol aerobic soil biodegradation : Pathways, metabolites and metabolite yields. Chemosphere. Volume 75, Issue 8, May 2009, Pages 1089-1096

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653509000496>

Zeilmaker M, et al. (2018). Mixture exposure to PFAS: A Relative Potency Factor approach. Rapport RIVM: 2018-0070

Better diagnose the contamination potential of industrial territories: new approach thanks to bioavailability measures

SEILLIER Rachel, PhD student at Mines Saint-Etienne, Georges Friedel Laboratory, France

Contact: rachel.seillier@emse.fr, Tél.: 04.77.42.02.67, [linkedin : Rachel Seillier](#)

Innovation: characterization of the degree of contamination and the associated risk, depending on the mobility of the pollutant

Keywords: contamination, potentially toxic elements (PTE), transfer, bioavailability, urban wasteland

Objectives: Better understanding and management of urban wasteland, better characterization of pollutants related to post-industrial territories

In France, many urban and peri-urban territories are characterized by a heavy industrial and mining past, such as the Nord region, the Lorraine Basin, or the agglomeration of Saint-Etienne. The rehabilitation of these areas is now a real challenge for developers, because while these urban wastelands have a high potential for reclamation, they are also territories that can be contaminated with potentially toxic elements (PTE: As, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Ti, Zn). Currently, developers' strategies often favour landfilling excavated soil, but this approach is costly from an environmental and economic point of view. Better management of these potentially contaminated territories means a better estimating of the risks of transfer of PTE to living targets, which could be, for example, ecosystems or human beings.

Until now, the risks are often overestimated because they are based on the total concentration value of metals and metalloids present in the soil, whereas only a part of this concentration is transferable to the living world according to the bio-geo-chemical conditions of the environment (e.g., hydrodynamics, meteorology, biological activity).

Our study therefore aims to better assess this bioavailable fraction for a more realistic risk assessment and a more sustainable management of urban neglect in the long term. Our results presented here are based on a sampling campaign of several hundred samples taken at different scales, from the wasteland to the territory of Saint-Etienne, followed by a complete analysis (total concentration and bioavailability) of the different entities sampled (soil, plants) by ICP-MS spectrometry. The results allowed us to objectify the potential transfer pathways of PTE present on wastelands, from the soil to living organisms. The geochemical analyses also make it possible to establish a first ambient geochemical background, which will be compared with existing databases (BASOL, BASIAS, SIGMINE) by geostatistical analysis. Ultimately, the objective of this work is to collect enough information to produce a contamination calculation index for developers to better manage urban neglect.

Retour d'expérience sur l'apport et la prise en compte de la bioaccessibilité orale du plomb sur un territoire pilote

Feedback on the contribution and consideration of the oral bioaccessibility of lead in a pilot area

Madeleine Billmann^{1,2}, Benjamin Pauget³, Corinne Hulot⁴, Arnaud Papin⁴, Aurélie Pelfrêne¹

¹ Univ. Lille, IMT Nord Europe, Univ. Artois, Junia, ULR 4515 – LGCgE, Laboratoire de Génie Civil et géo-Environnement, 48, Boulevard Vauban, 59000 Lille, France

² Agence de l'environnement et de la Maîtrise de l'Energie 20, avenue du Grésillé- BP 90406, 49004 Angers Cedex 01 France

³ TESORA, 41 Rue Périer, 92120 Montrouge, France

⁴ INERIS, Parc Technologique Alata, BP 2, 60550 Verneuil-en-Halatte, France

Intervenante :

Madeleine BILLMANN, Doctorante ADEME / Junia ISA - madeleine.billmann@juina.com

Dans le cadre de la gestion des sites et sols pollués, l'évaluation des risques sanitaires pour l'Homme, en lien avec l'ingestion de particules de sols contaminées, reste un domaine soumis à de fortes incertitudes dans les démarches de protection sanitaire. Pour mieux estimer l'exposition et adapter les modes de gestions aux risques que présentent les sites (multi)contaminés, il est indispensable d'intégrer la notion de biodisponibilité (i.e. la fraction de contaminant ayant atteint la circulation systémique) par la détermination de la bioaccessibilité orale (i.e. la fraction libérée dans les sucs gastrointestinaux humains et donc disponible pour l'absorption). Ce paramètre, appliqué en tant que facteur correctif de la concentration totale, permet une estimation plus réaliste de l'exposition dans les calculs de risques. Dans cette optique, le test UBM (Unified Bioaccessibility Method) permet de mesurer la fraction bioaccessible des polluants métalliques dans les sols. Ce test normé (ISO 17924) est recommandé dans la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués. Validé par rapport à un modèle *in vivo* (le porcelet), ce test est valable, à ce jour, pour trois éléments métalliques (As, Cd et Pb). Cependant, cette méthode d'évaluation des risques, bien que plus réaliste, est sujette à des problèmes opérationnels en raison du coût élevé du test UBM, le rendant peu accessible pour de grandes campagnes d'analyses ainsi que des divergences concernant le mode de préparation des échantillons. Dans le but de faciliter l'accès à une première information concernant la bioaccessibilité des polluants, le test simplifié à l'acide chlorhydrique (HCl) est recommandé en premier screening sur un grand nombre d'échantillons car il est plus rapide, facile et moins coûteux.

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'apport et la prise en compte de la bioaccessibilité orale du Pb sur un territoire pilote. La méthodologie a consisté à collecter 45 sols issus de jardins, parcs publics, sols agricoles et friches d'Ile-de-France. Les investigations sur ces sols ont porté sur : (i) la détermination des paramètres physico-chimiques (i.e. pH, CEC, teneurs en matière organique, en carbonates totaux, en oxydes de Fe, Al, Mn et en phosphore assimilable) et des concentrations totales en Pb, et (ii) l'estimation de la bioaccessibilité orale du Pb dans les sols au moyen des tests *in vitro* UBM et HCl. Une attention particulière a été portée sur les divergences rencontrées auprès des acteurs SSP en lien avec le mode de préparation des échantillons de sol. Pour cela, un des volets du travail a consisté à étudier l'influence du mode de préparation des échantillons au regard des normes ISO 11464 et 17924 sur le pourcentage de bioaccessibilité de Pb.

Les résultats mettent en évidence un gradient des concentrations totales en Pb sur ce territoire pilote avec des valeurs comprises entre 57 et 839 mg kg⁻¹. La bioaccessibilité du Pb est de 61% en moyenne dans la phase gastrique et de 22% dans la phase gastrointestinale. L'analyse statistique de la comparaison des concentrations bioaccessibles prédites par le test HCl et mesurées par le test UBM montre des coefficients de détermination de R²=0,97 et R²=0,77. Ces résultats renforcent la validité de l'utilisation du test HCl en étude préliminaire pour prédire la bioaccessibilité.

Des paramètres du sol ont été déterminés en vue d'identifier les facteurs d'influence de la bioaccessibilité. En moyenne, le pH des sols est de 7,9±0,3, la concentration en carbonates de calcium est de 137±83 g/kg et le taux de matière organique est de 10±3%. La modélisation de l'influence des paramètres des sols sur la bioaccessibilité ne permet d'obtenir des tendances nettes. Ces résultats soulignent le fait que la bioaccessibilité est spécifique à chaque site et que pour son intégration dans les évaluations de risques, sa mesure par le test UBM et/ou HCl apparaît incontournable.

Afin d'éclairer les divergences rencontrées sur les modes de préparation des sols, le pourcentage de bioaccessibilité a été exprimé en fonction des concentrations totales mesurées de deux manières : (1) sur la fraction préparée selon la norme ISO 11464 pour laquelle un broyage mécanique de la fraction < 2 mm est réalisé, et (2) sur la fraction préparée selon la norme ISO 17924 pour laquelle seul un tamisage est réalisé pour obtenir la fraction < 250 µm. Ainsi, les valeurs moyennes de bioaccessibilité de Pb dans les phases gastrique et gastro-intestinale respectivement sont de 77% et 26% pour les échantillons broyés et 59% et 22% pour les échantillons tamisés à < 250µm. D'une manière générale, le broyage entraîne une surestimation du pourcentage de bioaccessibilité, ce qui va à l'encontre de l'objectif d'affiner l'exposition des populations. Il est donc indispensable d'utiliser la même fraction tamisée pour déterminer les concentrations totales et bioaccessibles.

Ce retour d'expérience renforce l'intérêt et la validité, et éclaire les problématiques opérationnelles sur l'utilisation de tests *in vitro* des bioaccessibilité pour une évaluation des risques sanitaires plus réaliste permettant ainsi une gestion plus adaptée des sites et sols contaminés.

Mots clés : sols pollués ; plomb ; bioaccessibilité orale ; risques sanitaires

Vers un outil d'aide à l'interprétation des mesures RHIZOtest pour évaluer le transfert sol-plante des contaminants

Alexandra MILLE-EGEA¹, Laure LEMAL¹, Matthieu BRAVIN², Emmanuel DOELSCH², Rémi SERVIEN³

¹ GINGER BURGEAP - département R&D : a.mille.egea@groupeginger.com, l.lemal@groupeginger.com

² CIRAD - UPR Recyclage et risques : matthieu.bravin@cirad.fr, emmanuel.doelsch@cirad.fr

³ INRAE - UR LBE : remi.servien@inrae.fr

Mots-clés : Agriculture urbaine, Aide à la décision, Base de données, Contaminations locale et diffuse, Evaluation des risques, Phytodisponibilité, Revégétalisation, Santé humaine, Sites et sols pollués

Grâce à une nouvelle réglementation^{1,2} et à l'accélération, ces dix dernières années, de la production de connaissances nouvelles et de leur transfert vers les bureaux d'études, le métier de la gestion des sites et sols pollués évolue progressivement vers une meilleure protection de la ressource sol. Les objectifs sont de limiter l'excavation aux seules zones sources concentrées et de réduire le recours à des apports de terres végétales arables en favorisant l'utilisation des sols en place. Une des clés pour atteindre ces objectifs est la sécurisation de ces nouvelles pratiques grâce à une meilleure connaissance et prise en compte de la multifonctionnalité des sols³ et notamment la fonction de rétention des contaminants, primordiale pour une évaluation précise des risques sanitaires associés à l'exposition de la population par consommation de végétaux produits sur ces sites.

Un outil particulièrement pertinent pour renseigner spécifiquement le transfert sol-plante de contaminants est le test végétal appelé RHIZOtest. Il fait l'objet d'un nombre croissant de travaux scientifiques depuis une vingtaine d'années (e.g.^{4,5,6,7,8}). C'est aussi le seul outil normalisé (NF EN ISO 16198) pour la mesure du transfert sol-plante des éléments traces. C'est un test rapide (3 semaines de culture) relativement à un essai de terrain, qui nécessite peu de sol (10 g sec par dispositif), qui prend en compte les interactions sol-plante dans la rhizosphère ainsi que les facteurs confondants liés à une multi-contamination et qui peut s'adapter à de nombreuses espèces végétales d'intérêt. Pour toutes ces raisons, il commence aujourd'hui à être utilisé dans les projets visant à évaluer le risque de transfert sol-plante en sols agricoles affectés par des contaminations diffuses⁹ et en sites et sols pollués affectés par des contaminations locales¹⁰.

¹ Loi Climat et Résilience du 22 août 2021

² Directive européenne sur la surveillance et la résilience des sols (projet en cours de négociation)

³ FAO and ITPS Status of the World's Soil Resources (SWSR)—Main Report Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy (2015)

⁴ Chaignon V., Hinsinger P. (2003) *J. Environ. Qual.* 32:824–833. <https://doi.org/10.2134/jeq2003.8240>

⁵ Bravin, M. N., Michaud, A. M., Larabi, B., Hinsinger, P. (2010) *Environmental Pollution* 158 3330e3337. doi:10.1016/j.envpol.2010.07.029

⁶ Layet, C., Auffan, M., Santaella, C., Chevassus-Rosset, C., Montes, M., Ortet, P., Barakat, M., Collin, B., Legros, S., Bravin, M. N., Angeletti, B., Kieffer, I., Proux, O., Hazemann, J.-L., Doelsch, E. (2017) *Environ. Sci. Technol.*, 51, 17, 9756–9764. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b02397>

⁷ Laurent, C., Bravin, M. N., Crouzet, O., Lamy, I. (2024) *Science of the Total Environment* 906 167771. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167771>

⁸ Xiong, T. T., Dumat, C., Dappe, V., Vezin, H., Schreck, E., Shahid, M., Pierart, A., Sobanska, S. (2017) *Environ. Sci. Technol.*, 51, 9, 5242–5251. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b05546>

⁹ Bravin M., Lemal L., Chevassus-Rosset C., Montes M., Tella M., Doelsch E., Feder F., Legros S. (2019) *Rapport d'expertise, Cirad*, 31 p. <https://agritrop.cirad.fr/599853/>

¹⁰ Bravin M., Chevassus-Rosset C., Lemal L., Montes M., Moussard G. D., Simon E., Tella M., Valmier M., Doelsch E., Feder F., Legros S. (2017) *Rapport d'expertise*, 12 p. <https://agritrop.cirad.fr/588599/>

Dans son utilisation actuelle avec la perspective d'une évaluation des risques sanitaires, le RHIZOtest présente cependant comme limite importante de devoir comparer les résultats obtenus sur les échantillons de sols d'intérêt à ceux obtenus sur un échantillon de sol témoin non contaminé issu du même site. Or il n'est pas toujours techniquement ou financièrement possible de disposer d'une telle référence. L'évaluation opérationnelle des risques à l'aide de la mesure RHIZOtest bénéficierait donc de pouvoir être interprétée de façon absolue.

Pour parvenir à une telle évaluation absolue, il est envisagé de capitaliser sur les quelques 15 000 mesures unitaires de flux réalisées depuis 2010. Ces mesures ont couvert huit éléments traces, une vingtaine d'espèces végétales cultivées ou d'intérêt pour la gestion des sols contaminés et près d'une centaine d'échantillons de sols montrant des caractéristiques physico-chimiques, ainsi que des origines et des niveaux de concentration contrastés.

Une thèse Cifre entre GINGER BURGEAP, le CIRAD et INRAE a démarré en décembre 2023 pour mener à bien ce projet. Son objectif 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. Le cœur du projet portera sur l'exploitation des données historiques à l'aide de techniques statistiques adaptées aux grands jeux de données^{11,12}.

