

intersol'2026



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

Les sols pollués et dégradés :

Gestion des risques et des incertitudes
Vision croisée des parties prenantes

- Conception du projet
 - Diagnostic
- Techniques & Travaux

Polluted and degraded soils:

Risks and uncertainty management
A cross-section of stakeholders

- Project design
 - Diagnosis
- Techniques & Work

www.intersol.fr

24, 25 & 26 mars 2026 – Lille, France

Formation :
Conférence reconnue
par le SPW-ARNE
Wallonie
environnement
SPW

En partenariat avec :
In partnership with:



Entreprises / Companies



Institutionnels / Institutional





Mardi 24 mars 2026

08h30

Accueil des participants

Conception du projet

Modératrice : Christel De La Hougue, Union des Professionnels de la Dépollution des Sites (UPDS)

09h00

Guide « Cahiers des charges et contrats pour les SSP » : un nouvel outil pragmatique

Laurent Jay, Directeur Technique Adjoint - Sarpi Remédiation / Union des Professionnels de la Dépollution des Sites (UPDS)

09h30

Le statut juridique des pollutions concentrées

Antoine Carpentier, Avocat associé - Fidal

10h00

Sols naturels, sols construits : sont-ils si différents ?

Julien Laurette, Ingénieur agronome, PhD - JL Conseil

10h30 Pause-café

11h00

Table ronde

Collectivités et aménageurs : comment composer avec les sols pollués ?

Réalisation & animation :

- *Romain Garnier, Chef de projet Environnement, Filière Sols - Cluster Eau Milieux Sols Paris Ile-de-France*
- *Christian Nsonda, Chargé de Projet & Innovation Chimie Environnementale et Numérique – Axelera*

Participants :

- *Jamila Bentrar, Coordinatrice Quartiers fertiles - Métropole Européenne de Lille*
- *Véronique Huon de Kermadec, Adjointe au chef de département Pollution des Sols - Ville de Paris*
- *Ludovic Ferrière, Responsable Antenne Hauts-de-France, Serpol*
- *Pierre Clottes, Responsable de l'unité expertise - Direction du Foncier et de l'Immobilier, Métropole de Lyon*
- *Thomas Terrien, Chargé de mission Prévention des Risques Majeurs, Métropole de Lyon*

12h00 Déjeuner

13h00

Élaboration d'une stratégie de renaturation de dépôts de matériaux excavés de grande ampleur : Processus intégré et évolutif pour une meilleure prise en compte des risques et des incertitudes
Anaëlle Prieur, Ingénieure Sites et Sols Pollués - Microhumus

13h30

Crise de la gestion des déchets et risques juridiques et techniques associés aux sols dégradés

- *Hugues Rollin, Avocat associé & Co-président de la Commission environnement du Barreau de Lyon - Hélios Avocats*
- *Roxane Chambaud-Olivesi, Avocate & Co-présidente de la Commission environnement du Barreau de Lyon - Hélios Avocats*

14h00

Responsabilités et pollutions historiques : enseignements de la jurisprudence Shell 2025 en matière de sites et sols pollués

Pauline Leddet-Troadec, Avocate associée en Droit de l'environnement - Latournerie Wolfrom Avocats

14h30

Dépollution innovante et gestion des risques sur une friche industrielle

- *Gwénaél Barroux, Conception et accompagnement en environnement - Brézillon*
- *Sarah So, Ingénieur d'études Sites et Sols Pollués - Brézillon*

15h00

Des sols pollués aux sols transformateurs : dynamiques, alliances et réorientations territoriales
Rose Uomobono, Doctorante en Architecture et Sciences Territoriales - Vinci

15h30 Pause-café

Diagnostic (Part. 1)

Modératrice : Adeline Janus, Energipole Remédiation

16h00

Méthodologie d'identification de sols agricoles potentiellement aptes à une valorisation de sédiments de dragage

Julie Paciello, Responsable d'études Gestion des ressources - Cerema

16h30

Détermination de facteur de bioconcentration pour la modélisation des concentrations en éléments métallique dans les plantes potagères en contextes d'agriculture urbaine

Benjamin Pauget, Responsable R&D - Tesora

17h00

Maîtrise des incertitudes pour les modèles numériques de gestion des sites pollués

David Pitaval, Chef de projet - Ginger Burgeap

17h30

Modélisation des panaches de contaminants organiques par modélisation analytique inverse (IAM) - étude de cas

Alexis Gris, Référent technique Recherche et développement - Apave

18h00 Fin de la 1ère journée



Tuesday March 24, 2026

08h30 Welcome participants

Project design

Moderator: Christel De La Hougue, Union of Site Remediation Professionals (UPDS)

09h00

Guide to « Specifications and contracts for contaminated sites and soils »: a new practical tool
Laurent Jay, Deputy Technical Director - Sarpi Remediation / Union of Site Remediation Professionals (UPDS)

09h30

The legal status of concentrated pollution
Antoine Carpentier, Partner Lawyer - Fidal

10h00

Natural soils, constructed soils: are they really so different?
Julien Laurette, Agricultural Engineer, PhD - JL Conseil

10h30 Coffee Break

11h00

Round table:

Local authorities and developers: how to deal with contaminated soil?

Production & animation:

- *Romain Garnier, Environment Project Manager, Soils Sector - Water Milieux Soils Cluster Paris Ile-de-France*
- *Christian Nsonda Chemistry, Environment and Digital Innovation Project Manager - Axelera*

Participants:

- *Jamila Bentrar, Fertile Neighborhoods Coordinator - European Metropolis of Lille*
- *Véronique Huon de Kermadec, Deputy Head of the Soil Pollution Department - City of Paris*
- *Ludovic Ferrière, Head of the Hauts-de-France Branch, Serpol*
- *Pierre Clottes, Head of the Expertise Unit - Land and Real Estate Department, Lyon Metropolitan Area*
- *Thomas Terrien, Major Risk Prevention Project Manager, Lyon Metropolitan Area*

12h00 Lunch

13h00

Strategy development for large-scale excavated material deposits renaturation: An integrated and adaptive process to better consider risks and uncertainties

Anaëlle Prieur, Contaminated Sites and Soils Engineer - Microhumus

13h30

Waste management crisis and the legal and technical risks associated with degraded soil

- *Hugues Rollin, Partner Lawyer & Co-Chair of the Environment Committee of the Lyon Bar Association - Hélios Avocats*
- *Roxane Chambaud-Olivesi, Lawyer & Co-Chair of the Environment Committee of the Lyon Bar Association - Hélios Avocats*

14h00

Liability and historical pollution: lessons from the 2025 Shell case law on contaminated land

Pauline Leddet-Troadec, Partner Lawyer in Environmental Law - Latournerie Wolfrom Avocats

14h30

Innovative soil remediation and risk management on an industrial brownfield

- *Gwénaél Barroux, Environmental Design and Support - Brézillon*
- *Sarah So, Polluted Sites and Soils Research Engineer - Brézillon*

15h00

From polluted soils to transformative soils: dynamics, alliances, and territorial reorientations

Rose Uomobono, PhD student in Architecture and Territorial Sciences - Vinci

15h30 Coffee Break

Diagnosis (Part. 1)

Moderator: Adeline Janus, Energipole Remediation

16h00

Methodology for identifying agricultural soils potentially suitable for the beneficial use of dredged sediments

Julie Paciello, Head of Resource Management Studies - Cerema

16h30

Determination of bioconcentration factors for modeling metal concentrations in vegetable crops in urban agriculture contexts

Benjamin Pauget, Head of R&D - Tesora

17h00

Controlling uncertainties in numerical models for managing contaminated sites

David Pitaval, Project Manager - Ginger Burgeap

17h30

Modeling of organic contaminant plumes using inverse analytical modeling (IAM) - case study

Alexis Gris, Technical advisor, Research and Development - Apave

18h00 End of the Day One

Guide « Cahiers des charges et contrats pour les SSP » : Un nouvel outil pragmatique !

Intervenant : Laurent Jay, UPDS

Caractère innovant : L'intervention a pour objectif de présenter le guide de bonnes pratiques « Cahiers des charges et contrats pour les SSP », publié par l'UPDS en octobre 2025. Ce guide est à la croisée de la thématique du colloque Intersol 2026 : « Les sols pollués et dégradés : gestion des risques et des incertitudes ». En effet, les conseils qu'il donne ont pour objectif de limiter les risques et les incertitudes tout au long de la réhabilitation d'un site, et de créer un partenariat fondé sur des bases techniques et contractuelles solides entre le prestataire et son donneur d'ordre.

Mots-Clés : Bonnes pratiques, cahier des charges, DCE, CCTP, contrat, SSP.

Résumé : Face au constat collectif de difficultés rencontrées lors de la rédaction de cahiers des charges, de la réponse aux appels d'offres et/ou lors de la réalisation des prestations d'ingénierie ou de travaux dans le domaine des Sites et Sols Pollués (SSP), l'Union des Professionnels de la Dépollution des Sites (UPDS) a publié en octobre 2025 un guide de bonnes pratiques « Cahiers des charges et contrats pour les SSP ».

Le guide est constitué de 3 volets complémentaires les uns des autres :

- Un premier volet rappelant les définitions, ainsi que les rôles et responsabilités de chaque intervenant ;
- Un deuxième volet décrivant les bonnes pratiques à mettre en œuvre lors de la rédaction des cahiers des charges ;
- Un troisième volet concernant les bonnes pratiques lors de la rédaction des contrats.

L'objectif de ce guide est de fournir – sans pour autant prétendre à l'exhaustivité – des clés pour que les projets de réhabilitation se déroulent dans les meilleures conditions possibles. Il vise également à présenter des éclairages juridiques et contractuels sur certaines pratiques qui génèrent des risques pour l'ensemble des parties prenantes sans pour autant servir l'intérêt du projet.

Sa rédaction s'est appuyée sur des échanges entre l'UPDS et les représentants des maîtres d'ouvrage (MOA), ce qui a permis d'enrichir les réflexions et de prendre en considération les différents points de vue. Ces multiples retours d'expériences, collectés auprès des acteurs du marché, ont permis de mettre en lumière certains points d'attention et des axes d'amélioration sur plusieurs thématiques :

- Rôles et responsabilités ;
- Éléments techniques à intégrer dans le DCE ;
- Aléas, sujétions imprévues et vices cachés ;
- Analyse de risques projet ;
- Types de contrats ;
- Couvertures assurantielles.

Le guide s'appuie sur le Code de la Commande Publique et la norme NF X31-620 et propose des pistes et conseils pragmatiques pour élaborer les cahiers des charges : des sommaires-types, la liste des données dont il faut disposer dans les cahiers des charges pour chiffrer de façon la plus précise possible les travaux, les objectifs à atteindre par technique et les moyens envisageables de réception des travaux, des exemples de clauses à insérer dans les contrats. De multiples liens vers des outils et guides sont fournis pour ceux qui souhaitent creuser certains sujets.

Il s'adresse aux maîtres d'ouvrages comme aux prestataires ingénierie et travaux du domaine des SSP.

Le guide vous sera expliqué et présenté ; et pour illustrer son intérêt, des exemples de difficultés rencontrées seront mises en exergue avec les solutions proposées par le guide.

Les trois volets du guide sont accessibles via le lien suivant : <https://upds.org/guides-upds/>

Le statut juridique des pollutions concentrées **The legal status of concentrated pollution**

Antoine Carpentier
Avocat Associé, FIDAL
Spécialiste en Droit de l'Environnement
Direction régionale Hauts de France – Immeuble Crystal ZAC Euralille Romarin 5977 Euralille
03 20 14 82 14 – antoine.carpentier@fidal.com

Synthèse :

Introduite par le décret n° 2021-1096 du 19 août 2021, l'obligation de traitement des pollutions concentrées au moment de la cessation d'activité des sites relevant du régime de l'autorisation ou de l'enregistrement a fait l'objet d'un aménagement avec la publication du décret n° 2024-742 du 6 juillet 2024, autorisant le Préfet à permettre le maintien en place de zones de pollutions concentrées si certaines conditions, décrites dans l'ATTES MEMOIRE, sont remplies.

En pratique, le mécanisme demeure parfois mal compris et mal appréhendé par les acteurs, retardant l'achèvement des procédures de cessation d'activité, au risque de paralyser des opérations de cession de foncier industriel.

La présentation a pour objectif de décrire la logique du mécanisme, qui repose sur l'application du principe « silence vaut rejet » et ses implications, dans le but de sensibiliser les acteurs et de leur permettre d'anticiper les blocages.

Summary:

Introduced by Decree No. 2021-1096 of August 19, 2021, the obligation to treat concentrated pollution upon closure of sites subject to authorization or registration was amended by Decree No. 2024-742 of July 6, 2024. This decree authorizes the Prefect to allow the continued presence of areas of concentrated pollution if certain conditions, described in the ATTES MEMOIR, are met.

In practice, the mechanism is sometimes poorly understood and applied, delaying the completion of closure procedures and potentially paralyzing industrial land transfer operations.

This presentation aims to describe the logic of the mechanism, which is based on the application of the principle "silence means rejection," and its implications, in order to raise awareness among actors in the field of polluted sites and enable them to anticipate potential obstacles.

Sols naturels, sols construits : sont-ils si différents ?



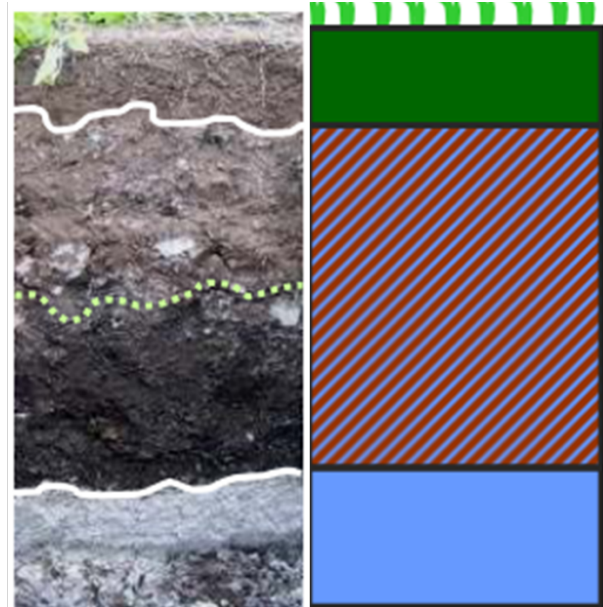
Julien LAURETTE

jlurette04@gmail.com



Crédits: J. Laurette

V
S



Crédits: G. Séré

Le concept de sol n'a cessé d'évoluer au cours du temps. Historiquement vus comme de simples supports pour la production de biomasse ou de surfaces à aménager, ils sont aujourd'hui considérés en 3 D comme des systèmes complexes et multifonctionnels rendant de nombreux services aux sociétés humaines.