La présentation de ce projet pour cette édition d'Intersol portera sur le travail de bibliométrie, réalisé lors des 3 premiers mois. Ce travail a pour objectif de caractériser l'étendue de l'utilisation du RHIZOtest par les différentes équipes de recherche à travers le monde, de contextualiser l'orientation thématique des travaux, de fédérer une communauté autour de bonnes pratiques méthodologiques et enfin de partager les données.

¹¹ 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

¹² 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



Gestion intégrée des eaux pluviales en milieu urbain : Amélioration des performances hydrologiques des sols à faible perméabilité

Urban integrated stormwater management: Enhancing the hydrological performance of low-permeability soils

Khalil LHAMIDI ⁽¹⁾, Hoang Dung NGUYEN ⁽¹⁾, Jamal EL KHATTABI ⁽¹⁾, Ammar ALJER ⁽¹⁾

(1) Laboratoire de Génie Civil et géoEnvironnement (LGCgE), Université de Lille

Intervenant : Khalil LHAMIDI, Doctorant en Génie Civil - khalil.lhamidi@univ-lille.fr

Résumé :

Dans le contexte actuel, marqué par le dérèglement climatique, la ressource en eau constitue une priorité absolue à l'échelle nationale et internationale ; les sécheresses successives ainsi que les fortes inondations de ces dernières années en témoignent. Les techniques alternatives de gestion intégrée des eaux pluviales représentent un enjeu majeur pour limiter la saturation des réseaux d'assainissement, le surdimensionnement des ouvrages de traitement et l'obsolescence des investissements curatifs. Ces techniques, qui s'inscrivent pleinement dans le cadre du Plan Eau, de la loi « Climat et Résilience », de la politique « Zéro Artificialisation Nette » et des recommandations du GIEC, constituent une solution durable et résiliente de gestion des eaux pluviales, favorisant la recharge des nappes phréatiques par infiltration des eaux de pluie, atténuant les risques d'inondation, et permettant de lutter contre les îlots de chaleur urbains et de préserver la biodiversité. Cependant de nombreux freins limitent le développement et la généralisation de ces ouvrages, notamment leur écartement systématique dans les sols peu perméables.

Pour lever ces verrous, le projet de recherche ETAGEP (Étude des Techniques Alternatives de Gestion des Eaux Pluviales), vise à étudier la performance hydrologique des noues d'infiltration :

- Par l'évaluation de l'infiltrabilité des sols sous l'impact de l'action de la faune et de la flore
- Par la définition d'une corrélation entre la pluviométrie, la surface imperméabilisée et la surface active

Une première phase d'expérimentations a été réalisée au laboratoire pour évaluer l'activité lombricienne et son effet sur la restructuration des sols limoneux conduisant à une évolution de leur infiltrabilité. Les expérimentations qui ont été réalisées dans des conditions contrôlées et en conditions naturelles ont évalué l'effet de la densité 25, 50 et 100 individus/m² ; l'espèce retenue est le *Lumbricus Terrestris*. La seconde expérimentation réalisée dans des conditions naturelles a évalué l'effet du spécimen : endogés (*Aporrectodea caliginosa*) et anéciques (*Lumbricus Terrestris*). Les résultats ont démontré pour le premier cas (densité) une amélioration de l'infiltrabilité jusqu'à 472% sur une année. S'agissant de l'effet du spécimen, les résultats ont démontré une amélioration allant jusqu'à 289% sur une année pour les endogés.

Le passage à l'expérimentation en conditions réelles se réalise via un démonstrateur « ETAGEP ». Ce site expérimental de 2500 m² réalisé sur le campus de Cité Scientifique de l'Université de Lille, comporte 12 noues d'infiltration végétalisées de 10 m² chacune, récoltant les eaux pluviales provenant des surfaces imperméabilisées (100 m², 50 m², 0 m²) à proximité pour la simulation du ruissellement urbain. Ces noues sont instrumentées pour mesurer en continu la température, la teneur en eau, la conductivité électrique, l'oxydo-réduction et la hauteur d'eau dans le sol sur différentes profondeurs (0 à 100 cm). Ces données, provenant de 54 capteurs répartis dans les 12 noues, permettent d'évaluer le temps de vidange, l'infiltration et l'évapotranspiration par les formulations correspondantes (Infiltration : Van Genuchten Mualem - Évapotranspiration : Penman Monteith FAO). Ces capteurs sont complétés par une station météo installée sur le terrain, pour mesurer notamment la pluviométrie locale.

Les premiers résultats ont permis d'évaluer la vitesse d'infiltration, l'évapotranspiration potentielle et le temps de vidange des noues. Un algorithme de traitement de données est en cours de développement pour automatiser les calculs de ses paramètres (bilan hydrique). A terme, les données fourniront un modèle d'intelligence artificielle pour l'évaluation prédictive de la performance hydrologique des noues et l'évolution de l'infiltrabilité du sol.



Figure 1 : Site expérimental ETAGEP

Mots-clés :

Techniques alternatives, Gestion des eaux pluviales, noues d'infiltration, sol limoneux, infiltrabilité, évapotranspiration, biodiversité, modélisation numérique

Characterizing Soil Quality and Assessing Emerging Pollutants in Clusters of Crohn's Disease Incidence in France

Lara Maria WAKIM

Dr. in environmental health

Laboratoire de Génie Civil et géo-Environnement LGCgE

University of Lille – Faculty of Pharmacy - 3 rue du professeur Laguesse – 59000, Lille

+33 6 68 59 48 12 / Laramaria.wakim@univ-lille.fr

Soil quality is an essential component of environmental health, with implications for human health and well-being. Emerging pollutants in soil represent a potential risk to human health, but their link to specific diseases remains largely unexplored. In the context of Crohn's disease (CD), a chronic inflammatory disease of unknown etiology with strong environmental risk indicators, the relationship between soil pollution and disease incidence has never been studied.

The objective of this study was to comprehensively characterize soil quality in Crohn's disease clusters in four French departments. It included an assessment of conventional and emerging pollutants present in the soil matrix.

The methodology employed strategic soil campaigns targeting CD clusters using a hexagonal grid to ensure comprehensive coverage. Site selection aimed at representing diverse land cover types to provide a representative territorial assessment. An analytical method was developed and optimized to detect emerging pollutants in soil at exceedingly low environmental concentrations. A composite index was employed to represent overall soil pollution.

The results of this study showed that heavy metals detected in agricultural soils differed significantly between clusters with high and low incidence of CD. A correlation between the heavy metal composite index and disease incidence was also demonstrated. In addition, emerging pollutants, including endocrine disruptors, antibiotics and human drugs, were assessed using a specialized protocol enabling simultaneous detection of these compounds in soil samples. This protocol, based on QuEChERS and SPE extraction methods, and LC-MS/MS analysis, revealed a heterogeneous distribution of emerging pollutants in the clusters. High concentrations of 21.55 ng/g of 17 β -estradiol and 47.16 ng/g for 17 α -ethinylestradiol were detected in forest soils. The known sources of these estrogens, both synthetic and natural, in soils come from agricultural practices, which is why their presence in forests, at higher concentrations than in other soil occupations, was not anticipated.

In conclusion, this study sheds light on the evolving nature of Crohn's disease and the increasing indications of its association with agricultural practices. It underlines the correlation between heavy metals in agricultural lands and CD incidence and provides insights into the variability of both emerging and conventional pollutants across different CD clusters. The unexpected presence of hormones, particularly synthetic and natural estrogens, in forested areas where no known sources exist emphasizes the complexity of soil quality and its potential health impacts. This research marks a pioneering effort, being the first large-scale analysis of emerging pollutants in European soils and the first to integrate various land cover types in a comprehensive study of this nature.

L'application des réseaux mesure de flux numériques, pour un management durable des territoires et l'eau souterraine

Marjan Joris, Jeroen November, Stephen Andersen, Niels Van Putte, Goedele Verreydt ⁽¹⁾

Kevin Joosten et Corné Van der Vlucht ⁽²⁾

⁽¹⁾ iFLUX, Galileilaan 18, 2845 Niel, Belgium

⁽²⁾ Dunea, Plein van de Verenigde Naties 11, Postbus 756, 2700 AT Zoetermeer, Nederland

Dans cette présentation, nous montrons comment les réseaux de capteurs numériques en temps réel contribuent à protéger et à restaurer l'équilibre et la qualité de l'eau souterraine, à améliorer le captage des eaux souterraines et à observer les effets du changement climatique et les mesures d'adaptation prises.

Nous montrons comment les mesures numériques des eaux souterraines permettent de mieux comprendre, entre autres, la relation entre la qualité de sol et les eaux et comment les mesures peuvent être mieux adaptées en conséquence.

L'un des réseaux de surveillance a été mis en place sur un site de Dunea pour cartographier l'hydrogéologie après l'installation du "moteur à sable" destiné à protéger le littoral. L'objectif est d'utiliser le réseau de surveillance pour optimiser et mieux gérer l'extraction des eaux souterraines.

Dunea est l'une des trois compagnies d'eau potable des Pays-Bas qui produit dans les dunes et fournit de l'eau potable à une partie de la zone côtière près de La Haye, avec un environnement côtier spécifique. Le volume total de production de Dunea est d'environ 78 millions de mètres cubes par an, grâce à l'infiltration des eaux de surface dans les dunes. En raison du changement climatique, de l'enrichissement des dunes et de la présence d'une décharge dans les dunes, l'extraction des eaux souterraines risque d'être contaminée par la pénétration de l'eau de mer et des contaminants.

Par le passé, des puits de protection ont donc été installés le long du littoral, pompant et rejetant des eaux souterraines salines pour empêcher l'intrusion d'eau salée et la pollution provenant de l'ancienne décharge. Il est essentiel d'empêcher l'eau de moindre qualité d'atteindre la zone d'extraction afin de protéger l'extraction de l'eau et d'en garantir l'exploitation.

L'objectif du projet est de pouvoir continuer à produire de l'eau potable avec des garanties élevées. Nous voulons assurer une production résiliente et durable en réponse à l'augmentation de la demande et au changement climatique, tout en minimisant les coûts et les risques supplémentaires.

Le réseau de capteurs d'eau souterraine permettra également d'optimiser les régimes de pompage dans les zones côtières et intérieures afin d'éviter toute intrusion des contaminations et des saline, surextraction ou perte d'eau douce infiltrée vers la mer. Dans le même temps, le système fonctionnera comme un système d'alerte en temps réel afin que des mesures correctives puissent être prises lorsque les capteurs de flux indiquent des vitesses et/ou des orientations potentiellement dommageables.

Le projet durera initialement 12 mois et se poursuivra à long terme en tant que garantie supplémentaire pour un fonctionnement durable et résilient du bassin.

Cette présentation servira d'introduction au projet et à la définition du problème spécifique aux exploitations d'eaux souterraines de Dunea, ainsi que d'introduction à la technologie de mesure des flux. En outre, nous expliquerons les nouvelles perspectives et les leçons pertinentes tirées des réseaux de mesure iFLUX en Belgique, aux Pays-Bas et en Pologne. Nous accueillerons avec plaisir les commentaires sur la possibilité de contribuer également en France aux défis actuels liés au climat et à l'eau.



INTERSOL, 26-28 mars 24 - Paris, France

La question du rayon d'influence en injection : Outils de mesure géophysique
Managing the radius of influence of injections with geophysical measure tools

Matthieu SANGELY, VALGO, Portet-sur-Garonne ;

Mots clés : Traitement in-situ, Injection de réactifs, Electro-résistivité, Tomographie

Objectifs : Créer un outil permettant de fiabiliser la notion de rayon d'influence et l'application d'un réactif in-situ par injection.

Caractère innovant du projet : Il n'existe pas aujourd'hui de méthode satisfaisante de détermination du rayon d'influence d'une injection in-situ.

Key words: in situ treatment, injection of reagents, electro resistivity, tomography

Goals: conception of a tool for a more reliable estimation of the radius of influence, when injecting a reagent in situ

Innovative approach of the project: today, no method exist to propose a reliable measure of the ROI.

1. Introduction et objectif de l'étude

Les traitements in-situ par injection de réactifs sont des éléments importants de l'arsenal de techniques disponibles pour dépolluer les eaux souterraines. Que ce soit par voie réductive ou par voie oxydative, ces techniques permettent de traiter un très large panel de contaminants, principalement organiques ; COHV, BTEX, HCT, HAP...

L'une des données critiques lors du dimensionnement est la détermination du rayon d'influence des injections. En effet, le succès d'une injection dépend de la bonne mise en contact entre le polluant et le réactif. Pour cela, il est nécessaire d'investiguer la diffusion du réactif dans l'aquifère. Aujourd'hui des moyens indirects et/ou ponctuels sont utilisés (sondage sol, prélèvement d'eau souterraine) mais les résultats sont scientifiquement fragiles.

Pour aller plus loin, VALGO a étudié un moyen de suivre les réactifs dans l'aquifère par tomographie électro résistive. Les résultats que donne cette technique non destructive, sont beaucoup plus riches et cohérents avec la complexité d'un aquifère.

2. Matériel et méthode

Sur une série de PCT, VALGO a proposé un suivi par détection géophysique principalement basé sur l'électro-résistivité. Avant des injections, un premier relevé mettant en jeu à la fois des électrodes horizontales et verticales, permet de déterminer le bruit de fond de l'électro-résistivité. Puis un relevé directement après injection permet, après un traitement mathématique pertinent du signal, de discriminer les zones ayant reçu le réactif.

Des essais laboratoires ont été réalisés pour calibrer cette réponse électro-résistive.

3. Résultats

Des différences significatives de résistivité des sols avant/après injection ont été mis en évidence avec un écart signal sur bruit de fond satisfaisant. Une exploitation par tomographie permet de réaliser une visualisation 3D de la diffusion du réactif dans les sols.

Cette méthode peut être déployée également en pilotage des injections en pilote full-scale pour contrôler l'homogénéité de l'injection dans l'aquifère, ou permettre un meilleur ciblage des campagnes de réinjections. A terme, cette technique pourrait être appliquée au suivi d'un panache de soluté.

4. Conclusions

La tomographie électro-résistive permet d'intégrer la complexité de la configuration des aquifères in-situ dans la détermination d'un rayon d'influence. La pertinence de la notion même de rayon d'influence est questionnée au profit d'un volume d'influence dont la géométrie peut être plus complexe.