Il n'existe quasiment plus de sols naturels *stricto sensu* mais une multitude de sols avec un gradient d'anthropisation croissant, allant du sol pseudo-naturel aux sols fortement anthropisés. A l'extrémité supérieure de ce gradient, la construction de sol permet grâce au génie pédologique de recréer des sols fonctionnels là où ils ont été dégradés ou détruits. S'ils s'inscrivent dans des stratégies de résilience urbaine et d'adaptation climatique, et dans un contexte de raréfaction des ressources naturelles (terre végétale, granulats, etc), les anthroposols construits soulèvent néanmoins des enjeux de différentes natures (techniques, pédologiques et sociaux) d'autant plus que nous ne disposons que de retours d'expérience récents et relativement peu nombreux.

La comparaison brute entre sols naturels et sol construits est l'occasion de nous interroger sur la place de ces derniers par rapport aux références naturelles. Osons même la question : peuvent-ils les remplacer ?

Sur la base d'un mimétisme des sols naturels (épaisseur, succession d'horizons de composition et de propriétés différentes, enrichissement de la surface en MO), les sols construits sont réalisés à façon à partir de matériaux issus de l'économie circulaire (terres excavées issues d'horizons profonds, déchets de démolition, composts de déchets verts, etc) pour un usage défini (fosse d'arbre, production maraichère, réhabilitation de friche industrielle, ...), et afin d'assurer au mieux certaines fonctions et services écosystémiques attendus (support de biomasse, régulation de l'eau, régulation des contaminants, stockage de carbone, support de biodiversité, ...)

Répondant majoritairement à la définition générale du sol, les sols construits apparaissent comme des sols à part entière. Ils pourraient même être considérés comme des sols allochtones artificiels. Conçus pour être immédiatement opérationnels, ils ne sont pas issus de l'altération d'un matériau parental, mais d'un assemblage technique de constituants d'origine et de nature diverses. Ils peuvent remplir certaines fonctions et rendre des services écosystémiques identiques à celles et ceux des sols naturels, sans toutefois qu'on puisse parler au sens littéral de multi fonctionnalité.

La différence fondamentale entre ces 2 catégories de sols se situe au niveau de la pédogenèse. En effet les sols naturels sont d'un équilibre morpho-climatique établi au bout de plusieurs centaines ou milliers d'années. A l'opposé, la néo-pédogenèse des anthroposols construits ne commencent réellement qu'après leur réalisation. Des processus pédogénétiques certes intrinsèquement identiques à ceux des sols naturels se mettent alors en marche, de manière rapide (quelques années ou moins) et intense. Mais la simultanéité et la combinaison inhabituelle de plusieurs de ces processus, couplée à une hétérogénéité de composition et de mise en place rendent la pédogenèse des sols construits particulièrement difficile à évaluer.

L'évaluation de leur durabilité et de leur tendance à converger vers des références naturelles à moyen/long terme sont des enjeux majeurs des recherches présentes et à venir.

Au final, la réponse à la problématique posée est que les anthroposols construits ne doivent être considérés ni comme des opposés ni comme des équivalents des sols naturels ; leur relation doit plutôt être vue sous un angle de complémentarité.

Les sols naturels sont des systèmes complexes et autonomes, et demeurent à la fois des références écologiques et un patrimoine à sanctuariser.

Les anthroposols construits constituent des solutions d'adaptation et des outils d'aménagement et de reconquête des espaces où les sols ont été dégradés ou perdus. Ils ne peuvent servir d'argument compensatoire légitimant l'artificialisation et la destruction de sols naturels, impossibles à remplacer.



Crédits : J. Laurette

Élaboration d'une stratégie de renaturation de dépôts de matériaux excavés de grande ampleur : Processus intégré et évolutif pour une meilleure prise en compte des risques et des incertitudes

Strategy Development for large-scale excavated material deposits renaturation: An integrated and adaptive process to better consider risks and uncertainties

Anaëlle PRIEUR, Gaylord MACHINET, Alexandre PERLEIN, Eric GEOFFROY
Microhumus SARL, 3 Allée de Chantilly, 54500 Vandœuvre-lès-Nancy, France
info@microhumus.fr

Mots clés

Ingénierie pédologique, refunctionalisation des matériaux d'excavation, intégration paysagère, intégration des interactions sol-plantes.

Objectifs de la présentation

La présente intervention a pour objectif de :

- Présenter le processus de réflexion pour la renaturation et l'intégration paysagère des matériaux d'excavation du tunnel Lyon-Turin ;
- Présenter la méthodologie mise en œuvre pour lever les verrous liés à la renaturation des sols et la prise en compte des incertitudes.

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 et la refunctionalisation de matériaux inertes en terres fertiles ainsi que sur des retours d'expérience chantier.

Innovation

- Adaptation de la stratégie sol et végétal compte tenu des enjeux sociaux, paysagers et écologiques mais également des contraintes de chantier ;
- Intégration des aspects paysages dans la formulation et la construction des sols.

Résumé

La construction de la section transfrontalière du chemin de fer Lyon-Turin devrait être à l'origine d'environ 37 millions de tonnes de matériaux excavés (MATEX) dans les dix prochaines années. Ce projet s'inscrit dans une démarche d'économie circulaire et prévoit d'ores et déjà la réutilisation d'au moins 50 % de ces roches, en remblais ferroviaires ou pour la fabrication de granulats pour le béton des infrastructures. Quant aux matériaux restants, ils seront transportés vers des zones de dépôts définitifs dédiées au projet, à proximité des installations. Compte tenu des volumes, ces zones de dépôts sont susceptibles d'avoir un impact sur les paysages, les populations locales et les espaces naturels. Outre la construction du tunnel et des infrastructures associées, le projet présente donc également des enjeux sociaux, écologiques, et paysagers.

Dans ce contexte, Microhumus a été missionné pour coconstruire et accompagner la mise en œuvre d'une stratégie de renaturation de deux dépôts de MATEX avec les différentes parties prenantes du projet, répondant à la fois aux contraintes réglementaires fixées et aux enjeux identifiés. Or, la

renaturation des dépôts est soumise à un certain nombre de risques, prévisibles et maîtrisables. Nous avons cherché à instaurer une méthodologie permettant d'intégrer les risques.

Cette méthodologie repose sur les principes suivants :

- Définition des objectifs de la renaturation ;
- Identification des ressources matérielles, techniques, humaines, organisationnelles ;
- Diagnostic des milieux : sol, végétal, paysage ;
- Ingénierie pédologique et végétale ;
- Elaboration d'une stratégie de renaturation, centrée sur les sols et les végétaux, basée sur une première série d'essais en laboratoire ;
- Essais sur site pour la validation du protocole et des conditions de mise en œuvre et l'ajustement de la stratégie indépendamment des risques non maîtrisables.

Ce processus, et en particulier les essais sur site, vise également à évaluer continuellement la pertinence de la solution vis-à-vis de phénomènes non maîtrisables ou imprévisibles (ex. : climat, disponibilité des matériaux, etc.) et favoriser l'adaptation rapide des procédés et leur acceptation sociétale.

Références

- [TELT Lyon Turin • Feu vert de la CIG pour la réutilisation binationale des matériaux excavés](http://www.telt.eu), 27/06/2022 (www.telt.eu)
- [Lyon-Turin : quand la roche du tunnel devient ressource](http://www.construction21.org), 13/10/2025 (www.construction21.org)



Intersol 2026

**Waste management crisis and the legal and technical risks
associated with degraded soil**

-

Technical abstract

March 2nd, 2026

6, rue du Plat – 69002 LYON | Tel : 04.72.38.50.88
secretariat.lyon@helios-avocats.com | www.helios-avocats.com

1 DEDICATED TEAM

Hélios Avocats, a law firm comprising four partners and three associates, assists its clients in all areas of environmental law (classified facilities, water, pollution, environmental assessment, compensation, protected species, waste, etc.), urban planning, and energy.

More specifically, the presentation will be given by two lawyers:



Hugues ROLLIN

Partner

hugues.rollin@helios-avocats.com

06.69.24.71.36

Co-president of the Lyon Bar Commission of Environmental Law



Roxane CHAMBAUD-OLIVESI

Lawyer

Roxane.chambaud-olivesi@helios-avocats.com

06.41.3.41.36

Co-president of the Lyon Bar Commission of Environmental Law

2 TECHNICAL ABSTRACT OF THE PRESENTATION

Title: Waste management crisis and the legal and technical risks associated with degraded soil.

Innovative aspect: The communication focuses on a growing issue, and therefore a potential expanding market for the actors involved in contaminated sites and soils, using a fictional case study.

Key words: Waste, illegal dumping, administrative authorities and powers, mayors, ADEME

Objectives: Identifying the legal and practical issues arising from the presence or discovery of buried waste in the context of development or construction projects on private land.

For the Intersol 2026 convention, Hélios Avocats will present the following topic: “***The waste management crisis in France and the legal and technical risks associated with degraded soil.***”

This proposal stems from the crisis currently affecting waste management in France: with the Building EPR (“REP PMCB”) sector currently at a standstill, local elected officials are finding it increasingly difficult to deal with illegal dumping and landfills. Back in 2022, a Senate information

report entitled “*Local elected officials facing illegal dumping*” indicated that “the French Environment and Energy Management Agency (ADEME), [...]counted nearly **36,000** open landfills across the country.”

Meanwhile, discoveries of buried waste during development or private construction projects are on the rise (see, for example, press articles reporting in 2025 on the discovery by private individuals of waste buried under their land).

However, in a context of increasing land scarcity, the management of these sites polluted by waste will require greater intervention by actors in the contaminated sites and soils sector.

Nevertheless, waste-caused soil pollution raises practical and legal issues that are distinct from those more commonly generated by classified facilities currently or previously operating.

Based on a fictional case, the presentation will therefore revisit the legal and practical issues involved in:

- Characterizing the source of the pollution;
- Determining the person responsible;
- Mobilizing the relevant public and waste-competent authorities;
- Identifying outlets for this polluted soil, particularly with regard to the possibility of reusing excavated soil in the context of a construction site;
- Allocating or possibly sharing the financial burden of the remediation.

**Responsabilités et pollutions historiques :
Enseignements de la jurisprudence Shell 2025 en matière de sites et sols pollués**

Pauline Leddet-Troadec

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

p.leddet-troadec@latournerie-wolfrom.com
T : +33 1 56 59 74 74 / M : +33 7 89 47 91 06
164, rue du Faubourg Saint-Honoré - 75008 Paris

Mots clés : RESPONSABILITÉ CIVILE – POLLUTION HISTORIQUE – SITES ET SOLS POLLUÉS – CONTENTIEUX – GARANTIE DE PASSIF ENVIRONNEMENTAL

Objectif : Comprendre les apports structurants de l'arrêt Shell / LyondellBasell (CA Versailles, 18 juin 2025) pour la gestion des passifs environnementaux dans les sites industriels.

L'arrêt rendu par la Cour d'appel de Versailles le 18 juin 2025 dans l'affaire **Shell / LyondellBasell** constitue un véritable cas d'école en matière de sites et sols pollués (SSP).

Puisqu'il concerne :

- Un site historique lourdement industrialisé, classé Seveso haut ;
- Plusieurs sociétés successives à la tête de l'exploitation ;
- Un transfert industriel accompagné d'une garantie de passif environnemental (GAP) ;
- Des pollutions multiples, certaines anciennes, d'autres révélées tardivement (PFAS) ;
- Des coûts de dépollution massifs, refacturés au sein du groupe ;
- Un contentieux complexe mêlant responsabilités délictuelle et contractuelle, prescription, interprétation de la garantie de passif environnemental, et préjudice écologique.

Ce dossier concentre toutes les situations typiques rencontrées dans la gestion des passifs industriels.

I. Prescription civile et connaissance de la pollution

L'arrêt offre un éclairage particulièrement instructif sur le mécanisme de prescription applicable aux contentieux SSP.

La Cour rappelle que, conformément à l'article 2224 du Code civil, le délai quinquennal court à compter du jour où le titulaire du droit a connu ou aurait dû connaître les faits lui permettant d'agir.

Elle applique les règles de prescription aux cinq zones de pollutions identifiées, en analysant pour chacune la chronologie des investigations, études, échanges techniques et décisions administratives.

Cette approche révèle que la prescription ne dépend pas du moment où le préjudice est chiffré, mais du moment où le propriétaire ou l'exploitant a eu connaissance, de manière certaine, de l'existence de la pollution et de son ampleur engendrant des coûts financiers de dépollution.

La décision met ainsi en évidence un risque pratique majeur pour les industriels : les temps d'étude, de diagnostic ou de concertation technique peuvent constituer le point de départ de la prescription, d'où l'importance de la traçabilité de l'information, de la qualification juridique précoce des données et de la stratégie de réaction face aux découvertes successives.

II. Le recours à la responsabilité délictuelle en matière de SSP

La décision accorde une place prédominante au droit commun de la responsabilité dans la gestion des passifs industriels.

La Cour écarte l'argument fondé sur le principe de non-option et valide le recours à la responsabilité délictuelle. En présence d'un régime contractuel et d'une GAP, la responsabilité délictuelle peut être engagée, dès lors que ce recours repose sur des manquements à des règles d'ordre public environnemental et qu'il est fondé sur des faits distincts (ex. gestion des déchets, obligations ICPE). Cette lecture permet de contourner les limites contractuelles lorsque l'ancien exploitant n'a pas respecté ces obligations.

L'arrêt en donne deux illustrations concrètes : la responsabilité du producteur de déchets pour le Merlon et l'imputabilité de la contamination PFAS à l'exploitant sortant. À travers ces exemples, le juge affirme que la responsabilité civile peut compléter ou prendre le relais des mécanismes administratifs, notamment lorsque les pollutions sont anciennes, stabilisées ou que l'autorité administrative n'agit plus. Cela renforce l'idée que la responsabilité délictuelle constitue désormais un instrument récurrent de traitement judiciaire des passifs SSP, au même titre que le droit public ou contractuel.

III. La garantie de passif environnemental : portée juridique et tensions contractuelles

Sur le terrain contractuel, l'arrêt constitue un cas d'école d'interprétation d'une GAP dans un contexte de transmission industrielle. La Cour adopte une lecture large et protectrice du bénéficiaire en considérant que les conditions définissant la « contamination environnementale » doivent être comprises de manière alternative et non cumulative. Ainsi, une pollution historique interne suffit à déclencher la garantie, sans qu'il soit nécessaire de prouver une migration postérieure.

La Cour écarte également les arguments de limitation invoqués par l'opérateur sortant, qu'il s'agisse de clauses de renonciation à recours ou d'exclusions fondées sur des changements d'usage ou de fermeture de site. Selon elle, ces stipulations ne peuvent faire obstacle lorsque les enjeux touchent à des obligations environnementales d'ordre public.

Cette décision rappelle que l'ancien exploitant ne peut se décharger entièrement du risque environnemental par une cession, et propose une autre lecture de la rédaction de futurs GAP pour les industriels.

IV. Le préjudice écologique : levier nouveau de réparation SSP

Enfin, l'arrêt fournit un éclairage utile sur l'utilisation du préjudice écologique dans les litiges entre acteurs industriels. La Cour reconnaît la qualité pour agir d'un exploitant sur ce fondement, confirmant

que la réparation écologique n'est pas réservée aux autorités publiques et aux associations. Elle valide que l'exploitant, tenu de remettre en état, peut rechercher auprès du pollueur historique la prise en charge des mesures de restauration environnementale.

La Cour insiste toutefois sur les exigences probatoires propres à ce fondement : elle déboute certaines demandes faute de démonstration d'un préjudice écologique réparable ou d'une imputabilité suffisamment établie. Le préjudice écologique peut constituer un levier contentieux supplémentaire, mais il impose un travail de qualification, de datation, de caractérisation et de preuve autonome du dommage environnemental.

Dépollution innovante et gestion des risques sur une friche industrielle

Gwénaél Barroux, Conception et accompagnement en environnement - Brézillon

g.barroux@brezillon.fr - +33 6 98 01 71 42

Sarah So, Ingénieur d'études Sites et Sols Pollués - Brézillon

sa.so@brezillon.fr - +33 7 65 17 84 39

La reconversion de l'ancienne friche industrielle STAR à Châtelleraut illustre une démarche intégrée où innovation technique, maîtrise des risques et coordination des acteurs permettent de sécuriser et requalifier un site complexe.

Porté par l'EPF Nouvelle-Aquitaine (EPFNA), le projet, effectué en conception-réalisation, a mobilisé un procédé de dépollution par lavage sur site permettant de **traiter et valoriser jusqu'à 80 % des terres directement sur place**. Cette solution a réduit de manière significative les évacuations et les apports de matériaux, divisant par **quatre le bilan carbone** de la phase de dépollution.

Au-delà de la performance environnementale, l'approche a intégré une gestion rigoureuse des **plantes invasives** et la **préservation d'espèces protégées**, conciliant impératifs réglementaires, continuité écologique et logique d'économie circulaire.

Ce retour d'expérience montre que le choix du mode **conception-réalisation** a été déterminant. Il a permis de mieux gérer les **risques et incertitudes** inhérents à la connaissance initiale du site.

Un manquement dans les études préalables a pu être compensé grâce au cadre de la conception-réalisation, qui n'a finalement pas eu d'incidence planning sur la livraison du terrain et la continuité de l'aménagement. De plus il a permis au client d'obtenir une **subvention de l'ADEME**, rendue possible par la valorisation sur site et la réduction des flux sortants.

Cet épisode confirme que la maîtrise des études amont est un levier essentiel pour fiabiliser le projet et éviter les dérives.

Lorsqu'elles sont bien anticipées, les études permettent non seulement de sécuriser les risques, mais aussi d'aller **plus loin que prévu**, en optimisant les performances environnementales et économiques des opérations de dépollution.

Innovative decontamination and risk management on an industrial brownfield site

Gwénaél Barroux, Environmental design and support - Brézillon

g.barroux@brezillon.fr - +33 6 98 01 71 42

Sarah So, Contaminated Sites and Soils Design Engineer - Brézillon

sa.so@brezillon.fr - +33 7 65 17 84 39

The redevelopment of the former STAR industrial wasteland in Châtelleraut illustrates an integrated approach in which technical innovation, risk management, and coordination between stakeholders have made it possible to secure and redevelop a complex site.

Led by EPF Nouvelle-Aquitaine (EPFNA), the design-build project involved an on-site washing decontamination process that treated and recovered up to 80% of the soil directly on site. This solution significantly reduced the amount of material removed and brought in, cutting the carbon footprint of the decontamination phase by a factor of four.

Beyond environmental performance, the approach incorporated rigorous management of invasive plants and the preservation of protected species, reconciling regulatory requirements, ecological continuity, and circular economy principles.

This feedback shows that the choice of the design-build approach was decisive. It enabled better management of the risks and uncertainties inherent in the initial knowledge of the site.

A shortcoming in the preliminary studies was offset by the design-build framework, which ultimately had no impact on the delivery schedule for the site and the continuity of the development. In addition, it enabled the client to obtain a grant from ADEME, made possible by on-site recovery and the reduction of outgoing waste streams.

This episode confirms that control of upstream studies is an essential lever for ensuring project reliability and avoiding cost overruns.

When properly planned, studies not only help mitigate risks, but also enable us to go further than expected by optimizing the environmental and economic performance of remediation operations.

From Polluted Soils to Transformative Soils: Dynamics, Alliances, and Territorial Reorientations

Rose Uomobono, Doctorante en architecture et sciences territoriales
Léonard // Chaire Arpenter
ENSAG/ UGA-AE&CC/ Chaire Territorialisation
Architecte DE-HMONP
T. +33 (0)641515792

M. rose.uomobono@grenoble.archi.fr

Among the major contemporary challenges of spatial planning, soil has recently become the focus of renewed attention across multiple disciplines, including urban and planning studies. Under the weight of degradation—and particularly pollution—soils also emerge as mirrors of our own fears (Strenna, 2023). Rooted in a hygienist vision inherited from modern urbanisation, these fears reinforce the tendency to frame degraded and polluted soils as waste, sacrificed zones (De Souza, 2020), or materials to be extracted and treated, often disconnected from their relationships with living systems that may have developed forms of resilience (Chenot, 2018). Once excavated, stored, and displaced, soils become inert substances—negative commons—detached from their original territories and their ecological and social continuities (Mies & Benholdt-Thomsen, 2001; Monnin, 2021).

In this context, this paper proposes a conceptual shift by distinguishing “*soils in transformation*”—subject to ongoing geochemical, anthropogenic, or unintended processes of change—and “*transformative soils*”, understood as active agents capable of reshaping development trajectories and practices. Moving beyond a passive understanding of polluted soils, the communication aims to explore how pollution can generate new relationships between soils and living beings, by slowing down, redirecting, or even preventing planning processes and by reorienting human and non-human practices.

This approach is grounded in an ongoing empirical research conducted on urban brownfield sites, notably the **Champ de la Garde** in Nanterre and the **Parc des Aygalades** in Marseille. In some cases, maintaining polluted soils on site, opened for negotiation and situated practices; in others, the prospect of soil transformation or replacement led to the emergence and recognition of new actors.

At the Champ de la Garde, spatial constraints and anthropogenic fillings, made extensive remediation unnecessary, enabling experiments with temporary uses in which polluted soil simultaneously structures and constrains practices.

At the Aygalades, processes unfold across multiple scales. In a Mediterranean context marked by water scarcity, erosion, and strong seasonal variability, soil dynamics impose their own temporalities of transformation. These dynamics, however, affect actors unevenly. Design and engineering teams, guided by regulatory compliance and safety concerns, seek to stabilise and control soils, while local collectives, associations, and residents adopt more situated approaches that tolerate or even value uncertainty. Where some prioritise remediation and stabilisation, others experiment, observe, and compose with the materiality of the site.

By choosing not to eliminate uncertainty but to engage with it methodologically, polluted soils can be approached as unstable yet potentially unifying environments. In a context where urban production tends to erase slowness, dirt, and marginalised forms of life, the involvement of local authorities,

“non-expert” actors, residents, children, and non-human narratives—such as wall lizards¹ in Nanterre or gammarids² in Marseille—expands the collective capacity for care through unexpected alliances.

Drawing on these case studies, this paper shows how polluted soils can act as operators of change, transforming logics of governance, spatial planning, and thus, inhabiting. By revealing new alliances between human and non-human actors, these degraded yet inhabited environments open pathways toward territorial strategies of renaturation grounded in care, uncertainty, and negotiation.

Des sols pollués aux sols transformateurs : Dynamiques, alliances et réorientations territoriales

Parmi les grands enjeux contemporains de l'aménagement, celui du sol fait aujourd'hui l'objet d'une véritable redécouverte au sein de multiples champs disciplinaires, dont les sciences de l'aménagement. Sous l'effet du poids de leurs dégradations — et en particulier de la pollution — les sols apparaissent aussi comme les miroirs de nos propres peurs (Strenna, 2023). Ces peurs enfouies, nourries par une vision hygiéniste héritée de l'urbanisation moderne, renforcent la tendance à considérer les sols dégradés et pollués comme des déchets, des *zones sacrifiées* (De Souza, 2020), des matières à extraire, à traiter, souvent arrachées à leurs relations avec un vivant parfois devenu résilient (Chenot, 2018). Excavés, stockés, déplacés, ils deviennent des substances inertes, des *communs négatifs* détachés de leur territoire d'origine et de leurs continuités écologiques et sociales (Mies_Benholdt-Thomsen, 2001; Monnin, 2021).

Dans ce contexte, cette communication cherche à établir un pont entre les sols pollués que nous qualifierons de « *sols en transformations* » — c'est-à-dire soumis à des dynamiques de changement — et des « *sols transformateurs* », capables d'infléchir un regard renouvelé. En passant d'un état subi, où les sols se transforment sous l'effet de processus géochimiques, d'usages humains passés ou présents, ou de perturbations non intentionnelles, à un état d'agentivité dans lesquels les pollutions deviennent capables de faire advenir des relations entre sols et vivants: en modifiant des trajectoires d'aménagement ou en les ralentissant /empêchant et in fine en réorientant les pratiques humaines et non humaines.

Cet angle se nourrit d'enquêtes menées sur plusieurs friches urbaines, notamment le **Champ de la Garde** à Nanterre et le **Parc des Aygalades** à Marseille. Sur ces terrains, le maintien en place de sols pollués a, dans certains cas, ouvert des espaces de négociation et de pratiques situées, tandis que, dans d'autres, la perspective de leur transformation ou de leur remplacement a conduit à l'émergence et à la prise en compte de nouveaux acteurs. Au Champ de la Garde, par exemple, les contraintes spatiales d'un délaissé routier et remblais anthropiques ont rendu inutile une dépollution exhaustive,

¹ The common wall lizard (*Podarcis muralis*) has been a protected species in France since 2021. Commonly associated with brownfield sites and transitional spaces, it was identified at the Champ de la Garde site in Nanterre following the construction of a dry-stone wall.

² The gammarid is a small freshwater crustacean (approximately 2 cm long) that lives in rivers and streams. In Marseille, it has become the symbol of a local collective—collectifdesgammare.com—as the presence or absence of gammarids is now used as a bioindicator of the ecological condition of a watercourse.

conduisant les acteurs locaux à expérimenter des formes d'occupation temporaire où la présence du sol pollué structure l'usage autant qu'il le contraint.

Aux Ayalades, l'action se joue à plusieurs échelles et selon des registres différents. À l'échelle du site, dans un contexte méditerranéen marqué par l'eau rare, l'érosion et de fortes variations saisonnières, les dynamiques des sols imposent leurs propres régimes de transformation. Mais ces transformations n'affectent pas les acteurs de manière homogène : les maîtrises d'œuvre, tenues par la conformité et la sécurité, cherchent à stabiliser et maîtriser ; les collectifs locaux, les associations et les habitants développent des approches plus situées, tolérant ou valorisant l'incertitude. Là où les uns visent l'assainissement et la tenue des sols, les autres expérimentent, observent, composent avec la matérialité du site.

Dans certains cas, en choisissant de ne pas évacuer l'incertitude, mais au contraire de s'y installer méthodologiquement, l'avenir des sols pollués peut ainsi être traité comme milieux instables mais néanmoins fédérateurs. Dans un contexte où la fabrique urbaine tend à effacer la lenteur, la laideur, le sale, les minorités visibles et/ou non visibles la participation de collectivités, d'acteurs "non experts", d'habitants, d'enfants et de récits autour du vivant non humain comme l'exemple de la présence du lézard des murailles³ à Nanterre ou des gammares⁴ à Marseille élargit la capacité collective de soin à des alliances inattendues.

À partir de ces terrains, cette communication montre comment les sols pollués peuvent devenir de véritables opérateurs de changement, capables de transformer les logiques de gouvernance, d'aménagement et d'habiter. En révélant des formes inédites d'alliances entre acteurs humains et non humains, ces milieux dégradés mais habités ouvrent la voie à des stratégies territoriales de renaturation fondées sur le soin, l'incertitude et la négociation.

Bibliographie

Chenot, Julie. 2018. « Réhabilitation écologique d'écosystèmes dégradés par l'exploitation des carrières : faire avec, refaire ou laisser faire la nature ? » Phdthesis, Université d'Avignon. <https://theses.hal.science/tel-02070639>.

De Souza, Marcelo Lopes. 2021. « 'Sacrifice Zone': The Environment–Territory–Place of Disposable Lives ». *Community Development Journal* 56 (2): 220-43. <https://doi.org/10.1093/cdj/bsaa042>.

Mies, Maria, et Veronika Bennholdt-Thomsen. 2001. « Defending, Reclaiming and Reinventing the Commons ». *Canadian Journal of Development Studies / Revue Canadienne d'études Du Développement* 22 (4): 997-1023. <https://doi.org/10.1080/02255189.2001.9669952>.

Monnin, Alexandre. 2021. « Les « communs négatifs »: Entre déchets et ruines ». *Études* Septembre (9): 59-68. <https://doi.org/10.3917/etu.4285.0059>.

Strenna, Luc. 2023. *Petite philosophie du sol. Étude et Gestion des Sols*. 30 (1).

³ Les lézards des murailles est une espèce protégée en France depuis 2021 qui est connue des friches et des espaces transitoires et a été repérée sur le site du champ de la garde à Nanterre suite à la construction d'un muret de pierre sèche.

⁴ Le gammare est une crevette de petite taille (2cm) qui vit dans les rivières d'eau douce. Il est devenu le symbole d'un collectif : collectifdesgammare.com à Marseille car la présence ou l'absence de gammare est un bio indicateur de l'état d'un cours d'eau.