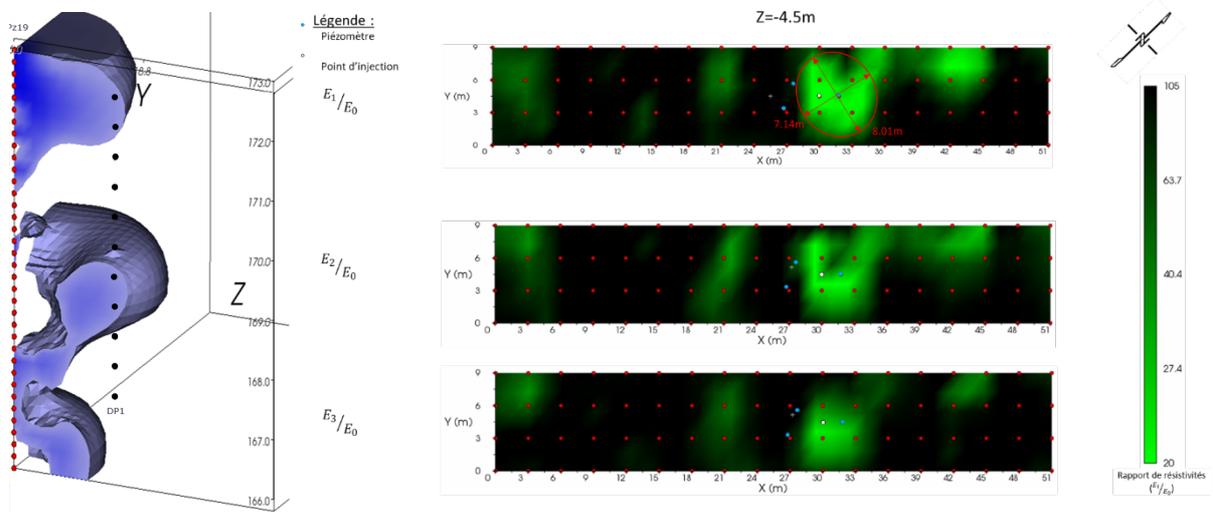


Fig. 1: Exemple de résultats de dispersion de réactifs en conditions réelles.

Data-Driven Strategies for Improving Remediation Project Management: Application in a Real Site

Ignaco Guridi, Chercheur - SARPI Remediation France – Bordeaux INP
ignacio.guridi@veolia.com

Over the last decade, a significant technological transformation has been reshaping how we tackle environmental challenges, particularly in the management of contaminated sites. The integration of advanced data management technologies and the emerging application of artificial intelligence (AI) are fundamentally changing this field. Remediation of contaminated sites, especially large ones, is a complex, costly, and often imprecise process, hindered by uncertainties and limitations in data collection, analysis, and interpretation. However, the convergence of innovative technologies is paving new ways to address these challenges more effectively.

The advent of large-scale data management and artificial intelligence opens new perspectives in the field of contaminated site rehabilitation. These technologies, capable of processing large volumes of data and learning from it, find significant applications in predicting pollutant dispersion, estimating uncertainties on contaminated soil volumes, thus optimizing remediation strategies, and real-time monitoring of remediation operations.

SARPI Remediation (a subsidiary of the SARPI-VEOLIA group), in collaboration with the University of Bordeaux, has focused its efforts over the last three years on refining data management technologies to improve the rehabilitation projects of large contaminated sites. The technological development focused on three critical areas:

Estimation of Contaminated Soil Volume (Evol): This area addresses a fundamental problem in managing contaminated sites: accurately estimating the volume of contaminated soil. The innovation by SARPI Remediation goes beyond quantification, extending to understanding and calculating the uncertainty associated with these volumes. Through the use of deep learning tools, Deep Neural Network (DNN), and traditional forecasting techniques like geostatistics, a methodology called Evol has been developed that significantly improves the reliability of these estimates. For instance, a real-site application demonstrated a high coefficient of determination (r^2) of 0.9882 across generated sample sets. This indicates that the model can explain a high percentage of the variance in the actual data. Moreover, the confidence intervals for soil volume estimates produced by Evol were significantly narrower compared to those from conventional techniques—up to 89% narrower in some cases—illustrating a significant reduction in uncertainty and potential cost overruns for the project.

Estimation of Residual and Free Oil (Emob): Following the first line, this methodology enhances classical techniques for calculating residual oil volume, introducing a streamlined process that leverages easy-to-measure field parameters to refine estimates of residual and free oil saturation across diverse sites. Applied to a case study, this method directly correlates hydrocarbon concentration with soil types to adjust the total recoverable oil volume. It addresses the classical methods' tendency to underestimate residual oil by integrating local soil characteristics, thus significantly improving accuracy and reducing overestimations of recoverable oil by 60%. This approach marks a notable advancement over traditional methods reliant on generic literature values

Project Rehabilitation Tracking and Budget Overrun Prediction: The second area of research focuses on predicting delays or overruns in soil volumes during the execution of on-site and off-site treatment projects. SARPI REMEDIATION teams have implemented predictive models using statistical

calculations that incorporate multiple data sources and variables from previous studies and diagnostics, allowing for the anticipation of actual volumes to be treated by each envisioned remediation technique. The result was an improved estimation post-excavation, with the total volume error reduced by a factor of three, enabling the project to adjust the soil treatment volumes and costs more accurately during the execution phase.

Use of Real-time Data: The third area focuses on integrating real-time data to refine LSTM (Long Short-Term Memory) models, a type of recurrent neural network. This dynamic approach allows for the adjustment of remediation operations in response to changing site conditions, resulting in more agile and adaptive management. The ability to incorporate live data into predictive models means that each project can be continuously adjusted, ensuring that remediation efforts are as effective and economical as possible. For the real site in question, after four months of implementing the LSTM model, the soil volume predictions achieved an error margin of less than 15%. With continued monitoring and model training over ten months, this error margin was further reduced to less than 5%. Such precision in real-time not only streamlines the remediation process but also ensures that the project's actions are continuously optimized for efficiency and cost-effectiveness.

Macro et microplastics

Oliver Buchholz

oliver.buchholz@sgs.com

Industries & Environment

Environmental and Industrial Hygiene Testing
Country Manager France

Context :

Plastic production has reached approximately 400 million tons annually and it is expected to reach 600 million tons by 2025 and exceeding 1 billion tons by 2050. On that amount, 19 – 23 million tons of plastic waste enter the oceans annually. More than 80% of marine litter originates from unmanaged waste streams on land rather than from ocean-based sources.

France has defined a plan to decrease pollution due to coastal landfill in the next 10 years. This confirms the need to understand better this problematic and how to manage those pollutions.

Target:

Contribute from an analytical point of view to the plastics (macro, micro) subject being a combined technical approach for a complete microplastics presence in the environment. Supply all stakeholders involved in this new/future business with the correct information. An important challenge for these analyzes consists of standardizing where there are no standards yet.

Approach to be shared:

By means of combination of different analytic techniques allowing to have a complete picture on the presence of plastics that are shared between: macro plastics (MAP), large microplastics (LMIP) and microplastics (MIP). An overall highlight will cover: sampling methodology and variability, methods development and matrix preparations.

PFAS

PER- AND POLY-FLUOROALKYL SUBSTANCES



3rd International Congress

Gestion des Risques Environnementaux & Sanitaires Management of Environmental & Health Risks

4-5-6/06/2024 – Paris

➤ www.webs-event.com ◀

En partenariat avec / In partnership with:



Interprétation simultanée / Simultaneous translation

CONFÉRENCES - CONFERENCES

Inscription ▪ Registration

EXPOSITION - EXHIBITION - COMMUNICATION

Réserver un stand ▪ Book a stand

www.webs-event.com





Jeudi 28 mars 2024

Solutions techniques : traitements des sols

Modérateur : Pierre-Yves Klein, Président - Estralab

09h00

ERH : Une technique sous employée ?

Jonathan Sénéchaud, Responsable développement & Romain Brunel, Responsable BU Est et grands projets - Colas Environnement

09h20

Dépollution multi technologique d'une ancienne centrale thermique impactée par des COHV

Adeline Pryen, Chef de projet - Englobe France

09h40

LIFE Frac In : Permettre l'assainissement in situ des sols sur des sites peu perméables grâce à la fracturation hydraulique et pneumatique

Stijn Decru, Consultant - ABO (Belgique)

10h00 Pause café

10h20

Projet BIO&BIO : résultats finaux et retours d'expériences du pilote terrain - Biolavage d'hydrocarbures en zone insaturée

Clotilde Johansson, Chargée d'affaires R&D - Ortec Soleo

10h40

Traitement par désorption thermique des boues déshydratées contaminées par les TPH et gestion des vapeurs via une unité de traitement des vapeurs à l'étang de Kalina, Pologne

Jean Rhoné, Responsable de comptes - Haemers Technologies (Belgique)

11h00

Injection de réactif solide non-soluble dans un milieu poreux

Boris Devic-Bassaget, Directeur Technique - SARPI Remediation France

11h20

Test pilote d'injection : design et erreurs

Lionel Counet, Ingénieur Projet - Injectis (Belgique)

Solutions techniques : polluants émergents

Modérateur : Jonathan Sénéchaud, Responsable développement - Colas Environnement

11h40

Dépollution intégrée d'installations de chromage contaminées par du Cr(VI) et des PFAS

Kris Maerten, Responsable Technique Europe - Regenesis (Belgique)

12h00

Réhabilitation catalytique des eaux de lavage des sols contaminés par les PFAS

Akram Rahimi, Responsable des applications - Oxyle (Suisse)

12h20

Élimination efficace des substances alkylées per- et polyfluorées des eaux potables et usées grâce aux résines sélectives Lewatit®

Dirk Steinhilber, Responsable Marketing Technique Marketing Global - Lanxess

12h40

Polluants émergents : élimination du lithium dans les eaux de surface et en nappe

Laurent Thannberger, Responsable scientifique - Valgo

13h00 Déjeuner

Solutions techniques : techniques biologiques

Modérateur : Laurent Thannberger, Responsable scientifique - Valgo

14h00

Bio-Flushing, une technologie innovante pour la décontamination in situ des sols et des eaux souterraines

Cosimo Masini, CEO - DND Biotech (Italy)

14h20

Valorisation sur site de déblais de chantier lors de la reconversion des friches : Réflexion sur une démarche intégrative des problématiques liées à la qualité agro-environnementale des déblais et levée des verrous techniques

Anaëlle Prieur, Ingénieure Sites et Sols Pollués - Microhumus Laboratoire

14h40

Expérimentation sur la création de sols fertiles

Laurent Legendre, Chef de projet - SCE

15h00 Pause café

15h30

Fresque du sol : une fresque pour remettre les sols au cœur des débats

Atelier interactif et connecté !

Animateur : Antoine Piérart, Coordinateur qualité des sols et prospective & Coordinateur Fresque du Sol - ADEME

16h30 Fin de la troisième journée / Fin du congrès



Thursday March 28, 2024

Technical solutions: soil treatments

Moderator: Pierre-Yves Klein, President - EstraLab

09h00

ERH: An underused technique?

Jonathan Sénéchaud, Development Manager & Romain Brunel, Eastern BU and Major Projects Manager - Colas Environnement

09h20

Multi-technological depollution of a former thermal power plant impacted by HVOCs

Adeline Pryn, Project Manager - Englobe France

09h40

LIFE Frac In: Enabling in situ soil remediation on low-permeability sites through hydraulic and pneumatic fracturing

Stijn Decru, Consultant - ABO (Belgium)

10h00 Coffee Break

10h20

BIO&BIO project: Final results and sharing of experiments about the soil bioflushing pilot - Treatment of hydrocarbons in the vadose zone

Clotilde Johansson, R&D Business Manager - Ortec Soleo

10h40

Thermal desorption of TPH contaminated dehydrated sludges and vapor management at the Kalina Pond, Poland

Jean Rhôné, Account Manager - Haemers Technologies (Belgium)

11h00

Injection of non-soluble solid reagent in a porous medium

Boris Devic-Bassaget, Technical Director - SARPI Remediation France

11h20

Pilot injection test: design and errors

Lionel Counet, Project Engineer - Injectis (Belgium)

Technical solutions: emerging pollutants

Moderator: Jonathan Sénéchaud, Development Manager - Colas Environnement

11h40

Integrated Remediation of Cr(VI) and PFAS Contaminants in Chrome Plating Facilities

Kris Maerten, Technical Manager Europe - Regenesis (Belgium)

12h00

Catalytic Rehabilitation of PFAS contaminated soil-washing water

Akram Rahimi, Head of applications - Oxyle (Swiss)

12h20

Efficient removal of per- and polyfluorinated alkyl substances from potable- and wastewater with selective Lewatit® resins

Dirk Steinhilber, Technical Marketing Manager Global Marketing - Lanxess

12h40

Emerging pollutants: removal of lithium in runoff- and groundwater

Laurent Thannberger, Scientific Manager - Valgo

13h00 Lunch

Technical solutions: bio-techniques

Moderator: Laurent Thannberger, Scientific Manager - Valgo

14h00

Bio-Flushing, an innovative technology for in situ soil and groundwater decontamination

Cosimo Masini, CEO - DND Biotech (Italy)

14h20

On site valorization of excavated soil material during brownfield reversion: an integrative approach to agro-environmental challenges and technical barriers

Anaëlle Prieur, Polluted Sites and Soils Engineer - Microhumus Laboratoire

14h40

Experimentation on the creation of fertile soils

Laurent Legendre, Project Manager - SCE

15h00 Coffee Break

15h30

Soil fresco : a fresco to put soil in the heart of the debates

Interactive and connected workshop!

Animator: Antoine Piérart, Soil Quality and Prospective Coordinator & Soil Fresco Coordinator – ADEME

16h30 End of the Day Three / End of the congress



Dépollution in situ par désorption thermique sous eau !

Depuis plusieurs années COLAS Environnement, filiale du groupe COLAS, spécialisée en dépollution des sols et des nappes phréatiques met en œuvre la technique de désorption thermique in situ de type ERH (Electrical Resistance Heating).

Cette méthode de traitement innovante en France vise à augmenter la température d'un sol et/ou d'eaux souterraines impactées pour atteindre une température cible permettant la désorption des polluants. Elle vise majoritairement le traitement de zones sources concentrées en zone saturée et/ou non saturée en eau et dispose de nombreux avantages techniques et financiers en comparaison de process de traitement par désorption thermique classique (gaz, conduction...).