PACIELLO Julie
Responsable d'études Gestion des ressources et économie circulaire
julie.paciello@cerema.fr - 06 58 45 38 53

Methodology for identifying agricultural soils potentially suitable for the beneficial use of dredged sediments (Gard and Hérault, France)

Julie PACIELLO¹, Emeline RAME¹, David JULLIEN² et Laurent EISENLOHR¹

¹Cerema, Cité des Mobilités, 25 avenue François Mitterrand, F-69500 Bron, France (julie.paciello@cerema.fr)

²Chambre interdépartementale d'agriculture de la Charente-Maritime et des Deux-Sèvres, 2 avenue de Fetilly, F-17000 La Rochelle, France (david.jullien@cmds.chambagri.fr)

Abstract

As part of its operation of a canal in the south of France, Voies Navigables de France (VNF) is responsible for dredging operations to maintain its navigability. These dredging operations generate large volumes of sediments, some of which must be managed on land. Currently stored in dedicated spaces, a part of those sediments could be used to upgrade the properties of agricultural soils. Searching to improve the properties of agricultural soils by recycling sediments – which took a waste status – this potential way of recovery is part of the circular economy approach.

The methodology for identifying agricultural soils potentially suitable for the recovery of dredged sediments is based on the framework set out in the Guide to the agricultural recovery of river dredged sediments (Cerema and Charente-Maritime – Deux Sèvres Interdepartmental Chamber of Agriculture, 2026 – currently being published). By ensuring that sediments serve a useful purpose and following the approach outlined in this Guide, sediments may lose their status as waste.

Deployed in the Gard and Hérault departments, the identification methodology of agricultural soils makes it possible to :

- Map agricultural soils according to their pedologic properties, to assess their potential for sediment recovery ;
- Take into account the main environmental contexts relating to agricultural recovery, namely the presence of wetlands and drinking water catchment protection areas.

In order to define the pedological potential of agricultural soils, the following steps were taken :

- Acquisition of soil datas from various accessible databases ;
- Processing of theses datas ;

- Development of maps to locate agricultural plots suitable for the a recovery of dredged sediments.

The mapping work has been elaborated at the agricultural plot level. Each plot is thus assigned a potential score base on six soil parameters : (1) useful reserve, (2) pH, (3) organic matter content, (4) soil texture, (5) coarse fraction and (6) soil thickness.

To pursue a comprehensive approach to recover sediments in agriculture, sediment producers should follow all the steps recommended in the Guide to the agricultural use of river dredging sediments, namely :

- Characterise the non-hazardous nature of the sediments ;
- Physically treat the sediments in order to prepare the processed sediments ready for agricultural use ;
- Characterise the processed sediments according to current regulatory and technical standards ;
- Ensure the compatibility of agricultural soil and sediments and define the methods for applying sediments to the soil.

In addition, this identification methodology can be replicated in other departements in order t o diagnose, as early as possible, which agricultural land is suitable for a beneficial use of dredged sediments.

Détermination de facteur de bioconcentration pour la modélisation des concentrations en éléments métallique dans les plantes potagères en contextes d'agriculture urbaine

B. Pauget¹, M. Billmann¹, A. Barbillon^{2,3}

¹ TESORA, 41 Rue Périer, 92120 Montrouge, France

² SecurAgri, AgroParisTech Innovation, 22 place de l'Agronomie, 91120, Palaiseau, France

³ Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, UMR SADAPT, 91120, Palaiseau, France.

Le développement de l'agriculture urbaine (AU) et des jardins partagés connaît un essor marqué, en réponse aux enjeux climatiques, sociaux et alimentaires des villes. Toutefois, ces projets s'implantent souvent sur des friches urbaines dont les sols présentent des pollutions diffuses, notamment en éléments traces métalliques (ETM). L'évaluation préalable des risques sanitaires constitue donc un prérequis essentiel, en particulier pour les projets de production alimentaire.

Dans les études d'exposition, la voie d'ingestion de végétaux autoproduits nécessite soit des mesures directes sur les cultures, soit, en amont, une modélisation des concentrations via des **facteurs de bioconcentration (BCF)**. Les BCF génériques utilisés aujourd'hui par la plupart des bureaux d'études proviennent du référentiel Ineris (2017), bien qu'ils aient été établis sans données issues de contextes urbains. Le retour d'expérience montre qu'ils conduisent fréquemment à une **surestimation importante** des concentrations modélisées, rendant les risques sanitaires « inacceptables » selon la méthodologie ERS, alors que les cultures tests révèlent bien souvent des concentrations réelles nettement plus faibles (Tableau 1).

Tableau 1. Comparaison des concentrations en Pb mesurées et modélisées dans 4 types de végétaux issus de 4 sites

Site	Concentration Pb sol (mg/kg)	Végétaux	Type de végétaux	BCF Pb Ineris	Concentration Pb modélisée MS (mg/kg)	Concentration Pb mesurée MS (mg/kg)
a	180	Tomate	Légume fruit	2,60E-02	4,68	0,34
b	240	Pomme de terre	Tubercule	1,00E-02	2,4	0,14
c	350	Abricot	Fruit	2,60E-02	9,1	0,16
d	520	Blette	Légume feuille	2,20E-02	11,44	1,67

L'exemple du **plomb (Pb)** illustre clairement cette divergence : pour plusieurs sites étudiés, les valeurs modélisées à partir du BCF Ineris dépassent d'un facteur 10 à 30 les concentrations mesurées dans les fruits ou légumes produits sur site.

Face à ce constat, Tesora a entrepris une étude visant à **comparer les BCF Ineris** avec des BCF recalculés à partir de différentes bases de données, à **constituer une nouvelle base interne** regroupant des données acquises dans des projets d'AU et à **tester l'apport de la base BAPPET**, base nationalement structurante, permettant des filtrages avancés selon le type de plante, les types de sols et les contextes.

La finalité est l'élaboration d'un **guide technique sur la construction des BCF en contexte urbain**, destiné aux acteurs de la gestion des risques en agriculture urbaine, et pouvant alimenter une prochaine version du **guide REFUGE**.

Maîtrise des incertitudes pour les modèles numériques de gestion des sites pollués

David Pitaval

Département Recherche &
Développement

d.pitaval@groupeginger.com

M +33 6 83 24 42 86



Agence de Montpellier
Parc d'activités Clément Ader
12 rue des Frères Lumière
34830 Jacou
www.ginger-burgeap.com



Auteurs : David Pitaval, Juliette Chastanet, Raphael Perillat, Jean-Marie Côme

Dans le cadre de plans de gestion (PG) et de plans de conception de travaux (PCT) définis par la MTES, 2017, il peut être nécessaire d'estimer les durées de traitement et de surveillance des sources de pollution selon différents scénarii afin d'évaluer le coût des solutions de gestion et dimensionner celles-ci. Le recours à des modélisations numériques constitue un élément de décision majeure car il permet d'intégrer l'ensemble des processus qui influencent la durée de vie de la source et/ou de son impact. Cependant, ces modèles sont rarement mis en œuvre, notamment en raison de la complexité des mécanismes en jeu et des incertitudes associés (variations temporelles et hétérogénéités spatiales des paramètres, ...). Par ailleurs, lorsqu'ils sont utilisés, les modèles font généralement l'objet d'une analyse sommaire des incertitudes sur un nombre limité de paramètres. Le projet R&D QUASPER, mené par GINGER BURGEAP, PHIMECA et le laboratoire de recherche GEORESSOURCES avec un co-financement de l'ADEME, montre qu'il est possible de réduire les temps de calcul et la complexité des modèles par simplification (de la physique, des dimensions, ...) ou via la construction d'un émulateur, et rendre ainsi applicable des outils avancés de quantification des incertitudes qui contribuent à sécuriser les résultats des modèles. Cette approche, testée sur plusieurs sites pollués, fournissent des éléments d'application concrets et des recommandations méthodologiques opérationnelles.

Mots clés : atténuation naturelle des sources, modélisation numérique, gestion des incertitudes

Inverse Analytical Modeling for Groundwater Plume Delineation: A Validation Case Study

Alexis GRIS^{1,2*}, Jacques BODIN¹, Laurent CANER¹

¹ : Université de Poitiers, IC2MP, Bât. B8, 5 Rue Albert Turpain, TSA 51106, 86073 POITIERS CEDEX 9, France, alexis.gris@univ-poitiers.fr

² : APAVE, Avenue Gay Lussac, 33370 ARTIGUES PRES BORDEAUX

Abstract

The effective management of groundwater pollution and remediation efforts fundamentally rely on the precise delineation of the contamination plume. The delineation and quantification of contaminant plumes in the subsurface remain complex and difficult tasks due to the inherent uncertainty in defining groundwater systems and the lack of comprehensive information.

The present work focuses on applying the Inverse Analytical Modeling (IAM) approach to the saturated zone. The methodology previously demonstrated its value and robustness in the unsaturated zone. IAM achieved an absolute error reduction of 40% to 70% compared to spatial interpolations on synthetic cases. Furthermore, its evaluation on 32 real-world soil remediation sites revealed a prediction conformity rate for contaminated/uncontaminated pit edges exceeding 80%.

Building on these results validated in the UZ, the method was adapted to the saturated zone. The approach relies on the sequential inversion of an analytical transport solution, adapted for aquifers, and applied to point triplets defined by Delaunay triangulation. This inversion allows for the reconstruction of a heterogeneous contaminant distribution that respects both the discrete data and the physical mechanisms (advection, dispersion, retardation). The method is simpler and faster to implement than numerical modeling.

The application to two real-world sites contaminated by Volatile Halogenated Organic Compounds (VHOCs) and PFAS in the water table demonstrated convincing results: between 80% and 90% conformity between IAM's predicted concentrations and the control data from the monitoring wells. This tool highlights its potential for optimizing the characterization and delineation of groundwater plumes.

Keywords:

Analytical solutions, groundwater pollution, saturated zone, inversion, transport and flow modelling

PFAS

PER- AND POLY-FLUOROALKYL SUBSTANCES



7th International Congress

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

16, 17, 18 & 19/06/2026 – 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



World Event Business Solutions



Mercredi 25 mars 2026

Diagnostic (Part. 2)

Modérateur : Benjamin Pauget, Tesora

09h00

Des données à la décision : Élaboration de modèles conceptuels de site efficaces intégrant les outils d'investigation en forensie des PFAS et les données historiques

Mark Higgins, Directeur scientifique - Exponent, États-Unis

09h30

Combinaison du regroupement chimique (Chemical Clustering), de l'utilisation des modèles QSARS (Quantitative Structure Activity Relation) et de l'approche expérimentale pour une nouvelle approche toxicologique

Philippe Oudin, Gérant fondateur - Semaco Environnement

10h00

La criminalistique environnementale pour définir l'origine du perchlorate

Jacques Martelain, Scientifique principal en criminalistique environnementale et soutien aux litiges - Terraquatron

10h30 Pause-café

11h00

Guide national : Caractérisation de la bioaccessibilité orale pour As, Cd et Pb dans les sols et intégration dans les évaluations des risques sanitaires

- Corinne Hulot, Responsable Études et Recherches - Unité Impact Sanitaire et Expositions - Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris)
- Aurélie Pelfrêne, Enseignant Chercheur en Toxicologie de l'Environnement, Laboratoire Génie Civil et géo-Environnement (LGCgE), JUNIA Lille

11h30

Projet Ilot Neyron (Saint-Étienne) : Innovations SSP pour la Ville Durable

Benjamin Pauget, Responsable R&D - Tesora

12h00

Validation expérimentale de deux essais physiologiques in vitro pour la détermination de la bioaccessibilité orale des HAP dans les sols

Rabia Badreddine, Ingénieur Études et Recherches - Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris)

12h30

Microplastiques : aperçu général et développements récents

Isabelle Zoia, Responsable service client / Support technique - SGS Environmental Analytics

13h00 Déjeuner

Travaux (Part. 1)

Modérateur : Laurent Thannberger, ElTeach Conseil

14h00

Dépollution in situ d'un panache de TCE à forte concentration sur un ancien site chimique au Royaume-Uni

Jack Shore, Directeur régional Europe - Regeneration, Irlande

14h30

Traitement des matrices polluées à forte teneur en carbone organique : Enjeux et limites

Quentin Lepiney, Responsable d'affaires - Ortec Soleo

15h00

Retour d'expérience : gestion et découverte de pollution concentrée, d'espèces exotiques envahissantes et de déchets dangereux dans le cadre de travaux de réhabilitation d'une friche

Adeline Janus, Chargée de projets - Énergipole Remédiation

15h30 Pause-café

16h00

Application d'une technologie ISCO tout-en-une pour le traitement du monochlorobenzène, du BTEX et du chloroforme dans les eaux souterraines d'une ancienne usine pharmaceutique en Italie

Alberto Leombruni, Directeur Technique, Assainissement des Sols et des Eaux souterraines - Evonik Active Oxygens, Italie

16h30

Le rôle multimécanisme du Fenton en zone non saturée : retour d'expérience sur une synergie ISCO - venting - biosparging

Lionel Counet, Ingénieur Projet - Injectis, Belgique

17h00

Élimination innovante des PFAS grâce au Lewatit® MDS TP 108 - Une nouvelle référence en matière d'échange d'ions

Simon Libert, Directeur des Ventes France - Lanxess

17h30 Questions - Réponses - Discussions

18h00 Fin de la seconde journée



Wednesday March 25, 2026

Diagnosis (Part. 2)

Moderator: Benjamin Pauget, Tesora

09h00

From data to decisions: Building effective conceptual site models by integrating PFAS forensic tools and historical datasets

Mark Higgins, Managing Scientist - Exponent, USA

09h30

Combination of chemical clustering, the use of QSARS (Quantitative Structure Activity Relation) models and the experimental approach for a new toxicological approach

Philippe Oudin, Founding Manager - Semaco Environnement

10h00

Environmental forensics to determine the origin of perchlorate

Jacques Martelain, Senior managing scientist in environmental forensics and litigation support - Terraquatron

10h30 Coffee Break

11h00

National guide : Characterisation of oral bioavailability for As, Cd and Pb in soils and integration in human health risk assessments

• *Corinne Hulot, R&D and Project Manager - Health Impact and Exposure Unit - French National Institute for Industrial Environment and Risks (Ineris)*

• *Aurélie Pelfrêne, Associate Professor in Environmental Toxicology, Laboratoire Génie Civil et géo-Environnement (LGCgE), JUNIA Lille*

11h30

Ilot Neyron Project (Saint-Étienne): Innovations in contaminated sites and soils for sustainable cities

Benjamin Pauget, Head of R&D - Tesora

12h00

Experimental validation of two in vitro physiological assays and for determining PAH bioaccessibility in soils

Rabia Badreddine, Research and Development Engineer - French National Institute for Industrial Environment and Risks (Ineris)

12h30

Microplastics : Overview and emerging developments

Isabelle Zoia, Customer Service Manager / Technical Support - SGS Environmental Analytics

13h00 Lunch

Work (Part. 1)

Moderator: Laurent Thannberger, ElTeach Conseil

14h00

In Situ Remediation of a High-Concentration TCE Plume at a Former Chemical Works in the UK

Jack Shore, Regional Manager Europe - Regensis, Irland

14h30

Treatment of polluted matrix with high organic carbon content: Challenges and limitations

Quentin Lepiney, Business Responsible - Ortec Soleo

15h00

Feedback: management and discovery of concentrated pollution, invasive alien species and hazardous waste during the rehabilitation of a brownfield site

Adeline Janus, Project Manager - Énergipole Remediation

15h30 Coffee Break

16h00

Application of an All-in-One ISCO Technology for the treatment of monochlorobenzene, BTEX and chloroform in groundwater at a former pharmaceutical facility in Italy

Alberto Leombruni, Technical Business Manager, Soil & Groundwater Remediation - Evonik Active Oxygens, Italy

16h30

The multi-mechanism role of Fenton in unsaturated zones: feedback on the synergy between ISCO, venting and biosparging

Lionel Counet, Project Engineer - Injectis, Belgium

17h00

Breakthrough PFAS Removal with Lewatit® MDS TP 108 – A New Benchmark in Ion Exchange

Simon Libert, France Sales Manager - Lanxess

17h30 Questions - Answers - Discussions

18h00 End of the Day Two



From data to decisions: Building effective conceptual site models by integrating PFAS forensic tools and historical datasets

Des données à la décision : Élaboration de modèles conceptuels de site efficaces intégrant les outils d'investigation des PFAS et les données historiques

Presenting Author

Mark Higgins, Ph.D. - Managing Scientist - Exponent, Inc.

mhiggins@exponent.com | T: +1 978 461 4668 | M: +1 959 900 2678

77 South Bedford St., Suite 350, Burlington, MA, 01803, USA

Co-Authors

Tiffany Thomas, Ph.D. (tthomas@exponent.com)

Alexandre Guittard (aguittard@exponent.com)

Abstract

Developing a comprehensive Conceptual Site Model (CSM) is fundamental to understanding and managing per- and polyfluoroalkyl substance (PFAS) contamination. This presentation outlines an integrated approach to PFAS site characterization that combines data synthesis, forensic analysis, and strategic use of historical and publicly available datasets to support effective decision-making throughout the investigation and remediation process. The CSM serves as a unifying framework for assembling multidisciplinary lines of evidence (e.g., hydrogeological data, analytical results, operational history, and geochemical context) to establish the sources, transport pathways, and environmental fate of PFAS.

A suite of forensic tools, including evaluation of chemical signatures, geochemical conditions, and physicochemical behavior, is explored for its capability to differentiate source areas and product types. The integration of these analyses within the CSM provides a foundation for designing sampling programs that target critical data gaps, improve data relevance, and optimize resource allocation. By leveraging existing datasets and iterative CSM refinement, practitioners can build a clearer picture of site conditions that directly informs remedial design, technology selection, and response strategies. Together, these elements illustrate how a well-constructed CSM, strengthened by forensic insights and strategic data use, transforms complex PFAS site data into actionable environmental management outcomes.

Innovative nature of the proposed topic

The innovative nature of this topic lies in the deliberate integration of CSM development, forensic PFAS analysis, and the use of historical and publicly available datasets into a cohesive approach for site investigation and remediation. Each of these components provides valuable insight on its own, but their combination creates a more robust framework for understanding complex PFAS behavior. This integrated

approach strengthens the ability to identify potential source areas, refine fate and transport assessments, and design sampling programs that directly address data gaps. By using existing datasets alongside new site-specific data, the CSM can evolve throughout the project lifecycle; improving the accuracy of interpretations and supporting more focused, effective remedial design and action planning. This synthesis of data interpretation, forensic evaluation, and iterative model development represents a step forward in how PFAS sites are characterized, managed, and remediated.

Objectives

Key objectives of this presentation are to help attendees:

1. Understand the role of CSM development as the central framework for organizing PFAS site data, evaluating sources, and guiding environmental decision-making.
2. Recognize how forensic tools (e.g., chemical signature analysis, geochemical context evaluation, and assessment of physicochemical properties) can be applied to distinguish PFAS source areas and product types.
3. Appreciate the value of leveraging historical and publicly available datasets to strengthen PFAS site characterization and fill data gaps efficiently.

Keywords

- Conceptual Site Model (CSM) Development
- PFAS (Per- and Polyfluoroalkyl Substances)
- Forensic Analysis / PFAS Forensics
- Site Characterization
- Source Identification
- Fate and Transport

Combinaison du regroupement chimique (Chemical Clustering), de l'utilisation des modèles QSARS (Quantitative Structure Activity Relation) et de l'approche expérimentale pour une nouvelle approche toxicologique

PFAs et Polluants émergents

Philippe OUDIN, SEMACO Environnement / Aurelien STAB, NYCO Group

Résumé

Le risque sanitaire induit par une pollution nécessite la connaissance de la toxicité des substances polluantes. Or, dans de nombreux cas et notamment pour les PFAs, la toxicité reste encore peu voire non connue en raison du nombre de substances à analyser.

Dans le cadre de la réglementation REACH, l'OCDE et l'Union Européenne ont proposé une approche basée non plus sur une étude toxicologique *in vivo* ni *in vitro*, mais sur une approche *in silico* basée sur l'utilisation de modèles mathématiques reliant la structure et l'activité d'une molécule. Le LORIA1 a ainsi développé, en collaboration avec la société NYCO, une approche mathématique basée sur la méthode mathématique des harmoniques sphériques ayant permis d'obtenir jusqu'à 200 descripteurs de molécules.

Validée sur des substances organophosphorées par des tests croisés *in silico* / *in vitro* par Karaboga et al., SEMACO Environnement a décidé d'appliquer cette approche à l'étude d'un groupe de 74 PFAs², proposé par l'EPA comme « composés d'intérêt ».

Matériel et méthodes

L'étude en elle-même est basée sur l'utilisation du logiciel développé par la société NYCO³ appliqué à une étude de cas proposée par SEMACO Environnement dans le cadre de la nouvelle problématique posée par les polluants émergents tels que les PFAs ou les composés pyrotechniques.

En raison du nombre de molécules à prendre en compte et du faible nombre de VTR disponible sur les polluants émergents, une approche toxicologique traditionnelle n'est pas envisageable, tant d'un point de vue pratique qu'économique.

L'approche informatique a donc été proposée sur la base de connaissances scientifiques récentes⁴ publiées en mai 2024 validant la représentativité de l'approche QSAR et des harmoniques sphériques.

Cette publication s'appuie sur l'étude des organophosphorés. Ces substances, présentant de nombreuses similitudes avec les PFAs, sont utilisées pour leurs propriétés physico-chimiques : retardateurs de flammes, plastifiants, lubrifiants et pesticides, les organophosphorés sont également neurotoxiques et bioaccumulables. Leur ubiquité dans l'environnement expose l'homme à un risque sanitaire accru. Tout comme les PFAS, ces polluants font référence à une multitude de molécules.

Dans l'étude à la base de cette approche, 42 organophosphorés ont ainsi été testés. Se basant sur des modèles informatiques, des tests biologiques sont ensuite venus confirmer les données issues de ces premiers avec une correspondance de 68%. Des produits commerciaux contenant des organophosphorés en mélange ont également été testés afin d'avoir une vision représentative et réaliste du fonctionnement du logiciel.

1 Laboratoire Lorrain de Recherche en Informatique et ses Applications

2 Per et polyfluoroalkylés

3 Karaboga, S., Severac, F., Collins, E. S., Stab, A., Davis, A., Souchet, M., & Hervé, G. (2024). Organophosphate toxicity patterns : A new approach for assessing organophosphate neurotoxicity. *Journal of Hazardous Materials*, 470, 134236. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.134236>

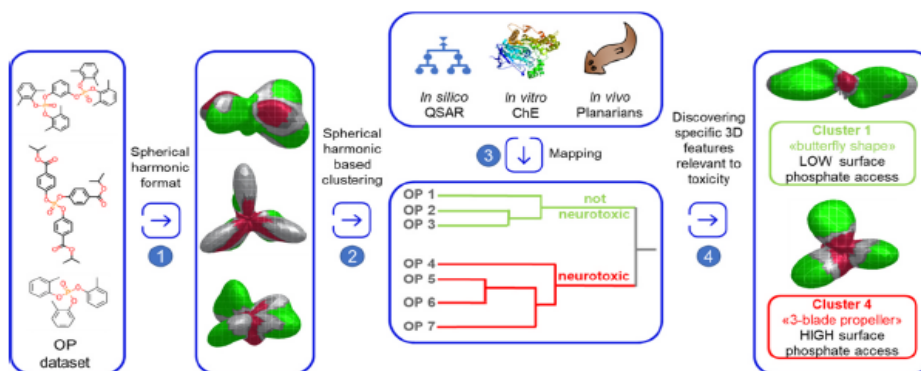


Figure 1 : Étapes et mécanismes de mise au point du logiciel - application sur les organophosphorés

Application aux PFAs

Devant l'apparition constante de nouvelles problématiques liées aux PFAs, une nouvelle approche de gestion est à envisager. En effet, certains d'entre eux n'étant pas substituables, une approche toxicologique est nécessaire qui au vu de leur nombre ne peut aboutir dans des délais raisonnables.

La présente étude s'est donc résumée à appliquer cette méthode à un panel de 74 PFAs choisis par l'EPA en raison de leur pertinence mais également compatibilité avec le temps de calcul informatique nécessaire au rendu. Sur les 74 PFAS de la base de données, seulement 7 possèdent une VTR.

Ainsi, à partir des 16 modèles QSAR disponible sur **Safety-By-Design®**, la toxicité humaine, l'écotoxicité et la perturbation endocrinienne ont été évaluées sur les 74 PFAS sélectionnés. La Figure 2 détaille, pour chacune de ces catégories, les différents tests réalisés.

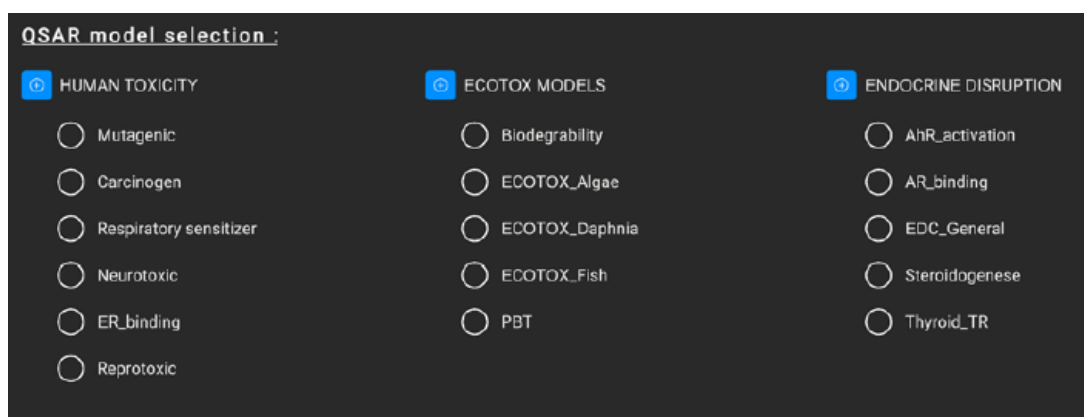


Figure 2 : Modèles QSAR utilisés par le logiciel pour évaluer la toxicité

ER = Estrogene Receptor ; PBT = Persistent, Bioaccumulative and Toxic ; AhR : Aryl hydrocarbon Receptor ; AR = Androgene Receptor ; TR = Thyroid Receptor ; EDC = Endocrine-Disrupting Chemicals

La nouvelle approche proposée par le couplage QSAR/Harmoniques Sphériques/Clustering moléculaire laisse donc entrevoir la possibilité de classifier et regrouper les molécules de PFAs par toxicité équivalente et d'aider les décideurs dans le choix des molécules devant prioritairement faire l'objet des tests toxicologiques, à la fois en raison de leur caractère non substituable, et de leur éventuelle toxicité particulière.

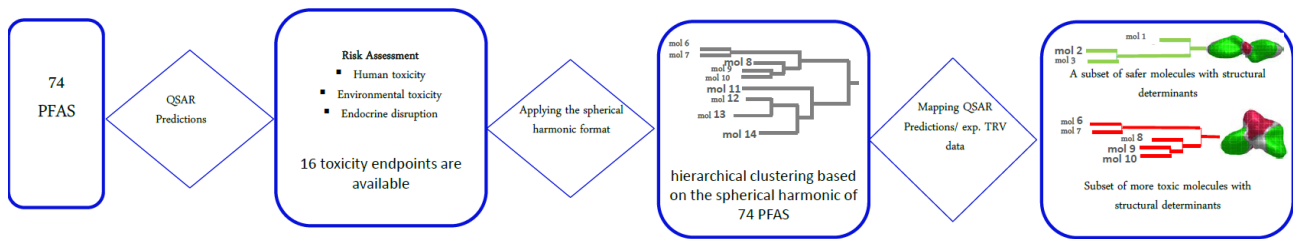


Figure 3 : Récapitulatif des étapes du projet

La Figure 3 schématise les différentes étapes du projet qui sont :

- L'évaluation de la toxicité de chaque PFAs grâce aux différents modèles QSAR;
- L'application des harmoniques sphériques pour modéliser les molécules permettant la classification des PFAs en clusters;
- Identification des groupes disposant de composés possédant des des VTR validées avec d'autres PFAs qui n'en disposent pas encore, et identification des groupes présentant un intérêt particulier qui nécessite la réalisation de tests.

Résultats et discussion

Suites à l'application de ce logiciel sur les 74 PFAs cibles, plusieurs formats de résultats ont pu être obtenus. D'abord, une synthèse des données QSAR pour chacun des composés est générée : la Figure 4 illustre le cas du PFOA sur la sensibilité respiratoire : le logiciel indique que ce composé ne semble pas induire de sensibilité respiratoire, mais avec une fiabilité moyenne.