Fort des REX accumulés, les équipes de COLAS Environnement ont eu l'occasion de mettre en œuvre cette technologie très efficace pour réhabiliter un ancien site industriel passif fortement impacté en COHV. Dans l'étude de cas présentée, cette méthode a permis d'éviter l'excavation de sols sous contraintes géotechniques fortes et la gestion hors site de terres.

Sur cet ancien site industriel, les données d'entrées indiquaient notamment, une pollution en solvant chlorés (majoritairement TCE) jusqu'à 12 m de profondeur sur plus de 1 000 m² avec une concentration maximale de 30 000 mg/kg de MS.

Les eaux souterraines étaient repérées entre -1 et -3 m de profondeur.

Relativement à ces quelques données, le défi technique était donc de taille. Abattre significativement les concentrations en solvants chlorés au droit de la zone source concentrée dans un laps de temps rapide

Après la pose d'une centaine d'électrodes de chauffe et puits d'extraction, de 4 mois de traitement et d'une campagne de réception impliquant la réalisation de plus de 100 échantillons de sols, nos équipes ont pu dépasser les objectifs attendus avec des taux d'abattement supérieur à 99%.

Présentation par

- Jonathan SENECHAUD, responsable développement Colas Environnement
- Romain Brunel, responsable BU Est et grands projets Colas Environnement

Jonathan SENECHAUD
Responsable développement
COLAS Environnement
Tél : 0762929319



Dépollution multi technologique d'une ancienne centrale thermique impactée par des COHV

Adeline KLOTZ¹, Erwan GOULIAN² et Jean RHONE³

¹ **ENGLOBE France**, Ecosite de Vert-Le-Grand, Chemin de Braseux, Echarcon, France

<https://www.englobecorp.com/fr-fr/> | tél : 01.64.56.78.00

² **EVONIK**, Postcode 10-A311 | Rodenbacher Chaussee 4 | 63457 Hanau-Wolfgang | Germany

³ **HAEMERS Technologies**, Chaussée de Vilvorde 104, 1120 Brussels, Belgium

Mots clés : COHV, Venting/Sparging, Oxydation Chimique, Désorption Thermique.

Dans le cadre de la réhabilitation de leur site implanté sur la commune de Lucciana (Corse), EDF a mandaté ENGLOBE France, afin de réaliser dans un premier temps un diagnostic complémentaire de la qualité du site sur les milieux sol, eau et gaz du sol. Ce dernier a révélé un impact notable en COHV dans les gaz du sol, au droit de deux zones sources (Zone nord : 980 m² et Zone sud : 870 m²).

ENGLOBE, entouré de ses partenaires EVONIK et HAEMERS Technologies, a ensuite été missionné pour réaliser les travaux pleine grandeur permettant ainsi l'abattement de la pollution pour rendre compatible l'usage du site et ce avec un objectif de réhabilitation imposé par arrêté préfectoral, pour les COHV dans les gaz du sol.

4 technologies de traitement ont été mises en œuvre pour permettre l'atteinte de l'objectif au droit des 2 zones sources impactées :

- Désorption thermique (au droit des zones les plus impactées) avec application d'un traitement en 2 batchs pour une surface totale de 650m² et une profondeur de 13m (toit de nappe), pour une durée de l'ordre de 3 mois pour chaque zone. L'ensemble des vapeurs collectées ont été traitées au sein d'une unité spécifique de condensation et filtration sur charbon actif.
- Traitement par pompage/ écrémage d'une phase libre flottante, couplé à un rabattement de nappe au droit de la zone traitée par désorption thermique
- Traitement périphérique par venting/sparging pour une surface totale de 1 850m², sur une durée de l'ordre de 11 mois, intéressant de fait les gaz du sol et eaux souterraines.
- Oxydation chimique pour traitement résiduel de la nappe phréatique avec utilisation de la température résiduelle dans le milieu sol et zone saturée (40°C à 60 °C) pour activation du réactif oxydant (persulfate de sodium) sur une surface totale de l'ordre de 1 000m² (tranche de 2m de zone saturée).

Cette opération de traitement multi technologique a été le lieu d'innovations et de retours d'expériences particuliers :

- Innovation pour la désorption thermique avec optimisation énergétique par déport de flamme en profondeur permettant de cibler l'influence du traitement appliqué ;
 - Première opération d'oxydation chimique avec activation du persulfate par la température du milieu, avec une injection au sein d'ouvrages de traitement de DT ;
 - REX concernant la création abondante de gypse au sein des ouvrages d'injection par l'usage de lait de chaux en tant qu'agent tampon du milieu
 - REX de mise en évidence de produits apparu en fin d'opération (chloroforme et bromoforme).
-

Multi-technology depollution of a former thermal power plant impacted by volatile organic compounds (VOCs)

Key words: VOCs, Sparging/SVE, In Situ Chemical Oxidation, Thermal Desorption

As part of the remediation of their site in the commune of Lucciana (Corsica), EDF mandate ENGLOBE France to realize an additional diagnosis of the site's soil, water and soil gas quality. This revealed a significant impact of VOCs in soil gases, in two source zones (North zone: 980 m² and South zone: 870 m²). ENGLOBE with its partners EVONIK and HAEMERS Technologies, were then mandated to carry out the full-scale work, in order to decrease concentration according to allowed the site compatible with the remediation target imposed by Prefectoral Decree for VOCs in soil gases.

4 treatment technologies have been implemented to meet the objective in the 2 source zones impacted:

- Thermal desorption (in the most heavily impacted areas) with a 2-sequence treatment process covering a total surface area of 650m² and a depth of 13m (groundwater table), during about 3 months for each area. All vapors collected were treated in a special condensation and activated carbon filtration unit.
- Treatment by pumping/skimming of a floating free phase, coupled with lowering of the water table in the area treated by thermal desorption.
- Peripheral treatment by Soil Vapor Extraction/Sparge for a total surface area of 1,850m², over a period of about 11 months, involving Soil gas and groundwater treatment.
- Chemical oxidation for final local groundwater treatment, using the residual temperature in the soil and saturated zone (range of 40°C to 60°C) to activate the oxidizing reagent (sodium persulfate) over a total surface area of around 1,000m² (2m slice of saturated zone).

This multi-technology treatment operation allowed few innovations and feedbacks:

- Innovation in thermal desorption, with energy optimization using deported flame offset to target only the contaminated deeper area;
- First chemical oxidation operation with in situ persulfate activation by the temperature, with injection into DT treatment vapor wells;
- Feedback concerning the abundant creation of gypsum within the injection works by using lime slurry as a buffering agent;
- Feedback on products that appeared at the end of the remediation process (chloroform and bromoform).

LIFE Frac In : Permettre l'assainissement in situ des sols sur des sites peu perméables grâce à la fracturation hydraulique et pneumatique

LIFE Frac In: Enabling in situ soil remediation on low-permeability sites through hydraulic and pneumatic fracturing

Stijn Decru

Project engineer soil at ABO nv

Email: stijn.decru@abo-group.eu

Phone number: +32 496 59 88 54

Stijn Decru (ABO nv, Belgium), Ondřej Lhotský (Dekonta, Czech Republic), Jan De Vos (ABO nv, Belgium),

Mots-clés : Technique, dépollution, traitement, traitements in situ, dépollution, techniques éprouvées et/ou innovantes, infiltrabilité des sols

The pattern of ground remediation practices is altering from traditional excavation and 'ex-situ' treatment toward in-situ treatment technologies. This shift is caused by increased regulatory control of landfill operations and associated rising costs, combined with the requirements on sustainability and the ongoing improvement of in-situ ground remediation techniques. In the case of in situ chemical or biological treatments (ISCO, ISCR, biodegradation, stabilization, sorption, etc.), different remediation agents are injected into the soil for contaminant removal/breakdown. Successful treatment of the soil depends on direct contact between the remediation agents and the contaminant. Therefore, proper distribution of the remediation agents into the contaminated matrices is crucial.

Direct push (DP) is an innovative delivery method used for injection of soil remediation agents in situ, while omitting the need for permanent wells. This reduces material and operational costs and makes it possible to achieve higher treatment efficacies. A variety of remediation agents (oxidants, reduction agents, nutrients etc.,) both in liquid and solid (suspension) form can be injected via DP. The main limitation of DP is poor applicability for sites with a low permeability (permeability below 10⁻⁵ m/s). While proven successful for highly permeable soils, this limitation is currently hampering the application of in situ chemical or biological treatment in low permeable soils.

The problem of minimal spreading of injected remedial agents in low permeability soils can be overcome through soil fracturing (hydraulic, pneumatic or blasting). However, the existing fracturing technology is not suitable for a remediating agents' injection without the installation of special wells. The FRAC-IN technology combines Direct-Push drilling with pneumatic and hydraulic fracturing to inject remediation agents in low permeable contaminated soils, thus enabling in situ treatment. The injected suspension consists of a water-sand-guar gum mixture, containing tailor-made remediation agents such as coarse milled iron filings (recycled waste material) and/or other chemical reductants or oxidants, and carbon/oxygen sources to enhance bacterial activity.

Several contaminated sites (5 in Belgium, 2 in Czechia) have been selected for pilot testing of the FRAC-IN technology. Thus a wide range of geological and contamination conditions are represented. On 1 Belgian site, Cr(VI) contamination is present in the banks of a motorway, due to waste from a chromate plant. A direct push injection pilot failed because of the low permeability of the sandy clay soil. At another Belgian site, chlorinated solvents are present in groundwater due to historical meal works activities (degreasing). The soil consists of sandy and loamy clays and hence is poorly

permeable; limiting the available remediation solutions. Overall, 12 to 36 injections will be performed per site with various remediation agents injected at regular intervals.

The objective of the proposed LIFE project is to validate the FRAC-IN technology in different field conditions and soil types, to provide a list of reference projects for potential customers and to speed up the wider implementation of the technology for full scale applications. Verifying the optimal operating conditions, the vertical working ranges and the compatibility of FRAC-IN with established remediation agents will result in operational guidelines. The first pilot tests were initiated in 2018. At the conference, the application of the FRAC-IN technology at several pilot test sites, as well as the achieved clean-up of each encountered contaminant, will be presented.

**PROJET BIO&BIO : RESULTATS FINAUX ET RETOURS D'EXPERIENCES DU PILOTE TERRAIN - BIOLAVAGE
D'HYDROCARBURES EN ZONE INSATUREE**

**BIO&BIO PROJECT: FINAL RESULTS AND SHARING OF EXPERIMENTS ABOUT THE SOIL BIOFLUSHING PILOT.
TREATMENT OF HYDROCARBONS IN THE VADOSE ZONE**

**Louise Dumoux¹, Clotilde Johansson¹, Carole Marcon¹,
Christophe Barnier², Stéphanie Ouvrard³, Sonia Henry³, Martin Gaboriau⁴**

¹ ORTEC-SOLEO, 8 ter avenue du Docteur Schweitzer, Meyzieu, 69330, France

² WSP GOLDER, 31 rue Gorge de Loup, Lyon, 69009, France

³ Université de Lorraine, INRAE, Laboratoire Sols et Environnement (LSE), 2, avenue de la Forêt de Hays, BP20163 - Vandœuvre-lès-Nancy, 54505, France

⁴ SNCF, 6, avenue François Mitterrand, la Plaine Saint Denis Cedex, 93574, France

Coordonnées Orateur :

Clotilde JOHANSSON, Agence du 8 ter avenue du Docteur Schweitzer - 69330 MEYZIEU
06 74 32 23 64 / Clotilde.johansson@ortec.fr

Caractère innovant : Amélioration de la biodisponibilité d'hydrocarbures pétroliers en zone non saturée et zone de battement de nappe par biolavage via l'injection de biosurfactants, stimulation de la biodégradation *in situ*.

Mots clés : Biolavage, biodisponibilité, biosurfactants, rhamnolipides, hydrocarbures.

Objectifs : Pilote terrain pour tester l'efficacité des biosurfactants et des cultures de micro-organismes dégradants dans l'amélioration de la biodisponibilité des hydrocarbures et l'accélération de leurs cinétiques de dégradation *in situ*, en zone non saturée, via la technique de biolavage.

Abstract :

Le projet BIO&BIO issu de l'appel à projet Gesipol de l'ADEME, vise à développer des solutions techniques de **biolavage** à l'aide de biosurfactants pour améliorer l'efficacité de la remédiation en tenant compte des facteurs limitants comme la **biodisponibilité**. Ce projet s'inscrit dans une démarche de recherche appliquée, soutenu par un consortium industriel et académique, et développé sur un site pollué du centre-Est de la France. Le projet est aujourd'hui en phase de se terminer avec l'arrêt du pilote terrain, permettant la présentation des résultats finaux de ce programme de recherche. Les observations réalisées mettent en perspective une nouvelle approche du biolavage en zone insaturée, ainsi qu'une meilleure appréhension des mécanismes clés.

Avant mise en place du pilote terrain, la production de biosurfactants (rhamnolipides) par le consortium microbien indigène et par une souche non pathogène *Burkholderia thailandensis*, leur efficacité en termes de biolavage des sols, et la biodégradation induite des hydrocarbures pétroliers ont été testées en laboratoire, en partenariat avec WSP GOLDER et le LSE (Laboratoire Sols et Environnement). Au vu des résultats obtenus (présentés lors des précédents séminaires Intersol) la culture et production de biosurfactants par la souche non pathogène a été développée à plus grande échelle par ORTEC SOLEO, permettant de valider la production de biosurfactants en conditions non stériles, avec ensemencement par recyclage de 10 % du milieu de culture.

Un essai pilote terrain a été réalisé sur une durée de 12 mois. L'essai a débuté par une première phase de lavage à l'eau (4 mois) pour observer l'impact d'un lavage sans réactifs et stabiliser la remobilisation de flottant. Celui-ci a été réalisé par pompage continu de l'eau de nappe, écrémage et passage dans un biofiltre (aéré, non amendé), puis réinjection de cette eau en zone non saturée à

l'aide de 7 aiguilles réparties autour du puits central de pompage, pour un débit de l'ordre de 1 m³/h. Un total de 4 injections de la solution de biosurfactants produite par la souche *B. thailandensis* et du milieu de culture ont ensuite été réalisés à 1 mois d'intervalle, avec maintien du pompage/réinjection en continue des eaux. Suite aux observations terrain (difficultés d'injections, passage en anaérobie des eaux souterraines), les injections de biosurfactant ont été stoppées et une injection d'oxygène dissous (via emploi de peroxyde d'hydrogène dilué) a été réalisée en fin de traitement sur une durée de 2 mois. Le lavage s'est poursuivi encore un mois à l'eau avant arrêt de l'unité. Un suivi physico-chimique et analytique a été effectué pour monitorer l'évolution du milieu au cours du biolavage en termes :

- De remobilisation et extraction des hydrocarbures via le dispositif de pompage-écrémage,
- De mesure de la concentration en pollution dissoute dans les eaux du site,
- De l'évolution biologique du milieu via la concentration en biosurfactants dans les eaux pompées et le suivi biomoléculaire des marqueurs de dégradation des hydrocarbures dans la zone d'essai et en aval de cette zone.

Les observations terrain confirment les résultats obtenus en colonne de sol par WSP GOLDER : **la remobilisation de la pollution dans les eaux de pompage suite à l'ajout des biosurfactants n'a pas été observée** au cours du traitement biologique, les teneurs restent en moyenne autour des 0,6 mg/L. Les concentrations mesurées dans les eaux *in-situ* au cœur de la zone pilote ont pu montrer des élévations ponctuelles (comprises entre 20 et 32 mg/L) mais restent globalement stables et inférieures à 12 mg/L.

En revanche, **ces injections semblent favoriser la production de biosurfactants ainsi que la biodégradation des hydrocarbures *in-situ***. En effet, les teneurs en rhamnolipides mesurées dans les eaux de la zone pilote se sont avérées, 1 mois après la première injection, supérieures à la quantité injectée. Les analyses de biologie moléculaire confirment un développement des communautés bactériennes *in-situ*, notamment celles capables de produire des biosurfactants. Une stimulation de l'expression des gènes (augmentation de l'ARN) identifiés pour la biodégradation des hydrocarbures légers C₅-C₂₀ est également observée. Les campagnes de mesures suivantes montrent que les rhamnolipides observés *in-situ* se stabilisent autour d'une concentration de 50 mg/L et que la biodégradation est maintenue à un fort niveau d'activité. Le confinement hydraulique de la zone pilote n'a pas pu être maintenu à 100% au cours du pilote, générant une autre observation : l'apparition de biomarqueurs de dégradation et d'une augmentation de l'activité microbienne jusqu'à 32m en aval de la zone pilote. **L'impact du biolavage semble s'être propagé bien au-delà du rayon d'action hydraulique.**

Suite à la 4^{ème} injection, une modification importante est survenue dans la zone pilote : un colmatage dû à une trop forte injection de biosurfactants et un passage du milieu en anaérobie. Une injection d'oxygène dissous a été réalisée pour tenter de réguler le milieu. Les derniers résultats sont en cours de traitement.

L'aboutissement par un pilote terrain de ce projet BIO&BIO ouvre sur de nouvelles perspectives concernant le traitement des hydrocarbures en zone non saturée par le procédé de biolavage. Contrairement aux hypothèses initiales d'une remobilisation de la pollution par les biosurfactants suivie d'un pompage traitement des eaux, les processus du biolavage ont été observés en *in-situ* avec une augmentation de la biodisponibilité des hydrocarbures légers, une biostimulation importante et la dégradation des composés directement dans le milieu. L'impact du traitement est observé à plusieurs mètres de la zone pilote, ce qui semble prometteur pour une application plein échelle.

Thermal Desorption of TPH Contaminated Dehydrated Sludges and Vapor Management at the Kalina Pond, Poland

(Traitement par désorption thermique des boues déshydratées contaminées par les TPH et gestion des vapeurs via une unité de traitement des vapeurs à l'étang de Kalina, Pologne)

Presenter : Jean Rhoné (jean.rhone@haemers-tech.com) - Account Manager

Authors : Willian Felipe Do Prado (willian.doprado@haemers-tech.com), Lucie Devaux, Aline Jordens, Hatem Saadaoui, Jan Haemers (Haemers Technologies.), Maciej Brągiel, Konrad Tyrybon (Remea, Warsaw, Poland)

Background/Objectives: The five-hectare Kalina Pond, situated in Świętochłowice, very close to Katowice, Poland, had its origins in the early 20th century as a result of coal mining activities in the region prior to World War I. Initially, it served as a fishing pond and later transformed into a leisure center with the addition of a swimming pool. For many years, the reservoir remained relatively intact. However, a significant shift occurred in the early 1950s when a nearby chemical plant, specializing in paint and varnish production, began disposing of its waste upstream from the reservoir. Consequently, the site became rapidly contaminated with BTEX, phenol, and aromatic hydrocarbons due to runoff from the waste pile.

Approach/Activities: In response to this environmental challenge, Remea Poland/Menard, a Polish environmental remediation company, engaged Haemers Technologies to spearhead the decontamination efforts. The primary objective was to rejuvenate the site, transforming it into a recreational area for local residents while fostering biodiversity in the region. Haemers Technologies designed an ex-situ thermal treatment plant, comprising two main units:

- A heating pile containing dehydrated sludges (with humidity levels of up to 50%) collected from the pond's bottom.
- A Vapor Treatment Unit (VTU), responsible for recondensing the vapors and reintroducing them into the pile for oxidation via a burner flame (reburn principle).

At the outset of 2022, Haemers Technologies initiated a on-site pilot-demonstration pile on to demonstrate the efficacy of its ex-situ Smart Burner technology in addressing the specific contaminants. Subsequently, two additional piles were constructed adjacent to the pond to actively treat the sludges.

Results/Lessons Learned: The project encompassed the treatment of 2800m³ of contaminated sludges, with maximum average pollutant concentrations of up to 12,500 mg/kg d.m for PAHs, 720 mg/kg d.m for BTEX, and 1049 mg/kg d.m for phenols. The treatment spanned a duration of 10 months and resulted in a remarkable pollutant mass reduction exceeding 99.5%.

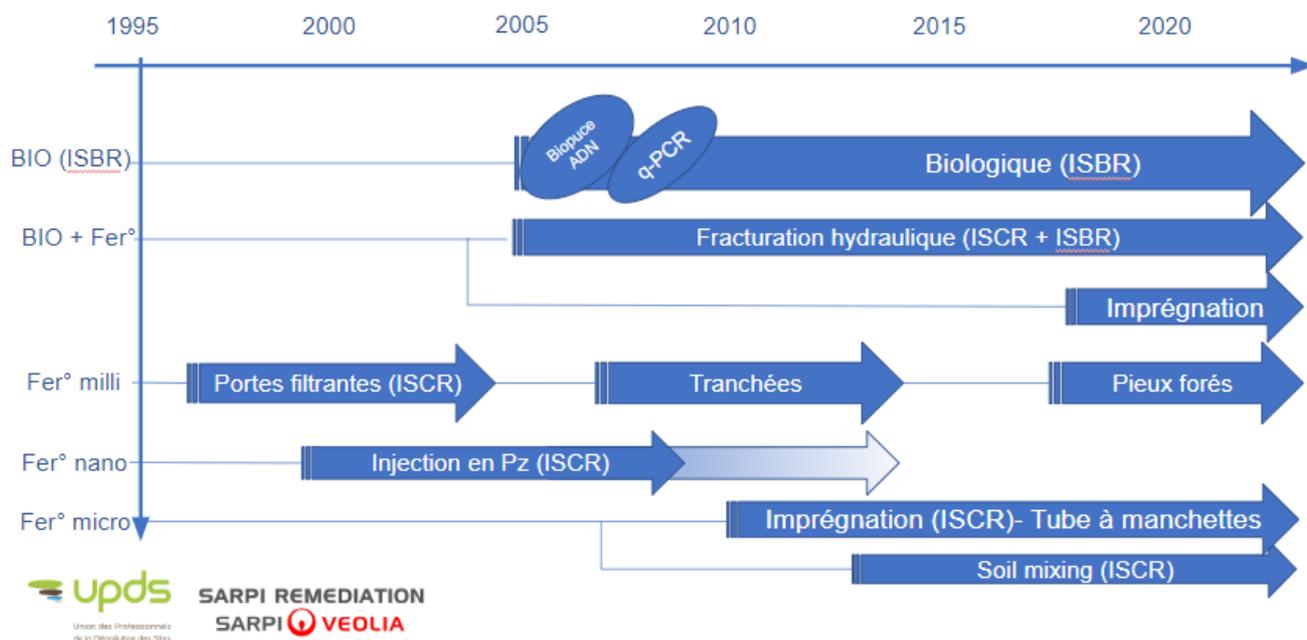
The successful completion of the project has led to the restoration of the site, allowing residents to enjoy the recreational features of the pond and newly developed facilities once again. Moreover, the revitalization efforts have facilitated the return of wildlife, rejuvenating this small piece of land.

Injecter un réactif solide non-soluble dans un milieu poreux n'est pas chose aisée

SARPI Remédiation France, 17, Rue du Périgord - 69330 MEYZIEU, membre UPDS
 Boris Devic-Bassaget (boris.devic-bassaget@veolia.com) - Directeur Technique, Lyon, France

Depuis une quinzaine d'années, les techniques de traitement in-situ visant à injecter des particules solides non solubles dans une zone saturée ou insaturée a des fin de traitement par réduction chimique, sont de plus en plus appliquées et développées. Si l'efficacité de la réduction chimique entre le Fer Zéro Valent et certains composés chlorés, est démontrée au laboratoire en conditions optimales, l'enjeu des approches de traitement in-situ réside dans le fait de reproduire un contact intime entre le réactif et le polluant in-situ, dans une granulométrie variable et parfois à plusieurs mètres de profondeur.

Historique des traitements par réduction et applications



Dès lors, la technique d'injection par imprégnation où la taille des particules injectées et la rhéologie des suspensions deviennent des paramètres clés dans la stratégie de traitement envisagée. Sur la partie injection, il sera nécessaire de déterminer s'il s'agit d'imprégner le terrain pour obtenir des temps de résidence des polluants dans le milieu longs, ou bien de fracturer le sol avec une formulation donnée pour des temps de résidence courts. Le contexte géologique, le débit et la pression d'injection seront déterminant pour anticiper la bonne dispersion du réactif sur la verticalité de l'injection et sur les rayons d'influences espérés.

Les compositions des substrats réactifs de réduction chimique à base de fer zéro valent, comme d'autres substrats particuliers pour l'oxydation par exemple, ont été adaptées depuis des années pour permettre la migration dans le terrain des particules denses qui ont tendance à décanter ou à s'essorer par filtration lors de la migration dans le sol. L'ajout de biopolymères, le plus souvent à base de gommes dérivées des sucres (polysaccharides, gommes de guar ou xanthane) est essentiel pour stabiliser les suspensions et limiter les effets

Injection des sols par imprégnation

de filtration. Cependant, ces produits modifient largement les propriétés rhéologiques des suspensions: ils apportent un seuil de cisaillement en deçà duquel le fluide est figé et permet aux particules pesantes de rester en suspension.

Ce comportement est à modérer lorsque le projet nécessite une imprégnation des pores du sol dans sa masse. En effet, le seuil de cisaillement empêche l'imprégnation des sols par frottement visqueux et favorise la fracturation hydraulique des sols lorsque le fluide est injecté sous pression.

L'exposé développe les conditions limites de débit-pression et de granulométrie des suspensions réactives pour l'imprégnation de masse des sol, sans les deux réunies conduit à la fracturation hydraulique.

$$Q_{max} \leq \frac{2 \cdot \pi \cdot K \cdot e \cdot \eta_0}{\varpi \cdot \eta \cdot \ln\left(\frac{R}{r_0}\right)} \left[\gamma \cdot h(1 + \sin \phi) \cdot \nu - \frac{4 \cdot \tau_0 (R_{inj} - r_0)}{D_{10}} \right]$$

où :

$Q =$	débit en $m^3 \cdot s^{-1}$
$\varpi =$	densité du coulis en kg/m^3
$K =$	perméabilité du milieu alluvionnaire en $m \cdot s^{-1}$ (à l'eau)
$\eta_c =$	viscosité cinématique du coulis en $mPa \cdot s$ (proche de l'eau sans polymère, 2 à 10 avec polymère)
$\eta_0 =$	viscosité cinématique de l'eau en $mPa \cdot s$ (env. 1 $mPa \cdot s$ à 20 °C)
$e =$	épaisseur de la couche concernée en m (prise à 0,33 à 0,5 m en général pour le TAM)
$R =$	rayon d'action de Dupuit en m. (NDR : On peut prendre $R = 10 \cdot R_{inj}$ pour prise en compte de l'effet court terme, le puits n'ayant pas eu le temps de se développer en quelques minutes)
$h =$	Profondeur d'injection en m
$\gamma =$	Densité du sol au-dessus du point d'injection
$\phi =$	Angle de frottement du sol (en général 35° pour des alluvions)
$\nu =$	Coefficient de Poisson du sol (en général 0,3)
$R_{inj} =$	rayon max de l'injection en m
$r_0 =$	rayon du forage en m (= 0,05 m en général)
$\tau_0 =$	Seuil de cisaillement du coulis en Pa (0 à 10 Pa selon type de polymère)
$D_{10} =$	Diamètre passant du sol en m.

Cette présentation compare également les techniques d'injection via des Tubes à Manchettes, le direct-push ou le tube crépiné ainsi que les principaux critères de choix pour valoriser un milieu imprégnés par le réactifs plutôt que des fractures qui peuvent créer des chemins préférentiels et limité l'efficacité du traitement.