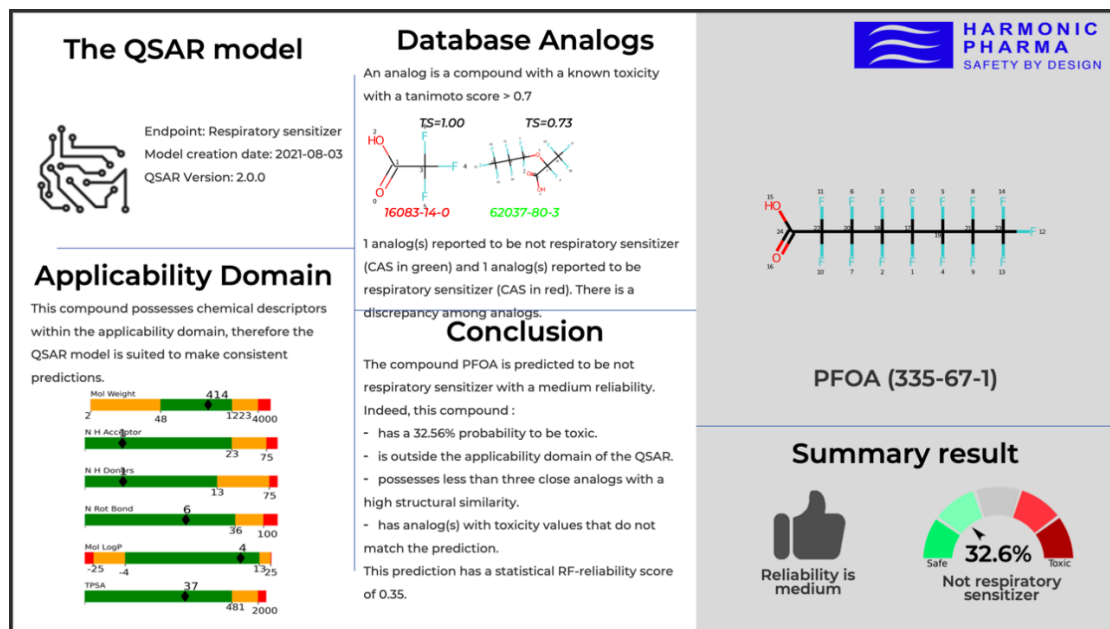


Figure 4 : Synthèse des données QSAR sur le PFOA et toxicité associée

Puis, une hiérarchisation des composés (*clustering*) avec indication du taux de toxicité a été réalisée : 7 clusters ont alors été recensés par le logiciel.

Enfin, une recherche de VTR pour chaque espèce a été mise en valeur sur le dendrogramme. (voir Figure 5). Parmi les 7 clusters se démarquent les n°2, 3, et 5, pour lesquels une VTR existe. A l'inverse, les clusters n°1, 4, 6 et 7 nécessitent des études complémentaires afin de déterminer une valeur limite.

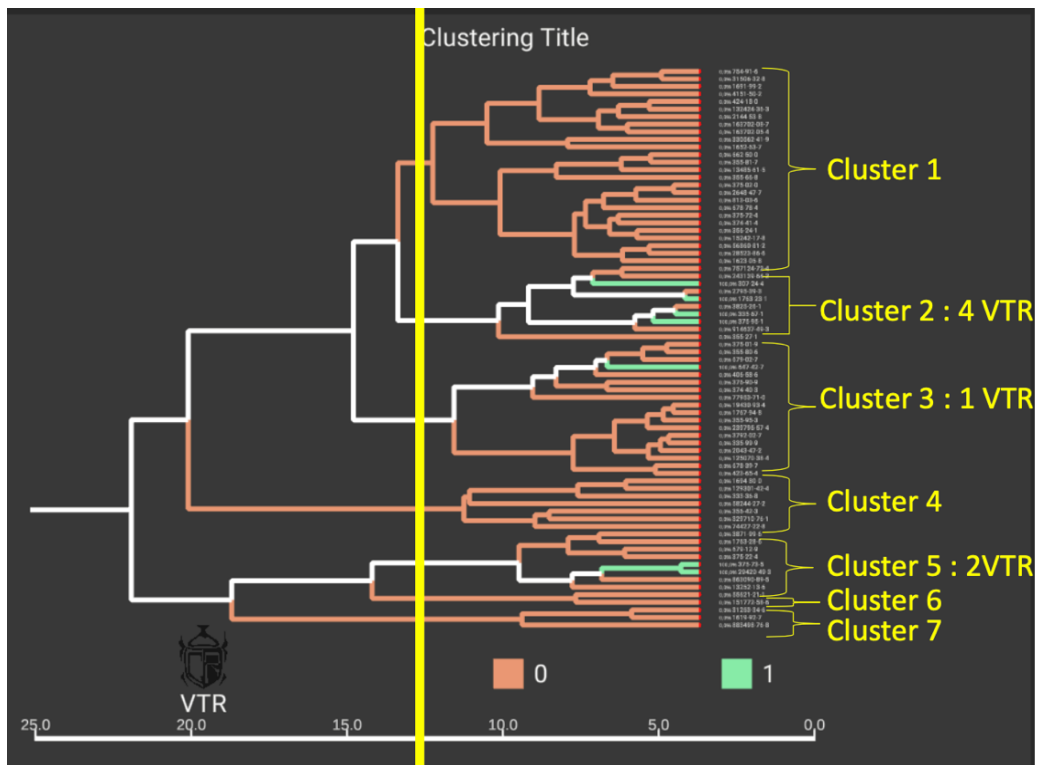


Figure 5 : Mise en relation des VTR avec les clusters obtenus

Conclusions et perspectives

L'application de cette méthode d'évaluation a permis de vérifier la faisabilité de la classification de 74 PFAs en termes de toxicité.

Cette approche pourrait être étendue à un plus grand nombre de molécules. En effet, la mise en œuvre de moyens informatiques supplémentaires pourrait permettre de prendre en compte plusieurs centaines de molécules et d'apporter ainsi une approche plus réaliste de la problématique PFAs notamment en ce qui concerne la prise en compte des précurseurs et des métabolites dans l'évolution des techniques analytiques type TOP Assay.

Les acteurs de cette collaboration sont donc à la recherche de partenaires pour valider cette approche comme ceci a été fait pour les organophosphorés.

Une seconde application actuellement à l'étude est de faire fonctionner la modélisation rebours. Ainsi en partant d'une activité particulière d'un PFAs non substituable de par la spécificité de cette caractéristique, l'outil informatique est capable de proposer une série de molécules équivalentes mais présentant des toxicités moindres.

Références

- Karaboga, S., Severac, F., Collins, E. S., Stab, A., Davis, A., Souchet, M., & Hervé, G. (2024). Organophosphate toxicity patterns: A new approach for assessing organophosphate neurotoxicity. *Journal of Hazardous Materials*, 470, 134236. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.134236>
- Dr P.Oudin, CEO SEMACO, Dr S. Karaboga, Scientific and Commercial Director, HARMONIC PHARMA (2023). *Combination of QSAR models and chemical clustering - application to the PFAS toxicology assessment*, [Diapositives], Management of Environmental and health Risks, Paris, France.

Environmental forensics to determine the origin of perchlorate

La criminalistique environnementale pour définir l'origine du perchlorate

Jacques Martelain, Senior managing scientist in Environmental forensics and litigation support

TERRAQUAtron

61, route de Saint Romain
Fr-69450 Saint Cyr au Mont d'Or

Tel. + 33 (0) 6 72 73 53 40 (Fr)

Tel. + 41 (0) 78 842 34 11 (CH)

j.martelain@orange.fr

Increased health concerns about perchlorate (ClO_4^-) during the past decade and subsequent regulatory considerations have generated appreciable interest in source identification.

The key objective of the isotopic techniques described in this presentation is to provide evidence concerning the origin of ClO_4^- in soils and groundwater and, more specifically, whether that ClO_4^- is synthetic or natural.

Chlorine and oxygen isotopic analyses of ClO_4^- provide the primary direct approach whereby different sources of ClO_4^- can be distinguished from each other. These techniques measure the relative abundances of the stable isotopes of chlorine (^{37}Cl and ^{35}Cl) and oxygen (^{18}O , ^{17}O , and ^{16}O) in ClO_4^- using isotope-ratio mass spectrometry (IRMS).

In addition, the relative abundance of the radioactive chlorine isotope ^{36}Cl is measured using accelerator mass spectrometry (AMS). Taken together, these measurements provide four independent quantities that can be used to distinguish natural and synthetic ClO_4^- sources, to discriminate different types of natural ClO_4^- , and to detect ClO_4^- biodegradation in the environment.

Other isotopic, chemical, and geochemical techniques that can be applied in conjunction with isotopic analyses of ClO_4^- to provide supporting data in forensic studies are also described.

Guide national « Caractérisation de la bioaccessibilité orale pour As, Cd et Pb dans les sols et intégration dans les évaluations quantitatives des risques sanitaires »

National guide « Characterisation of oral bioavailability for As, Cd and Pb in soils and integration in human health risk assessments »

Corinne Hulot¹, Aurélie Pelfrêne², Aline Coftier³, Marilyne Soubrand⁴, Rabia Badreddine¹, Franck Marot⁵

Contact: corinne.hulot@ineris.fr Responsable Études et Recherches,
aurelie.pelfrene@junia.com Enseignant Chercheur en Toxicologie de l'Environnement

¹ Ineris - Unité Impact Sanitaire et Expositions, Parc Technologique Alata, BP 2, 60550 Verneuil-en-Halatte, France

² Univ. Lille, IMT Nord Europe, Univ. Artois, Junia, ULR 4515 – LGCgE, Laboratoire de Génie Civil et géo-Environnement, 48 Boulevard Vauban, BP 41290, 59014 Lille cedex, France

³ BRGM, 3 Avenue Claude Guillemin, 45100 Orléans, France

⁴ Université de Limoges, Laboratoire E2Lim UR 24133. Faculté des Sciences et Techniques, 123 Avenue Albert Thomas, 87060 Limoges Cedex, France

⁵ Agence de l'environnement et de la Maîtrise de l'Energie, 20 avenue du Grésillé- BP 90406, 49004 Angers Cedex 01 France

Mots clés : sols pollués ; As, Cd, Pb ; ingestion non intentionnelle de sol ; bioaccessibilité orale ; évaluation quantitative des expositions et des risques sanitaires.

Résumé

Parmi les enjeux de la gestion des sites et sols pollués (SSP), l'évaluation quantitative de l'exposition et des risques des populations (EQRS) en lien avec l'ingestion non intentionnelle de particules de sols pollués lors d'activités de loisirs constitue une question majeure. C'est particulièrement le cas chez les jeunes enfants du fait du porté main-bouche, ou chez les adultes lors des activités de jardinage. Classiquement, cette évaluation repose sur les concentrations totales des polluants dans les sols. Cependant, seule une fraction de ces polluants, dite biodisponible, est réellement assimilable par l'organisme et susceptible d'induire un effet toxique. Afin d'éviter une potentielle surestimation des risques et un surdimensionnement des mesures de gestion, l'intégration de la biodisponibilité par la détermination de la bioaccessibilité orale (i.e. la fraction libérée dans les sucs gastro-intestinaux humains et disponible pour l'absorption) dans l'évaluation est essentielle pour mieux refléter l'exposition réelle aux polluants. Malgré les nombreux travaux réalisés depuis plusieurs années notamment avec le test UBM (Unified Bioaccessibility Method) NF ISO 17924:2019¹ considéré en France comme la méthode de référence, ou le test « Méthode simplifiée HCl » NF ISO 7303:2025², la bioaccessibilité demeure encore peu utilisée par les acteurs de la gestion des SSP. Cela s'explique notamment par le temps d'analyses au regard des différentes étapes d'extraction nécessaires et les coûts relativement élevés associés au test UBM, ainsi que par une démarche d'intégration dans les EQRS qui était jusque-là peu favorable pour le plomb (guide InVS-Ineris, 2012³). Par ailleurs, lorsqu'elle est mise en œuvre, des hétérogénéités de pratiques sont observées (prétraitement des échantillons, intégration dans les EQRS, etc.).

¹ « Qualité du sol – Evaluation de l'exposition humaine par ingestion de sol et de matériaux de sol – Mode opératoire pour l'estimation de la bioaccessibilité/biodisponibilité pour l'homme de métaux dans le sol » (NF ISO 17924:2019) ; test validé par rapport à un modèle *in vivo* (le porcelet) pour l'arsenic, le cadmium et le plomb.

² Méthode simplifiée pour la prédiction de la bioaccessibilité orale des métaux et des métalloïdes dans les sols » (NF ISO 7303:2025) ; une extraction simple à l'acide chlorhydrique (HCl, 0,65 % v/v).

³ InVS, Ineris (2012) Quantités de terre et poussières ingérées par un enfant de moins de 6 ans et bioaccessibilité des polluants. État des connaissances et propositions, Institut de veille sanitaire et Institut national de l'environnement industriel et des risques, septembre 2012.

Face à ces constats, un Groupe de Travail national dédié à la bioaccessibilité orale des métaux et métalloïdes dans les sols, piloté par l’Ineris dans le cadre de ses missions d’appui au ministère en charge de l’Environnement, a été mis en place⁴. Il a eu comme objectif de produire un guide opérationnel reposant sur les avancées scientifiques, les outils normatifs disponibles, et les retours d’expérience.

Ce guide fournit des lignes directrices sur la mise en œuvre de la caractérisation de la bioaccessibilité orale de As, Cd, Pb dans les sols, ainsi que des recommandations et des points d’attention. Il propose de plus une méthode opérationnelle pour intégrer efficacement la bioaccessibilité de ces éléments dans les EQRS. Le guide intègre également l’utilisation de la « Méthode simplifiée HCl » (normée fin 2025) de prédiction de la bioaccessibilité comme outil de screening, plus simple et moins coûteux que le test UBM, pour les études nécessitant la caractérisation de la bioaccessibilité sur de nombreux échantillons avant un recours ciblé au test UBM sur certains échantillons d’intérêt.

En s’adressant directement aux opérateurs impliqués dans la gestion des sites et sols pollués, ce guide vise à les sensibiliser pour promouvoir l’usage de la bioaccessibilité de façon harmonisée.

Les différentes étapes du guide seront présentées, illustrées par une des études de cas.

⁴ GT comportant un Comité restreint constitué par des représentants du ministère en charge de l’environnement, de l’Ademe, du BRGM, de Junia, de l’Université de Limoges, de l’Université de Lorraine et de l’Ineris, et un Comité élargi constitué de différents acteurs du domaine des sites et sols pollués (professionnels des sites pollués et parties prenantes dans le cadre de dossiers sites et sols pollués, comme des exploitants, des collectivités, des établissements publics fonciers, des promoteurs/aménageurs de site) ; le travail réalisé ayant aussi bénéficié de la contribution des projets de recherche (Bioac’ERS) passés ou en cours.