Injection des sols par imprégnation

Technique	ISBR	ISCR (Injection imprégnation)	ISCR (Fracturation hydraulique)	ISCR Soil Mixing
Réactif	Mélasse / émulsion huile / lactate	ZVI ou mélange avec source carbone	ZVI ou mélange avec source carbone	ZVI
Rhéologie réactif	Très fluide (eau) $\eta_c = 1 \text{ mPa.s}$ $\tau_0 = 0 \text{ Pa}$	fluide $\eta_c = 2-3 \text{ mPa.s}$ $\tau_0 = 0,1-2 \text{ Pa}$	Épaisse $\eta_c = 5-20 \text{ mPa.s}$ $\tau_0 = 2-10 \text{ Pa}$	Indifférente
mode opératoire	Pz, Flute de pan	IRS (TAM bas débit) / SPIN® one shot	Direct Push / TAM haut débit	Tarière
Fréquence réinjection	6-12 mois zone source	One shot zone source / 2-3 ans BPR	2 ans BPR	One shot zone source
Dosage courant	+/- 5g/l par campagne	+++ 0,5 - 1 % sol	Faible (0,1 - 0,2% masse)	1%, 2% puis 4% (limiter les effets biologiques)
Porosité injectée	Efficace	Efficace- totale 15-30% selon K	1-2% (Fracturation hydraulique)	totale : 15-30% volume de sol
Débit	Lent Rapide	Lent (600-1200L/h/m)	rapide (3000 -6000 L/h/m)	Mélange
Qualité du traitement	+/- (diffusion)	++ (filtration)	- - - (claquages de qq mm)	+++ (optimal si sécant)
Zones Sources	++/+	++/+++	-	+++
Panache	+/-	+++	++	- (altération baisse K)
Remarque			Résurgences (faible profondeur)	Altération géotechnique
Voie d'optimisation	Améliorer le traitement Injection Sélective (TAM)	porosité totale injectée, maillage resserré 2,5 - 3 m, recirculation (zone source confinées)		Dosage fer 4%, colonne sécantes

ZVI : zerovalent iron (fer zéro valent)

IRS : Injection Répétitive et Sélective

K = perméabilité

TAM : Tube à manchettes

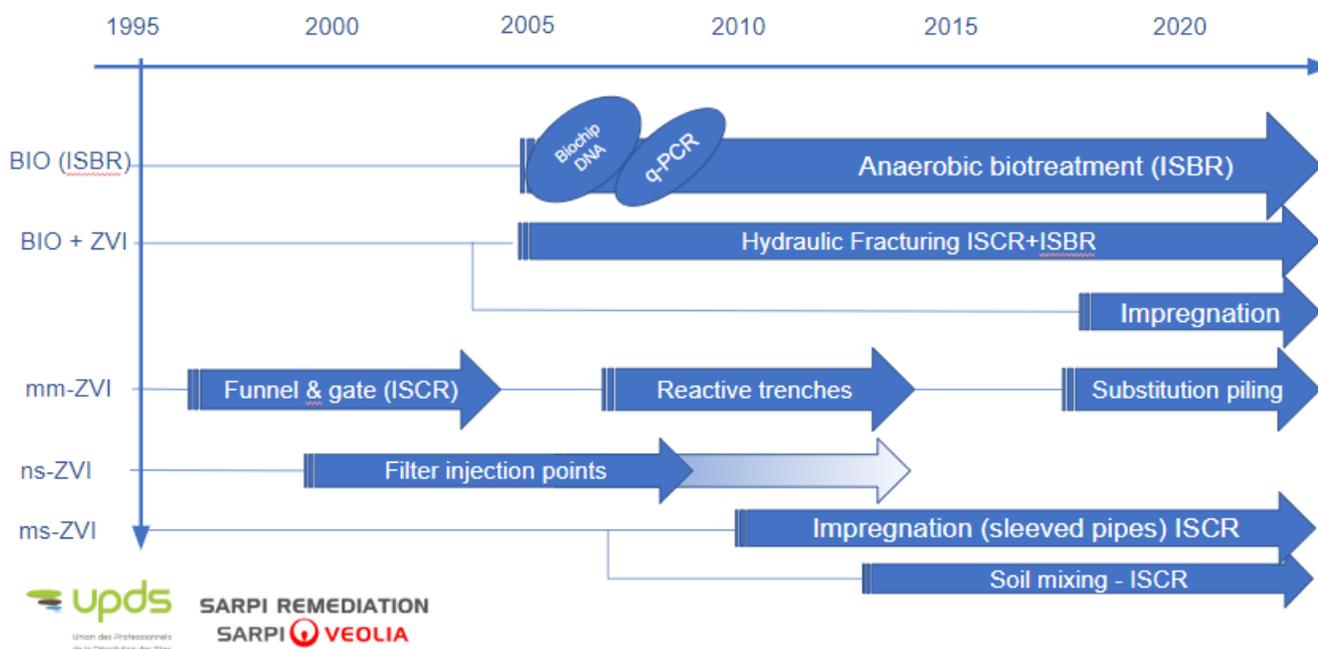
La présentation sera illustrée de quelques retours d'expériences sur les diverses techniques d'injection.

Injection des sols par imprégnation

SARPI Remediation France, 17, Rue du Périgord - 69330 MEYZIEU, UPDS member
Boris Devic-Bassaget(boris.devic-bassaget@veolia.com) - Technical Director, Lyon, France

Over the past fifteen years, in-situ treatment techniques aimed at injecting non-soluble solid particles into a saturated or unsaturated zone for the purpose of treatment by chemical reduction have been increasingly applied and developed. If the effectiveness of chemical reduction between Zero Valent Iron and certain chlorinated compounds is demonstrated in the laboratory under optimal conditions, the challenge of in-situ treatment approaches lies in reproducing intimate contact between the reagent and the pollutant in-situ, in variable particle size and sometimes at several meters depth.

Reduction chemical and biological remediation history (France)



Therefore, the impregnation injection technique where the size of the injected particles and the rheology of the suspensions become key parameters in the envisaged treatment strategy. On the injection part, it will be necessary to determine whether it involves impregnating the ground to obtain long residence times for pollutants in the environment, or fracturing the soil with a given formulation for short residence times. The geological context, the flow rate and the injection pressure will be decisive in anticipating the good dispersion of the reagent on the verticality of the injection and on the expected radii of influence.

The compositions of reactive chemical reduction substrates based on zero valent iron, like other particulate substrates for oxidation for example, have been adapted for years to allow the migration in the ground of dense particles which tend to settle or to be drained by filtration during migration in the soil. The addition of biopolymers, most often based on gums derived from sugars (polysaccharides, guar or xanthan gums) is essential to stabilize the suspensions and limit the filtration effects. However, these products largely modify the rheological properties of the suspensions: they provide a shear threshold (or yield point) below which the fluid is “frozen” and allows heavy particles to remain in suspension.

Injection des sols par imprégnation

This behavior should be moderated when the project requires impregnation of the pores of the soil throughout its mass.

Indeed, the shear threshold prevents the impregnation of soils by viscous friction and promotes hydraulic fracturing of soils when the fluid is injected under pressure.

The presentation develops the limiting conditions of flow-pressure and particle size of reactive suspensions for the mass impregnation of soils, without the two combined leading to hydraulic fracturing.

$$Q_{max} \leq \frac{2. \pi. K. e. \eta_0}{\varpi. \eta. \ln\left(\frac{R}{r_0}\right)} \left[\gamma. h(1 + \sin \varphi). \nu - \frac{4. \tau_0(R_{inj} - r_0)}{D_{10}} \right]$$

Or :

$Q =$	<i>flow in $m^3.s^{-1}$</i>
$\varpi =$	<i>grout density in kg/m</i>
$K =$	<i>permeability of the alluvial environment in ms^{-1} (at the water)</i>
$\eta =$	<i>kinematic viscosity of the grout in mPa.s (close to water without polymer, 2 to 10 with polymer)</i>
$\eta_0 =$	<i>kinematic viscosity of water in mPa.s (approx. 1 mPa.s at 20 °C)</i>
$e =$	<i>thickness of the layer concerned in m (taken at 0.33 to 0.5 m in general for the TAM)</i>
$R =$	<i>Dupuit's radius of action in m. (Editor's note: We can take $R = 10.R_{inj}$ to take into account the short effect term, the well not having had time to develop in a few minutes)</i>
$h =$	<i>Injection depth in m</i>
$\gamma =$	<i>Density of the soil above the injection point</i>
$\varphi =$	<i>Soil friction angle (generally 35° for alluvium)</i>
$\nu =$	<i>Soil Poisson's ratio (generally 0.3)</i>
$R_{inj} =$	<i>max radius of injection in m</i>
$r_0 =$	<i>radius of the drilling in m (= 0.05 m in general)</i>
$\tau_0 =$	<i>Grout shear threshold in Pa (0 to 10 Pa depending on polymer type)</i>
$D_{10} =$	<i>Diameter passing from the ground in m.</i>

This also compares the injection techniques via Sleeved Pipes, direct-push or the strained tube as well as the main selection criteria to promote a medium impregnated by the reagents rather than fractures which can create preferential and limited paths. effectiveness of the treatment.

Injection des sols par imprégnation

Technical	ISBR	ISCR (Injection impregnation)	ISCR (Hydraulic Fracturing)	ISCR Soil Mixing
Reagent	Molasses/oil emulsion/lactate	ZVI or mixture with carbon source	ZVI or mixture with carbon source	ZVI
Reactive Rheology	Very fluid (water) $\eta_{vs} = 1 \text{ mPa.s}$ $\tau_0 = 0 \text{ Pa}$	fluid $\eta_{vs} = 2-3 \text{ mPa.s}$ $\tau_0 = 0.1-2 \text{ Pa}$	Thick $\eta_{vs} = 5-20 \text{ mPa.s}$ $\tau_0 = 2-10 \text{ Pa}$	Indifferent
operating mode	Pz, Pan flute	IRS (low flow TAM) / SPIN® one shot	High-speed Direct Push / TAM	Auger
Reinjection frequency	6-12 months source area	One shot source zone / 2-3 years BPR	2 years BPR	One shot source area
Common dosage	+/-5g/l per campaign	+++0.5 - 1% ground	Weak (0.1 - 0.2% mass)	1%, 2% then 4% (limit biological effects)
Injected porosity	Effective	Totally effective 15-30% depending on K	1-2% (Hydraulic fracturing)	total: 15-30% volume of soil
Speed	Slow Fast	Slow (600-1200L/h/m)	fast (3000 -6000 L/h/m)	Blend
Quality of treatment	+/- (broadcast)	++ (filtration)	- - - (breakdowns of a few mm)	+++ (optimal if intersecting)
Source Areas	++/+	++/+++	-	+++
Plume	+/-	+++	++	- (alteration decreases K)
Noticed			Resurgences (shallow depth)	Geotechnical alteration
Optimization path	Improve treatment Selective Injection (TAM)	total porosity injected, tight mesh 2.5 - 3 m, recirculation (confined source zone)		Iron dosage 4%, secant column

ZVI: zerovalent iron

IRS: Repetitive and Selective Injection

K = permeability

TAM: Cuff tube

The presentation will be illustrated with some feedback on the various injection techniques.

Test pilote d'injection : minimiser l'incertitude

Jeroen Vandenbruwane¹, Lionel Counet², Bram Vandekerhove³

Les projets de dépollution *in situ* sont appelés à devenir une alternative de premier choix dans les années à venir, notamment les projets par injections de réactifs pour leur faible empreinte écologique, mais bien sûr aussi pour leur performance, leur faible coût et les multiples cas pouvant être traités de la sorte.

Après un éventuel test en laboratoire, une étape cruciale dans le raisonnement et le dimensionnement d'un tel projet est la réalisation d'un test pilote. Si l'on ne cesse de vouloir démontrer, chercher, tester les différentes réactions ou voies de traitement en laboratoire avec différents types d'essais, le test pilote sur terrain est probablement encore sous-estimé à l'heure de débiter les phases de conception travaux avec des budgets et design limité qui ne permettent pas de tirer le maximum de profit des injections de terrain pour dimensionner un projet full-scale. Et la marge d'erreurs peut être importante.

Fort de plusieurs années d'expériences dans l'injection de réactifs, Injectis a passé plusieurs années à dimensionner des tests pilotes, mais aussi à réaliser, sous demande de clients de nombreux test pilotes, tantôt bien pensés, tantôt sous-dimensionnés et pu observer des tests pilotes souvent « low cost » qui n'apportent aucune certitude et sont alors un gaspillage d'argent et de temps.

A travers cette présentation générale et quelques rappels de base, l'attention sera portée sur l'importance de cette phase lorsqu'on veut s'aventurer dans de tels projets afin de mettre l'accent et l'investissement sur les priorités du projet : les objectifs, les enjeux du test pilote, comment les obtenir et s'assurer du résultat au travers de son suivi.

1. JEROEN VANDENBRUWANE, General Manager jeroen@injectis.com +32 474 36 85 45 Injectis SA, Toekomststraat 15, B-9890 Dikkelvenne, Belgium

2. LIONEL COUNET, Responsable France, et sud Europe lionel@injectis.com +32 495 85 45 67 Injectis SA, Carrer de Sardenya 229, 08013 Barcelona, Spain

3. BRAM VANDEKERCHOVE, Operational Manager bram@injectis.com Injectis SA, Toekomststraat 15, B-9890 Dikkelvenne, Belgium

Integrated Remediation of Cr(VI) and PFAS Contaminants in Chrome Plating Facilities

Dépollution intégrée d'installations de chromage contaminées par du Cr(VI) et des PFAS

Kris Maerten and Mariangela Donati (REGENESIS)

Ir. Kris Maerten
Technical Manager, Europe
kmaerten@regenesis.com
Tel: +32 (0)57 35 97 28

Background/Objectives. In recent years, there has been a significant rise in chrome plating facilities taking remedial action independently or under regulatory guidance. Many of these facilities are comingled sources of Per and polyfluoroalkyl Substances (PFAS) and hexavalent chromium (Cr(VI)), due to their use in the plating process. The co-occurrence of these contaminants presents unique challenges to *in situ* remediation, yet careful amendment selection and a clear understanding of treatment mechanisms can assist in developing effective remedial plans from bench studies to field implementations.

Approach/Activities. One approach to manage comingled Cr(VI) and PFAS plumes is the application of sulfidated micro-scale zero-valent iron (S-MZVI) and colloidal activated carbon (CAC): ZVI to treat Cr(VI) via immobilization or reduction to Cr(III), and CAC to immobilize PFAS. Additional methodologies will be presented including biological treatment added for Cr(VI) or chlorinated compounds. Both single mobilization treatments and remediation using multiple-phase treatment trains will be presented. Data has been compiled including early and intermediate monitoring results, along with an analysis of the type of remedial applications and selection considerations. Additionally, the potential for interference from each of the two co-occurring treatment processes was investigated on the bench-scale.

Results/Lessons Learned. A series of bench-scale tests were performed to determine if the presence of Cr(VI) and/or Cr(III) would have a measurable effect on the adsorption of PFAS by CAC. Results of the bench-scale showed that when Cr(VI) and PFAS were treated together, there was significant to complete removal of both contaminants. It was observed that the presence of field-relevant concentrations of Cr(VI)/Cr(III), whether reduced by ZVI or not, had little to no effect on the adsorption of PFAS in the CAC. By carefully considering the remedial needs of each contaminant type and observing the challenges associated with complex applications, a good understanding of future design types and project needs has been obtained.