Projet Ilot Neyron (Saint-Étienne) : Innovations SSP pour la Ville Durable

C. Challaye¹, O. Faure², F. Paran², C. Philibert³, B. Pauget¹

¹TESORA, 41 Rue Périer, 92120 Montrouge

²École des Mines de Saint-Étienne, 158 Cr Fauriel, 42100 Saint-Étienne

³EPA-SAINTE-ÉTIENNE- 49 rue de la Montat, 42100 Saint-Étienne

Le projet de l'Ilot Neyron, porté par l'EPASE dans le cadre du Démonstrateur de la Ville Durable, explore des approches innovantes pour réduire l'impact environnemental des opérations de requalification urbaine sur friches polluées, tout en sécurisant les usages futurs (parc public et jardins). Le site présente (en dehors des pollutions organiques préalablement gérées par l'EPORA) des pollutions diffuses en éléments traces métalliques (ETM) dont certaines caractéristiques du bruit de fond géochimique stéphanois, fortement influencé par la géologie locale et l'anthropisation historique. Les pratiques actuelles de gestion SSP (recouvrements systématiques par terres végétales ou matériaux inertes) des pollutions résiduelles sont questionnées puisqu'elles génèrent de fortes consommations de ressources, des impacts CO₂ élevés et limitent l'ambition de « zéro artificialisation nette ».

Le travail mené associe TESORA (AMO SSP) et l'École des Mines de Saint-Étienne (EMSE). Il repose sur cinq axes complémentaires :

- Identifier les leviers d'évolution des pratiques,
- Transférer aux concepteurs une lecture intégrée sol – risques – usages
- Produire un diagnostic environnemental approfondi incluant bioaccessibilité et EQRS ;
- Établir une feuille de route sur 10 ans ;
- Proposer une méthodologie répliquable pour d'autres friches.

Trois leviers scientifiques ont été retenus pour la partie SSP :

1. Bioaccessibilité orale (As, Cd, Pb)

Les analyses (méthode UBM) montrent que seule une fraction plus ou moins faible des ETM est réellement assimilable dans le tube digestif. Le recours à la bioaccessibilité permet d'éviter une surestimation des risques sanitaires et d'ajuster les préconisations de gestion. Le projet s'inscrit dans les avancées nationales (GT Bioaccessibilité, projets ODESSA / Bioac'ERS) et contribue à améliorer la prise en compte du Pb.

2. Biodisponibilité environnementale et phytodisponibilité

L'EMSE a caractérisé la disponibilité réelle des polluants dans les sols, les végétaux spontanés et des cultures potagères expérimentales implantées en zones témoin et polluée. Il en ressort que la phytodisponibilité est faible à modérée, cohérente avec le bruit de fond local, la revégétalisation pourrait être possible sans apport de terre végétale (145 espèces recensées) et que certaines cultures restent conformes aux seuils réglementaires tandis que d'autres (radis, légumes-feuilles) dépassent ponctuellement d'où la nécessité de raisonner par zones.

3. Utilisation d'un référentiel de bruit de fond géochimique local

L'étude démontre que les référentiels nationaux (ASPITET, BDSOLU) pour Saint-Étienne ne sont pas toujours pertinents car sous-représentés dans les bases. Le référentiel local EMSE montre que la plupart des concentrations mesurées sur la friche correspondent aux sols typiques stéphanois, et non à une pollution anthropique nécessitant un recouvrement. Il existe donc un enjeu fort d'intégration des référentiels locaux dans la gestion SSP, en cohérence avec les risques réels et les objectifs de durabilité.

Des questions restent cependant à lever en lien avec l'acceptabilité d'un point de vue sanitaire de certains bruits de fond géochimique.

Enseignements globaux et perspectives

Le croisement bioaccessibilité / biodisponibilité / géochimie locale permet une compréhension plus réaliste des risques et peut ouvrir des possibilités d'aménagement en pleine terre, sans recouvrements systématique. Ce projet constitue une étape dans le but de mettre en place des méthodologies répliquables pour réduire l'artificialisation et les mouvements de terre et favoriser la recréation de sols fertiles à partir des sols en place mais également pour adapter la méthodologie SSP aux milieux urbains anthropisés et construire des guides et standards répliquables.

Comparison of two in vitro physiological assays for determining PAH bioaccessibility in soils

Rabia BADREDDINE¹, Ahmad EL MASRI¹

rabia.badreddine@ineris.fr

¹ Ineris, Parc Technologique Alata, BP 2, 60550 Verneuil-en-Halatte, France

Keywords: Bioaccessibility, PAH, experimental validation, human health risk assessment, corrective factor, influencing factors

The quantitative human health risks assessment for the ingestion of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) present in polluted soils leads to an overestimation of these risks. According to a conservative approach, it is assumed that the bioavailability of PAHs in soil is total, while only a fraction of PAHs in soils reaches the bloodstream and is likely to induce toxic effects. To compensate for this overestimation, the 2017 French national methodology for the polluted site management encourages the use of a corrective factor for the total concentration to provide a more realistic estimation of exposure. This factor is based on in vivo bioavailability (which is the fraction released into human gastrointestinal fluids and therefore available for absorption). Because these tests are expensive and raise ethical concerns, in vitro bioaccessibility tests simulating digestion in the human gastrointestinal tract are today an alternative to in vivo bioavailability tests. Two physiological assay simulating gastrointestinal digestion were tested by Ineris between 2022 and 2024 as part of studies in support of the French Ministry in charge of the environment. The standardized test "Bioaccessibility of organic and inorganic pollutants from polluted soil or soil-like material" (ISO 8259, 2024) from the German DIN¹ test and the FOREhST (Fed ORganics Estimation human Simulation) derived from the in vitro UBM (Unified Bioaccessibility Method) test, also standardized (ISO 17924, 2019)². Both assays consider the influence of food presence on the gastrointestinal system

The tests are carried out on soils with different characteristics: Fontainebleau sand (spiked with a 16 PAHs solution) and silt from the inter-laboratory comparison organized by Bipea³.

Before these tests can be routinely applied in polluted site projects, it is essential to validate them experimentally. This validation is based on criteria of repeatability and reproducibility of yield and the study of the different factors influencing bioaccessibility (matrix, protocol, presence or absence of food...). The extraction yield of PAHs from soils using ASE (Accelerated Solvent Extraction) is between 80 and 100% for most PAHs, while extractable PAHs using SPE (Solid Phase Extraction) of extractable PAHs exceeds 70%. The two assays are compared experimentally. The protocol, soil characteristics, and the presence of food are factors influencing the bioaccessibility of PAHs.

¹ DIN 19738 Soil quality - Bioaccessibility of organic and inorganic pollutants from contaminated soils

² Assessment of human exposure through ingestion of soil and soil materials – Procedure for estimating the bioaccessibility/human bioavailability of metals in soil"

³ Interlaboratory comparison organization

Comparaison de deux essais physiologiques in vitro pour la détermination de la bioaccessibilité orale des HAP dans les sols

Rabia BADREDDINE¹, Ahmad EL MASRI¹

rabia.badreddine@ineris.fr

¹ Ineris, Parc Technologique Alata, BP 2, 60550 Verneuil-en-Halatte, France

Mots clés : Bioaccessibilité, HAP, validation expérimentale, évaluation des risques sanitaires, facteur correctif, répétabilité, reproductibilité, rendement, facteurs d'influence

L'évaluation quantitative des risques sanitaires pour l'ingestion des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) présents dans les sols pollués induit une surestimation de ces risques. Selon une approche conservatoire, il est considéré que la biodisponibilité des HAP dans les sols est totale, alors que seule une fraction des HAP des sols atteint la circulation sanguine et susceptible d'induire un effet toxique. Pour pallier cette surestimation, la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués (SSP) de 2017 incite à l'utilisation d'un facteur correctif de la concentration totale pour une estimation plus réaliste de l'exposition. Ce facteur est déterminé par la biodisponibilité in vivo (fraction libérée dans les sucs gastro-intestinaux humains et disponible pour absorption). Comme ces essais sont à la fois onéreux et soulèvent des questions éthiques, les essais in vitro de bioaccessibilité simulant la digestion dans le tractus gastro-intestinal humain sont aujourd'hui une alternative aux essais in vivo de biodisponibilité. Deux essais physiologiques simulant la digestion gastro-intestinale ont été expérimentés par l'Ineris dans le cadre d'études en appui au ministère en charge de l'environnement entre 2022 et 2024. L'essai normalisé « Bioaccessibilité des polluants organiques et inorganiques provenant d'un sol ou d'un matériau de type sol pollué » (NF ISO 8259, 2024) issu de l'essai allemand DIN¹ et l'essai FOREhST (Fed Organics Estimation human Simulation) inspiré de l'essai in vitro UBM (Unified Bioaccessibility Method) également normalisé (NF ISO 17924, 2019)². Les deux essais prennent en compte l'influence de la présence d'aliment dans le système gastro-intestinal

Les essais sont réalisés avec des sols de caractéristiques différentes : un sable de Fontainebleau (dopé avec une solution des 16 HAP et un limon issu de la comparaison inter-laboratoires organisée par Bipea³ dont la teneur en 16 HAP est de 4350 µg/kg.

Avant l'utilisation de ces essais en routine dans les projets de sites pollués, il est primordial de les valider expérimentalement. Cette validation s'appuie sur des critères de répétabilité, de reproductibilité du rendement avec l'étude des différents facteurs influençant la bioaccessibilité (matrice, protocole, présence ou absence d'aliment...). Le rendement d'extraction des HAP des sols par ASE (Accelerated Solvent Extraction) est compris pour la majorité des composés entre 80 et 100% et le rendement d'extraction par SPE (Solid Phase Extraction) des HAP extractibles dépasse 70%. Les deux essais sont comparés sur le plan expérimental. Le protocole, les caractéristiques des sols, la présence de l'aliment sont des facteurs influençant la bioaccessibilité des HAP.

¹ DIN 19738 Qualité du sol - Bioaccessibilité des polluants organiques et inorganiques des sols contaminés

² « Evaluation de l'exposition humaine par ingestion de sol et de matériaux de sol – Mode opératoire pour l'estimation de la bioaccessibilité/biodisponibilité pour l'homme de métaux dans le sol »

³ Organisation de comparaison inter-laboratoire

Microplastics: Overview and Emerging Developments

Context:

Global plastic production has reached approximately 400 million tons annually and is projected to rise to 600 million tons by 2025, surpassing 1 billion tons by 2050. Of this amount, an estimated 19–23 million tons of plastic waste enter the oceans each year. More than 80% of marine litter originates from unmanaged land-based waste streams rather than ocean-based sources.

The recently published EU directive on soil highlights the critical need to monitor nano- and microplastics in terrestrial environments. Microplastics remain an emerging topic, with research and methodologies evolving rapidly.

Target:

- Share our analytical expertise to establish a comprehensive framework for quantifying and characterizing environmental samples.
- Provide stakeholders—including consultants, remediation companies, industry players, and regulatory authorities—with accurate information to select the most appropriate analytical methods for their specific context.

Approach:

Deliver a complete overview of available techniques, including the latest developments, detailing their applications, limitations, and sampling recommendations.

Contact:

Isabelle ZOIA
Manager customer service / technical support – France
SGS Environmental Analytics
Isabelle.ZOIA@sgs.com

***In Situ* Remediation of a High-Concentration TCE Plume at a Former Chemical Works in the UK**

Jack Shore, Regional Manager Europe

REGENESIS

jshore@regenesisis.com

+44 (0)7720 633 930

Background/Objectives: A highly contaminated chemical works in the UK undergoing redevelopment was once among the most environmentally contaminated sites in the UK. The site had high levels of trichloroethene (TCE) contamination in groundwater, with reported dense non-aqueous phase liquids (DNAPL) and dissolved-phase concentrations above 100,000 micrograms per litre ($\mu\text{g/L}$) in multiple locations. The remediation objectives for the >12,000 m² chlorinated solvent plume were to show a significant mass reduction and declining trend of TCE in groundwater and demonstrate enhanced reductive dechlorination (ERD) continuing through the collection and analysis of natural attenuation parameters.

Approach/Activities: *In situ* remediation of the chlorinated solvent plume via ERD was selected for implementation based on several factors, including proven effectiveness, cost, and the ability to accommodate the site's redevelopment schedule with little disruption. However, achieving the treatment goals in a source area with high TCE concentrations/DNAPL can present challenges to this approach since any TCE eliminated from the dissolved phase is quickly replaced by (i.e., equilibrates with) the more substantial TCE mass in the soil and DNAPL phases. This effect can appear to "stall" further concentration reductions in groundwater over long periods, rendering the approach inefficient. To prevent this condition, controlled-release electron donor were combined with sulfidated zero-valent iron (ZVI) amendments and injected into the highest mass zones to synergistically facilitate biotic and abiotic reduction pathways and increase contaminant removal rates. The electron donor was applied with no ZVI when lower TCE concentrations and a higher proportion of daughter products were present in the plume. Injections were closely coordinated with the site contractors to avoid impeding construction activities. Before implementing the *in situ* remediation approach, recoverable DNAPL was physically extracted. Additional monitoring points were installed to delineate the source zone and ensure accurate targeting of the contaminant mass-flux zones.

Results/Conclusions: The combined enhanced reductive dechlorination (ERD) and *in situ* chemical reduction (ISCR) treatment lowered TCE concentrations by 85% within a year while also minimizing further cis-1,2-dichloroethene (DCE) and vinyl chloride (VC) generation. Additionally, ethene was detected throughout the plume, with *Dehalococcoides* sp. populations and functional genes increasing by several orders of magnitude, confirming robust ERD was occurring. The rapid and dramatic reduction of the TCE plume in magnitude and extent achieved the remedial goal, surpassing expectations and allowing the site redevelopment to continue.

TRAITEMENT DES MATRICES POLLUEES A FORTE TENEUR EN CARBONE ORGANIQUE : ENJEUX ET LIMITES

TREATMENT OF POLLUTED MATRIX WITH HIGH ORGANIC CARBON CONTENT: CHALLENGES AND LIMITATIONS

Quentin LEPINEY¹, Maïlys BAUDIN¹, Louise DUMOUX¹, Etienne HEISSAT²

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

² ARCHIMED Environnement, 5 Rue du Talus, Illkirch-Graffenstaden, 67400, France

Mots clés : COT, matrices charbonneuses, dépollution multi-techniques, combustion, traitement on site.

Objectifs : Comprendre et anticiper les moyens de gestion de matrices présentant de fortes concentrations en carbone organique total dans un contexte de dépollution.

Abstract :

La présence élevée de Carbone Organique Total (COT) dans les sols constitue un enjeu majeur dans les projets de dépollution, notamment lorsque les terrains présentent des lithologies charbonneuses. Ce COT, issu de matières organiques naturelles comme les charbons ou schistes carbonés, ou d'activité anthropique comme les résidus de cokerie, possède une capacité élevée à adsorber et séquestrer les polluants organiques et certains métaux. Cette interaction limite la biodisponibilité des contaminants, et complique leur extraction ou leur traitement, car ils sont piégés dans la matrice organique. Ainsi, les techniques classiques de dépollution pour des polluants cibles, peuvent se révéler souvent inefficaces. Il devient alors nécessaire de mettre en œuvre des approches spécifiques afin de garantir une réhabilitation conforme aux objectifs réglementaires et environnementaux.