Catalytic Rehabilitation of PFAS contaminated soil-washing water

Dr. Akram Rahimi, Head of Applications at Oxyle

Email: akram.rahimi@oxyle.ch

Abstract

The pressing need to remove per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) from soil is critical for environmental preservation. These persistent synthetic chemicals have infiltrated ecosystems, posing significant threats to both nature and human health. PFAS contamination not only jeopardizes local water sources but also enters the food chain, leading to potential developmental, immune, and carcinogenic health risks. Remediation efforts serve as a vital defense against this danger. Eliminating PFAS from soil is a crucial step to preventing ecological harm and prioritizing collective well-being.

Yet, conventional remediation methods are often inadequate for addressing PFAS. Current PFAS extraction techniques prove inefficient, expensive, and lead to the generation of secondary waste and additional logistical expenses. This added operational and financial burden often makes environmental remediation less palatable to municipal authorities and industrial organizations.

Oxyle's catalytic PFAS destruction technology represents a significant advancement in PFAS eradication for remediation purposes, offering a genuinely eliminative and waste-free solution. Noteworthy for its industry-leading energy efficiency (4kwh/m³), the technology substantially reduces the cost of PFAS-contaminated soil remediation. With extremely high elimination efficacy (99%+), this makes treatment of PFAS from contaminated soils much more achievable.

In a recent collaboration with a water technology service provider, the technology was applied to soil wash water exhibiting extremely high levels of PFAS contamination (>15,000 ng). The focus was on 11 specific PFAS species. The technology achieved removal rates exceeding 99.8%, including challenging short-chain compounds, significantly reducing discharge levels from 15,169 ng/L of all PFAS to <31 ng/L.

In response to growing soil challenges, our primary focus is to demonstrate an effective and economical solution for eliminating highly persistent pollutants like PFAS and safeguards the integrity of our soil in the process.

Efficient removal of per- and polyfluorinated alkyl substances from potable- and waste water with selective Lewatit® resins

Dr. Dirk Steinhilber, Lanxess Deutschland GmbH

PFAS is a family of highly efficient surface-active agents used in various applications such as firefighting foams, water repellent textiles, galvanics, and lithium ion batteries. However, when they are not handled and disposed of thoroughly they can leach into the ground- and surface water where they persist as a result of their high chemical stability. Due to their hazardous potential, drinking water limits have been set strictly. Standard technologies such as activated carbon usually cannot comply with the low effluent limits, especially for short-chain PFAS, that represent an important challenge in remediation. On the other hand, reverse osmosis, an alternative technology for PFAS removal, generates large amounts of aqueous concentrates that have to be handled. Therefore, LANXESS has developed new types of selective ion exchange resins (IER) that reduces PFAS reliably below the drinking water limits and which can safely be disposed after use.

In this paper we will present the performance of our PFAS selective Lewatit® TP 108 DW resin that is particularly applicable for the removal of short- and long-chain PFAS to very low levels. For applications in which the regeneration of PFAS is preferred, we additionally offer our regenerable resins Lewatit® MP 62 WS and Lewatit® MonoPlus TP 109.

This presentation will highlight the excellent performance of PFAS selective Lewatit® ion exchange resins, which leads to benefits, including substantial cost savings. Ion exchange resins (IER) can be operated about 5 times longer than granular activated carbon (GAC). As a result, customers need to replace the Lewatit® ion exchange resin less frequently and achieve savings in investment costs. Remarkably, the much shorter EBCT of IER enables a smaller footprint while treating a larger volume of waste stream. A cost calculation will be presented for a plant with five years' operation which indicates that Lewatit® TP 108 DW costs 58% less than GAC, and 29% less than a competitive resin.

Contact details of speaker

Dr. Dirk Steinhilber
Technical Marketing Manager

Global Marketing

LANXESS Deutschland GmbH
Liquid Purification Technologies

Room # 14-410
Kennedyplatz 1
50569 Koeln, Germany

Phone +49-221-8885-1444
Mobile +49-175-3037-456
Email dirk.steinhilber@lanxess.com



INTERSOL, 26-28 mars 24 - Paris, France

Polluants émergents : élimination du lithium dans les eaux de surface et en nappe

Emerging pollutants: removal of lithium in runoff- and groundwater

Laurent THANNBERGER, VALGO, Petit-Couronne ;

Mots clés : lithium, résines, eaux souterraines, PCT laboratoire

Objectifs : créer une filière de traitement pour différentes masses d'eau impactées

Caractère innovant du projet : l'élimination de ce polluant émergent est très peu documentée

1. Introduction et objectif de l'étude

Les ENR sont en croissance et arrivent avec des problématiques nouvelles. Depuis plusieurs années, tout le monde a entendu parler des batteries au lithium ; ion de très petite taille, il permet de densifier le stockage de l'électricité, par rapport aux batteries classiques. Mais, malgré la conception moderne des usines, l'industrie n'est pas à l'abri d'un accident, comme un incendie ; et, dans ce cas, sa petite taille le rend difficile à récupérer.

De nombreuses techniques ont été investiguées et testées en laboratoire, provenant soit des techniques d'épuration classiques, soit de l'industrie du lithium elle-même.

2. Matériel et méthode

VALGO a prélevé des échantillons dans un bac de stockage d'urgence d'eau de surface . Parmi les paramètres proscrivant le rejet dans le milieu naturel, la teneur en lithium dépassait 720 fois le seuil de rejet.

Différents essais de coagulation/floculation ont été réalisés, a titre de prétraitement, pour générer une eau plus limpide que l'échantillon brut, le floc étant retenu par filtration.

Sur l'effluent ainsi clarifié, de nombreux réactifs et adsorbants ont été testés en batch et par une mise en œuvre en colonne. (cf fig 1) : 4 résines échangeuses en billes, 4 fibres échangeuses d'ions, 1 oxyhydroxyde de fer et 1 zéolithe.

3. Résultats

Les prétraitements ont eu un effet d'abattement sur le paramètre lithium de 5 à 62%, tous insuffisants pour satisfaire aux objectifs du site. Le traitement présentant le meilleur compromis sur les autres paramètres a été choisi pour la suite de l'étude.

Les traitements de finitions testés ont montré des taux d'abattement du lithium allant de 0 à plus de 99%, la meilleure condition permettant d'atteindre le seuil très bas de 25µg/L.

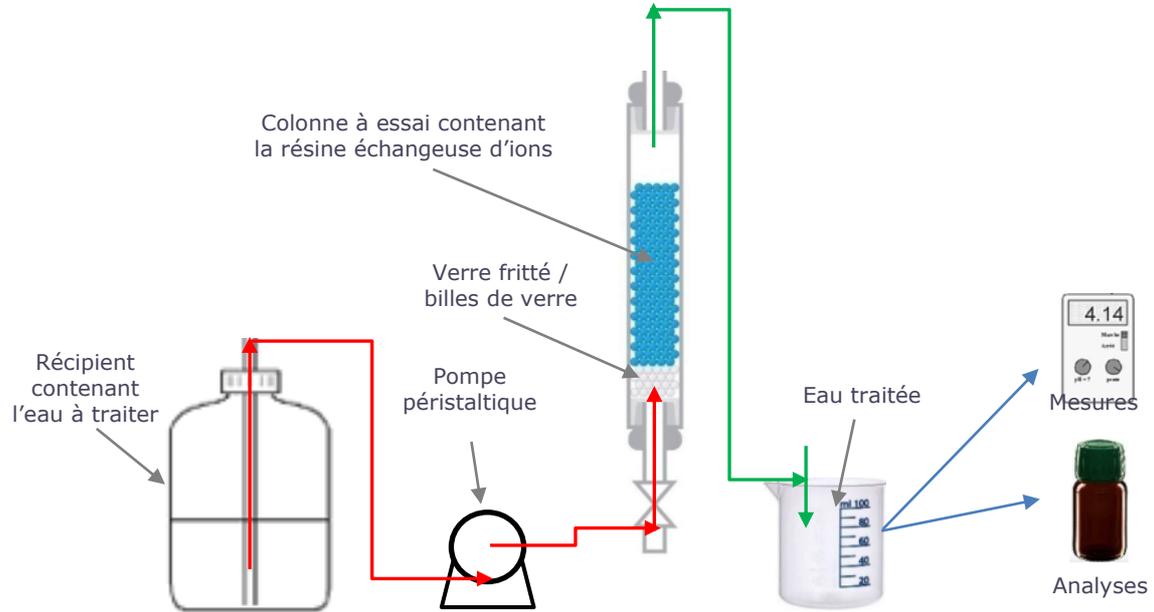
Les essais en colonne ont ensuite permis de dimensionner les ouvrages de traitements pour un essai pilote sur le site du client.

Les conditions de régénération des colonnes à l'acide ont également été mise au point au laboratoire avant validation par le pilote.

4. Conclusions

Ces essais ont montré que la combinaison d'un prétraitement et d'une étape de finition permettait d'atteindre les objectifs de traitement, avec le débit requis dans le document de consultation et de proposer un process complet.

Un procédé complémentaire a également été mis en œuvre pour le traitement des eaux de la nappe ; après une étape pilote, une barrière hydraulique complète a été réalisée et le traitement a été appliqué à l'effluent, lors des 1ers mois, pour en prouver la faisabilité.



*Fig. 1: Pilote de laboratoire pour la détermination de la capacité de fixation du lithium /
labscale pilot to determine the feasibility of lithium fixation with ion exchange column*



SUM UP

keywords : lithium, resins, ground water, lab inputs for works' conception plan

Goals: create a treatment file for the recovery of the different water mass (GW, run-off...)

Innovative approach of the project: the removal of lithium as pollutant is slightly reported in literature

1. Introduction and study objectives

The growth of the use of renewable energies produces new environmental impacts. Nowadays, everybody knows about lithium batteries; this very small ions allows to densify the electricity storage, compared to classical salts batteries. But, even if modern factories trend to fit recent norms, an accident is always possible, like a fire. In this case,, the small size of lithium ion makes it very difficult to stop and to treat.

Numerous techniques were tested at lab scale, coming from the amelioration of classical epuration techniques, or from the young lithium industry.

2. Materials and methods

VALGO collected samples from an emergency storage tank, where the run-off water was put after the intervention of firemen in a battery storage shed. Among several parameters avoiding to pump them back to sewage or environment, the lithium content overwhelmed 720 times the release threshold.

Several coagulation/flocculation test were performed as a pretreatment first step, to clarify the suspension; the floc was then stopped by a sand filter. With the clear filtrate, containing mainly soluble salts, numerous treatment media or reagents were tested: 4 exchange resins in beads form, 4 exchange resins in fibers form, zeolite, iron oxyhydroxide... They were first tested in batch, before application to column (see fig 1).

3. Results

Pretreatments allowed to lower lithium level in a range of 5% to 62% ; none were sufficient to meet the remediation goals. The best candidate, considering a compromise for lithium and other parameters, was kept for the next step.

Polishing treatments tested allowed to lower the concentration by a factor up to 100; the best condition met the goal of a very low residual concentration of 25 µg/L. The assays in columns helped to dimension a full scale treatment for the client's site; during this pilot step, we showed how acid rinse could perform the regeneration of the columns.

4. Conclusions

Those laboratory and pilot assays demonstrated the availability of a treatment meeting the mandatory objectives, under the requested flow, as described in the description. We proposed a complete treatment for the stored run-off water and for the ground water, that was also impacted. To date, an hydraulic barrier is installed on site, all the pumped water is going through the remediation file, before release to the surface network of rain collectors.

Bio-Flushing, an Innovative Technology for In Situ Soil and Groundwater Decontamination

Cosimo Masini (cosimo@dndbiotech.it)
Federica Brogioli (federica@dndbiotech.it)
DND Biotech, via S. Cannizzaro 5, 56121, Pisa, Italy

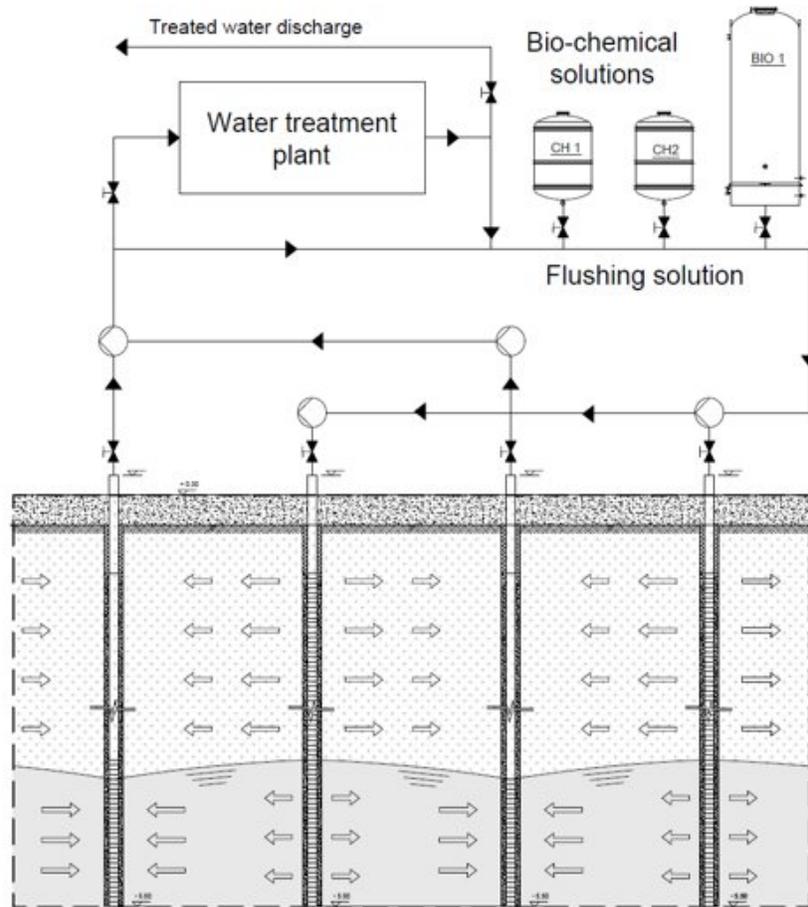
In one of our projects, we have developed and tested a new technology, BIO-flushing, capable of decontaminating unsaturated and saturated soil and groundwater by establishing a circulation of biological and chemical solutions in the subsoil, formulated for the degradation of organic contaminants and leaching of inorganic contaminants.

Next-generation sequencing methods and advanced bioinformatic tools are used to study the microbial population of the matrices of interest. A culturomics approach is applied to select microbial candidates that possess the metabolic functions needed to degrade the organic contamination and also increase its bioavailability in the matrix. The results of this phase are then applied in the BIO-flushing plant on site.

The technology developed enhances soil flushing which, by establishing a closed loop circulation of biological and chemical solutions in saturated and unsaturated soil, determines the degradation of organic contamination and the leaching of inorganic contamination. At the same time, it decontaminates the aquifer and produces a hydraulic barrier effect to contain pollutants within the area being treated.



The plant is designed to perform (i) soil conditioning and hydro-chemical-microfracturing, to improve permeability and facilitate the diffusion of treatment fluids, (ii) biostimulation, (iii) bioaugmentation with selected biomass (fungi and bacteria), (iv) chemical flushing of inorganic contaminants and (v) extraction and purification by physio-chemical treatment and filtration of contaminated groundwater.



The results obtained with the plant on site confirmed the effectiveness of the technology to achieve the degradation of petroleum hydrocarbons and PAH, as well as the removal of heavy metals.

In particular, in one of the test areas, in approximately 5 months of operation of the plant, a significant reduction of the inorganic contamination was obtained (Arsenic -97%, Cadmium -82%, Chromium -31%, Nickel -56%, Lead -95 %, Copper -96%, Zinc -94%) and the organic contamination (Hydrocarbons C10-C40 -85%, Dibenzo(a,h)anthracene -97%, Benzo(a)pyrene -97%, Indeno (1.2. 3-cd)pyrene -97%, Pyrene -97%, Benzo(a)anthracene -99%, Chrysene -97%, Benzo(b)fluoranthene -99%, Benzo(k)fluoranthene -96%, Sum PAH (EPA 16) -97%).

Valorisation sur site de déblais de chantier lors de la reconversion des friches : Réflexion sur une démarche intégrative des problématiques liées à la qualité agro- environnementale des déblais et levée des verrous techniques

On site valorization of excavated soil material during brownfield reconversion : An integrative approach to agro-environmental challenges and technical barriers

Anaëlle PRIEUR, Gaylord MACHINET

Microhumus SARL, 3 allée de Chantilly, 54500 Vandœuvre-lès-Nancy, France

info@microhumus.fr

Mots clés

Ingénierie pédologique, tri et réemploi de déblais, refunctionalisation des déblais terreux, aménagement paysager.

Objectifs de la présentation

La présente intervention a pour objet de :

- Présenter une méthodologie de valorisation agronomique in situ des déblais produits lors de travaux de reconversion des friches, dans une logique de préservation des terres arables issues de milieux agricoles, naturels ou forestiers ;
- Identifier les verrous techniques et financiers liés à cette opération et les moyens identifiés pour lever ces verrous, en phase études et chantier.

Microhumus est un bureau d'études et d'ingénierie spécialisé dans la gestion par phytomanagement des Sites et Sols pollués et dans la restauration des sols dégradés. Nous nous appuyons sur notre expertise dans la restauration des sols dégradés (OptimSitu®) et la refunctionalisation de matériaux inertes en terres fertiles (SubsTer®) ainsi que sur des retours d'expérience chantier.

Résumé

Au cours des dix dernières années, une moyenne de 24 000 hectares d'espaces naturels, agricoles et forestiers ont été consommés chaque année en France pour la création ou l'extension d'espaces urbanisés, entraînant des conséquences écologiques et socioéconomiques négatives. Pour lutter contre ce phénomène, la France a adopté en août 2021 la loi Climat et résilience, dans laquelle a été fixé l'objectif « zéro artificialisation nette des sols » d'ici 2050. Dans ce contexte, la valorisation des quelques 150 000 hectares de friches constitue un enjeu majeur pour les besoins en foncier.

Néanmoins, la reconversion des friches nécessite souvent des opérations spécifiques lesquelles peuvent induire des contraintes supplémentaires en termes de ressources, de coût, de délais et de risques. Sans cadre méthodologique, elle est également insuffisante pour limiter la consommation des espaces naturels, agricoles et forestier. L'aménagement d'espaces paysagers au droit des friches s'appuie quasi-systématiquement sur une reconstitution de sol à l'aide d'une terre végétale provenant essentiellement des couches arables de terrains agricoles. Or, le décapage des terrains agricoles participe à l'artificialisation des sols, définie comme une « altération durable de tout ou partie des fonctions écologiques d'un sol, en particulier de ses fonctions biologiques, hydriques et climatiques, ainsi que de son potentiel agronomique par son occupation ou son usage ».

Avec l'essor des travaux de réhabilitation de friches, cette problématique est grandissante. Dans une logique de préservation des milieux naturels, Microhumus a développé une méthodologie pour la

reconstitution de sols fertiles au droit de friches en reconversion, à l'aide d'une ingénierie de refonctionnalisation agronomique des déblais terreux.

Cette méthodologie repose sur les principes suivants :

- Identification et caractérisation agro-environnementales des typologies de matériaux terreux potentiellement valorisables ;
- Spatialisation des matériaux valorisables ;
- Tri et stockage des matériaux terreux valorisables ;
- Refonctionnalisation des matériaux par apport d'amendements (organiques et/ou organo-minéraux voire microbiens), pour améliorer les propriétés physiques, chimiques ou biologiques en fonction de l'usage projeté ;
- Construction d'un sol fertile, organisé en horizons fonctionnels, dont l'assemblage et le dimensionnement sont dépendants de l'usage qui sera fait du sol ;
- Végétalisation temporaire pour préparer le sol construit avant la mise en œuvre de la palette végétale d'intérêt.

Si la réutilisation des déblais pour la construction de sols fertile est une opportunité pour la préservation des ressources, la réduction du transport et d'approvisionnement des matériaux est cependant encore sujette à certains verrous :

- Freins techniques : Les friches sont souvent caractérisées par des sols très hétérogènes, dont les propriétés agronomiques et environnementales ont été dégradées du fait des activités historiques sur le site, de l'imperméabilisation ou de la compaction des sols. De ce fait, la caractérisation agronomique et environnementale des matériaux est une composante essentielle préalable à la revalorisation, et doit être anticipée et correctement dimensionnée en phase avant-projet.
- Freins opérationnels : Du fait de l'hétérogénéité des matériaux et du phasage des chantiers, le tri, le stockage, la refonctionnalisation ou la réutilisation des déblais peut s'avérer contraignant. La qualité des études préalables au chantier ainsi que la planification des différentes opérations conditionnent la bonne mise en œuvre de la stratégie.
- Freins économiques : La valorisation des déblais permet de supprimer les coûts liés à l'approvisionnement et au transport de terres d'apport. Cependant, la réutilisation des déblais suppose des frais supplémentaires liés à la sélection et la refonctionnalisation des matériaux terreux valorisables.
- Freins temporels : Les projets d'aménagement tiennent peu compte des contraintes liées aux conditions climatiques, et des périodes favorables à la manipulation des terres et/ou de l'installation de végétaux, au risque de compromettre la réussite du projet d'aménagement paysager. La planification du chantier qui tient compte des bonnes pratiques de manipulation des terres et de végétalisation optimise la réussite du projet végétal.

Des retours d'expérience mettront en évidence l'importance de définir avec les décisionnaires des objectifs environnementaux complémentaires aux objectifs économiques et d'intervenir en amont du projet pour orienter au mieux la stratégie de valorisation agronomique des déblais.

Références

Ministères Écologie Énergie Territoires. 2022. « Artificialisation des sols ». 2022. <https://www.ecologie.gouv.fr/artificialisation-des-sols>.

Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires. 2023. « Recyclage foncier ». [20230112_FV_Cahier accompagnement Axe3 Friches BAT v3 \(ecologie.gouv.fr\)](https://www.ecologie.gouv.fr/20230112_FV_Cahier_accompagnement_Axe3_Friches_BAT_v3)



LA FRESQUE DU SOL

Une fresque pour remettre les sols au cœur des débats : Le sol ne se limite pas à une simple surface que l'on foule : c'est un volume vivant, actif, sensible et fragile qui constitue un écosystème à part entière à la base d'une grande partie des formes de vie sur Terre.

En constante interaction avec les autres compartiments de l'environnement (eau, air, roches, organismes vivants), il est un lieu d'intenses échanges de matières et d'énergies. Intervenant dans les cycles de l'eau, du carbone, du phosphore et de l'azote, et offrant des habitats pour les organismes vivants, il participe au bon fonctionnement et au maintien des écosystèmes naturels.

L'Homme tire de ces fonctions écologiques une multitude de bénéfices pour assurer son bien-être : production de biomasses alimentaires ou non alimentaire, de médicaments, de matériaux de construction, régulation de la qualité de l'eau et de ses flux, régulation du climat, support de construction... En réalité, la quasi-totalité des activités humaines dépendent directement ou indirectement des sols.

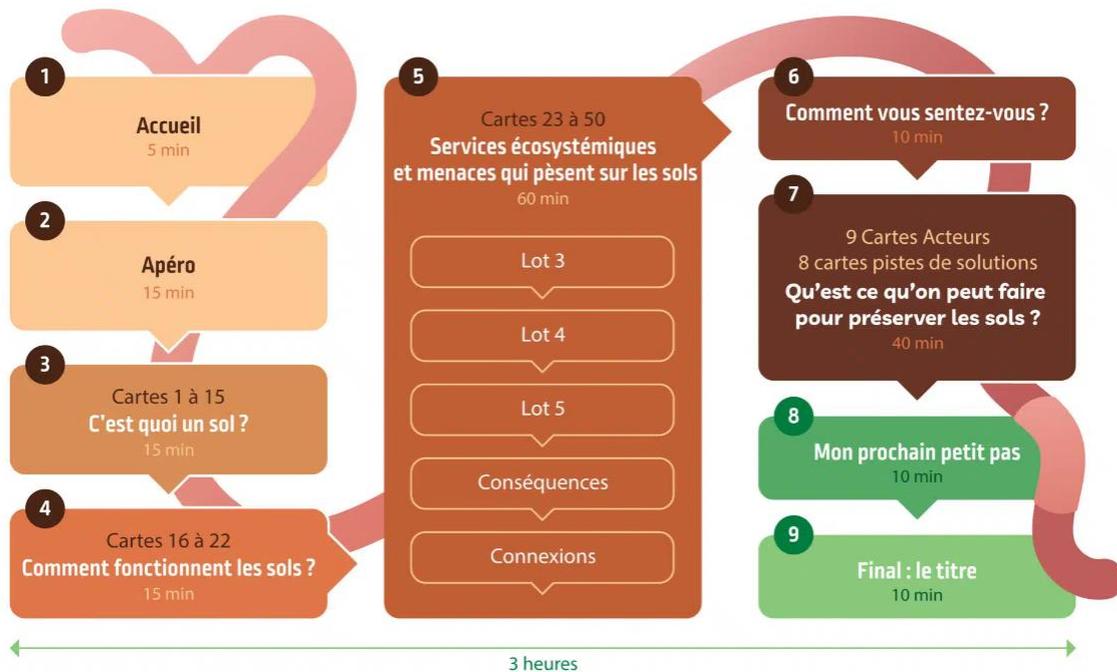
Ce volume vivant caché sur lequel repose les fondements de nos sociétés est pourtant méconnu, peu pris en compte, voire menacé... L'indifférence ou la méconnaissance, associées à la pression des activités urbaines, agricoles et industrielles, au manque de réglementation visant la protection des sols... engendrent d'importantes dégradations, pour certaines irrémédiables dans la mesure où un sol de qualité se constitue sur plusieurs centaines, voire milliers d'années.



Faire comprendre la complexité des enjeux liés aux sols et l'importance qu'ils ont dans le maintien de nos sociétés est indispensable pour permettre un passage à l'action en pleine conscience vers une

gestion durable de ces écosystèmes. C'est cette mission que se donne la Fresque du sol, développée par l'AFES et l'ADEME.

50 cartes reconstituant cet écosystème et les menaces qui y pèsent ont été coconstruites par la communauté scientifique « sol » française afin d'assurer la qualité des notions abordées. L'ensemble a été testé par près de 800 personnes de tous horizons avant le lancement officiel en mai 2023.



Faire appel à l'intelligence collective : Au travers d'un atelier pédagogique collaboratif de 3 h, animé par un facilitateur agréé, les participants (toute personne ayant un lien direct ou indirect au sol : citoyens, décideurs, entreprises, aménageurs, etc...) aborderont les notions essentielles pour comprendre ce qu'est un sol, comment celui-ci se forme et quelles fonctions écologiques découlent de ses propriétés pour ensuite découvrir l'ensemble des services que l'on en retire, et comprendre les menaces associées à nos activités humaines et leurs conséquences. Cette prise de recul collective sur la complexité du système est suivie d'une réflexion collaborative sous forme de jeu de rôle pour faire émerger les solutions à mettre en œuvre à différents niveaux permettant une gestion durable des sols.



Mettre en avant et reconnecter les autres initiatives : Les sols étant à l'interface de nombreux enjeux (climat, biodiversité, agriculture/alimentation, forêt, déchets/pollutions, artificialisation, etc...), la Fresque du sol fait la passerelle entre plusieurs outils existants qui seront portés à connaissance des participants au cours de l'atelier (Fresque du Climat, Fresque de la Biodiversité, Fresque de la forêt, Fresque Agrialim, Atelier des sols vivants, Fresque des déchets, Boucle du compost, Fresque de l'artificialisation, etc...) afin de favoriser la transition écologique grâce à une prise de conscience globale sur ces sujets d'importance.

En quelques chiffres, la Fresque du sol rassemble début 2024 près de 140 animateurs en cours de formation pro, qui ont contribué à la sensibilisation de plus de 4000 personnes.





Qualité de l'Air : de la recherche aux solutions opérationnelles

- Identification des sources et leur contribution à la pollution de l'air
- Expositions et Impacts • Solutions opérationnelles

Air Quality: from research to operational solutions

- Identification of sources and their contribution to air pollution
- Exposures and Impacts • Operational solutions

Conférences - Débats - Rencontres - Exposition
Conferences - Debates - Meetings - Exhibition

www.atmosfair.fr

9 & 10 octobre 2024 - Lyon

En partenariat avec / In partnership with:



APPEL

À COMMUNICATIONS
Date limite de candidature :
29 mars 2024

CALL

FOR PAPERS
Deadline for application:
March 29, 2024

Entreprises / Companies (2023):



Institutionnels / Institutional (2023):





World Event Business Solutions



18, rue Jules César - 78420 Carrières-sur-Seine - France

Tél. : +33 (0)1 39 68 26 08

E-mail : contact@webs-event.com

www.webs-event.com