Etude de cas : ancienne Cokerie

Le client est pleinement mobilisé dans la reconversion du site d'une ancienne cokerie dont la grande superficie, la disponibilité et la position intégrée à l'écosystème industriel important en font un site d'enjeu national. Sur l'intégralité du foncier en termes de réindustrialisation.

Les travaux de dépollution sont ambitieux et doivent être réalisés dans un calendrier contraint : répondre aux obligations réglementaires de l'ancien exploitant tout en préparant l'accueil de nouveaux industriels. Les pollutions identifiées sont multiples (HCT, HAP, BTEX, COHV) et concernent différents types de matrices. Le client souhaite mener une réhabilitation vertueuse, en créant une plateforme de traitement et en favorisant le réemploi des matériaux sur site.

Depuis 2024, ORTEC SOLEO conduit des essais de faisabilité, en laboratoire et sur le terrain, afin de définir les techniques les plus adaptées pour un traitement on site, in situ ou hors site. Une partie des terres excavées, soit plus de 12 000 m³, est stockée sur la plateforme. Pour ces matériaux, quatre piles pilotes de 100 m³ ont été testées en parallèle : biodégradation aérobie (air et O₂), venting et désorption thermique.

L'essai de venting, réalisé pendant trois mois sur des sols impactés par des COHV, n'a montré aucune diminution des concentrations. Bien que les caractéristiques sableuses des matrices soient généralement compatibles avec cette technique, les résultats suggèrent une séquestration des

polluants dans la structure du sol, rendant leur accessibilité difficile. Cette hypothèse est renforcée par les teneurs élevées en carbone organique total (43 à 137 g/kg) et la présence d'inclusions charbonneuses visibles, susceptibles de piéger les COHV.

Une série d'essais complémentaires sur des techniques plus drastiques (lavage, désorption thermique, injection de vapeur) a confirmé ce constat : les sols présentant des inclusions charbonneuses et des teneurs en COT très élevées (matrices testées entre 80 et 190 g/kg) possèdent une forte capacité à absorber et séquestrer les polluants, rendant les techniques testées inapplicables. Le projet est en cours, les stratégies de traitement envisagées n'étant pas encore définies.

Etude de cas : Chantier de désorption thermique Strasbourg - SPL

Le projet immobilier de la ZAC des 2 Rives à Strasbourg prévoit sur les quinze prochaines années, la reconversion d'un territoire de près de 75 hectares - ancien secteur industriel morcelé, situé le long du Rhin et de bassins portuaires, en un ensemble cohérent et fonctionnel, mixant logements, équipements publics, activités commerciales et services.

La zone présente une pollution des sols liée au passif industriel mixant industries lourdes, mécaniques, portuaires, agroalimentaires. On retrouve ainsi dans les sols des impacts en Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) et Hydrocarbures Totaux (HCT), métaux lourds, des produits pur (type coke).

Une première phase de traitement par désorption thermique de sols pollués a été réalisé entre 2018 et 2021 sans identification de problématique lié au COT. Des teneurs plus élevées avaient été identifiées avant le démarrage de la seconde phase de traitement qui s'est déroulée avec la même technique entre 2023 et 2025, mais qui restaient dans le même ordre de grandeur que lors de la première phase.

Lors du démarrage de la première pile thermique, les suivis de température mesurés au cœur de la pile thermique montraient des élévations subites de températures de plusieurs centaines de degré, indicateur d'entrée en combustion de la matrice sol. De nouveaux prélèvements dans les lots de sols ont montré des teneurs atteignant les 700 000 mg/kg en COT.

Après une nouvelle campagne de caractérisation des sols, des essais de traitement ont été effectués en laboratoire pour déterminer des paramètres de faisabilité technique de traitement de ces sols en désorption thermique. Il s'est avéré que le COT était une donnée essentielle au bon suivi du traitement, ainsi que le CO, l'élévation de température, la teneur en O₂...

Une partie des lots de sols a été évacuée hors site et 4 autres piles thermiques ont été réalisées par la suite avec la mise en place d'un suivi particulier. Des capteurs spécifiques ont été mis en place, ces capteurs ont été reliés à l'automate pour couper les installations et maintenir en sécurité les installations en cas de dérive. Un nouveau pilotage des piles thermiques a été déterminé et de nouveaux indicateurs spécifiques du suivi de combustion identifiés.

Les objectifs de traitement sur l'ensemble des sols ont été atteints à l'issue de la seconde phase de traitement.

Feedback: management and discovery of concentrated pollution, invasive alien species and hazardous waste during the rehabilitation of a brownfield site

Adeline JANUS

Chargée de projets, ENERGIPOLE REMEDIATION

89 rue d'Albi – 59146 Pecquencourt

Contact : ajanus@energipole-remediation.fr

Innovative aspect: The presentation will highlight the management and discovery of various matrices, whether hazardous or not, encountered during remediation works, as well as the associated environmental and health risks related to their handling.

Abstract:

This presentation aims to illustrate the diversity of risks and uncertainties that may arise during a soil remediation project, whether anticipated or not, despite a well-documented site history and extensive environmental investigations. It will also demonstrate how these contingencies can be managed in order to achieve remediation objectives while ensuring the health and safety of workers and the protection of the environment.

To this end, we will present a project on which we were involved, initially consisting of the excavation and off-site disposal of several areas of concentrated contamination with PAHs and PCBs, as well as the in-situ stabilization of soils infested with an invasive alien species: Japanese knotweed.

After reviewing all environmental assessments, and based on its experience, Energipole Remediation made a contractual commitment by proposing an alternative management method for this invasive alien species through the implementation of on-site containment, validated by the client and the project manager.

Pollution management operations were carried out in summer 2024. However, during these works, we encountered new challenges, namely the discovery of buried waste from former site activities (railway sleepers, hazardous industrial waste, etc.), as well as asbestos-containing materials mixed within the soils.

Energipole Remediation will present all the measures and methods implemented to manage the various matrices and the risks inherent to the project constraints (including asbestos management issues and the risk of contamination and spread of invasive alien species), while ensuring the achievement of remediation objectives.

Keywords: excavation, concentrated contamination, Japanese knotweed, asbestos, hazardous waste, off-site disposal, containment.

Application of an All-In-One ISCO Technology for the treatment of Monochlorobenzene, BTEX and Chloroform in groundwater at a Former Pharmaceutical Facility in Italy

Alberto Leombruni (alberto.leombruni@evonik.com) (Evonik Operations GmbH)
Michael Mueller (Evonik Operations GmbH) and Brant Smith (Evonik Corporation, LLC)

Background/Objective. Activated Klozur® persulfate creates a multi-radical attack providing greater oxidation power capable of treating common and the most recalcitrant compounds alike. Klozur® persulfates include both sodium (SP) and potassium (KP) products. Both dissolve to provide the persulfate anion, which is typically stable for weeks to months. Sodium persulfate is highly soluble and available to react at the time of application whereas the low solubility of potassium persulfate has been observed to provide extended release of the persulfate anion over months to years. This allows immediate distribution in the subsurface with the stability providing a greater radius of influence and allowing more time to make contact and degrade a wide variety of contaminants in soil and groundwater, including chlorinated solvents, petroleum hydrocarbons, and PAH's. Klozur® CR, a blend of Klozur® SP (sodium persulfate) and PermeOx® Ultra (extended-release calcium peroxide), coupled with Klozur® KP has been selected as the best long-lasting treatment solution for the contaminants of this site by providing immediate treatment with the Klozur® SP and extended treatment with both the PermeOx® Ultra and Klozur® KP.

Approach/Activities. Klozur technology has been successfully applied at several sites in Italy within the past few years. This presentation will discuss the broader program using specific sites as case studies. One of these specific sites was at a densely populated urban area site in the northern Italy. The site was characterized by historical contamination of various toxic compounds. The site, a dismantled former pharmaceutical facility, was impacted by the storage of Hydrocarbons and Chlorinated Solvents which have resulted in the groundwater contamination, including benzene (~ 1000 µg/L), monochlorobenzene (~ 250000 µg/L), chloroform (~ 54000 µg/L) and light TPHs (~ 16000 µg/L). In 2022, a successful pilot has been implemented injecting on site a total of 5600 kg of Klozur CR along with 1700 kg of Klozur KP in a 25% aqueous solution. In 2023, full scale has been completed applying approximately 29 MT of Klozur CR and 9 MT of Klozur KP in a 25% aqueous solution.

Results/Lessons Learned. The combined remedy of ISCO followed by bioremediation has proven successful in treating petroleum hydrocarbon and chlorinated solvent contamination. With regard to the Northern Italy site, following 12 months after the full-scale application, the concentrations of contaminants had reached and maintained concentrations below the remediation goals in all monitoring piezometers in the treatment area. In particular, TPHs were reduced by greater than 85 percent, while MCB was reduced by greater than 95 percent. Monitoring data confirmed sustained elevation of oxidation-reduction potential (ORP) and dissolved oxygen (DO) as necessary subsurface conditions to support treatment.

Contribution multiprocessus de la réaction de Fenton dans la remédiation multi techniques de composés volatils

Lionel Counet^{2,1}, Jeroen Vandenbruwane¹, Cédric Gourves³, Mélanie Gilles³

L'oxydation chimique in situ (ISCO) au Fenton occupe une place particulière parmi les méthodes de remédiation : extrêmement réactive, potentiellement explosive, difficile à contrôler, elle est redoutablement efficace mais moins utilisée en raison des risques importants qui y sont liés. Son emploi exige une maîtrise technique rigoureuse, une stratégie d'injection parfaitement calibrée et un environnement de travail sécurisé. Dans un contexte déjà délicat, ce projet présentait une contrainte supplémentaire : la nécessité d'injecter en zone non saturée, un milieu où l'absence d'eau limite normalement la diffusion des réactifs et la qualité du contact avec les polluants volatils.

C'est dans ce cadre complexe que s'est inscrite notre intervention, menée conjointement avec **Serpol**, depuis la conception du traitement jusqu'à sa mise en œuvre et son suivi.

L'objectif était de renforcer un dispositif déjà en place — venting, biosparging et Pump & Treat — dont l'efficacité était entravée par une hétérogénéité extrême du remblai, supérieur à 10 mètres d'épaisseur, avec des niveaux compacts accumulant des concentrations importantes en hydrocarbures volatils, notamment et surtout de garantir les objectifs de dépollution dans un délai très court de 10 mois.

Pour réussir un tel traitement, il était indispensable de rendre la réaction maîtrisable. Suite à un test pilote, Injectis a optimisé le protocole afin de réduire les pics de réactivité et sécuriser les opérateurs : injection du fer et de l'acide citrique à la descente, puis injection différée du peroxyde d'hydrogène à la remontée ; travail en séquences, usage de plusieurs machines pour répartir le flux réactif et limitation de l'énergie dissipée dans le sol. Ces ajustements ont permis de stabiliser la réaction, d'éviter les surpressions et de garantir une distribution homogène grâce à la technologie d'injection SPIN®.

Au final, l'un des enseignements majeurs de ce projet réside dans ce que nous n'avions pas anticipé pleinement au départ : la puissance du multi-mécanisme déclenché par la réaction de Fenton en zone non saturée. Outre l'ISCO mise en place par le Fenton, c'est toute une cascade de processus secondaires (oxydation biologique aérobie, anaérobie, solubilisation, désorption, désorption thermique...) qui s'est révélée déterminante pour la performance globale du traitement. Dans ce contexte complexe de zone non saturée, le Fenton n'a pas joué le rôle classique d'un simple oxydant : il est devenu un véritable amplificateur des technologies déjà en place, décuplant les performances du venting et du biosparging. Cette conclusion nous rappelle que, dans certains projets, la réussite ne repose pas uniquement sur la chimie prévue sur papier, mais sur l'activation synergique de mécanismes souvent sous-estimés. Le projet sera co-présenté avec les chargés de projet de SERPOL pour une présentation plus dynamique.

1. *Injectis BVBA, Toekomststraat 15, B-9890 Dikkelvenne, Belgium*
2. *Injectis BVBA, Carrer de Sardenya 229, 08013 Barcelona, Spain*
3. *SERPOL SAS, 2 chemin du génie, 69200 Vénissieux, Lyon, France*

LANXESS S.A.S.

Speaker :

Simon Libert
Responsable Vente France / Sales
Manager France

BU Liquid Purification Technologies

LANXESS SAS
11 Avenue Dubonnet
Smart Parc Bat. Est
92407 COURBEVOIE CEDEX
Tel.: +33 6 15 30 88 59
Email : simon.libert@lanxess.com
Web: <http://www.lpt.lanxess.com>

27 février 2026

Abstract: Breakthrough PFAS Removal with Lewatit® MDS TP 108 – A New Benchmark in Ion Exchange Performance

Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) are persistent environmental contaminants with growing regulatory attention due to their toxicity, mobility, and resistance to degradation. Conventional treatment technologies—such as granular activated carbon (GAC) or standard ion exchange resins—often fall short when it comes to removing short- and ultrashort-chain PFAS or achieving long operational lifetimes. In response to these challenges, LANXESS has developed a next-generation ion exchange resin: **Lewatit® MDS TP 108**.

Lewatit® MDS TP 108 represents a **breakthrough in PFAS removal technology**, outperforming all currently available selective resins in terms of **adsorption capacity and operational lifetime**. Developed in close collaboration with our application, R&D, and engineering teams, this **monodisperse anion exchange resin** has been engineered specifically to target both short- and long-chain PFAS with unmatched efficiency.

Field and pilot-scale studies have demonstrated that Lewatit® MDS TP 108 achieves **multiple times longer service life** than previous PFAS-selective resins, directly translating into lower operating costs (OPEX) and less frequent media replacement. This not only improves treatment reliability and system uptime but also gives the potential for **more compact system designs** due to longer loading rates.

The presentation will explore:

- The **removal mechanism** and unique resin design features of Lewatit® MDS TP 108
- Comparative performance data vs. conventional PFAS resins and GAC

Lewatit® MDS TP 108 sets a new industry benchmark—combining **exceptional PFAS selectivity, long operational lifetime, and superior efficiency**—making it the resin of choice for next-generation PFAS removal systems.

LANXESS S.A.S.

Simon Libert
Liquid Purification Technologies
Smart Parc Est
11 Avenue Dubonnet
92407 Courbevoie Cedex

Mob : +33 6 15 30 88 59
simon.libert@lanxess.com
www.lanxess.com

Société par actions simplifiée
au capital de 3.100.000 €
452 956 337 R.C.S. Nanterre
Siret : 452 956 337 00060
N° ID TVA FR00452956337
APE : 4612B

Simon Libert

27 février 2026

Page 2 de 2

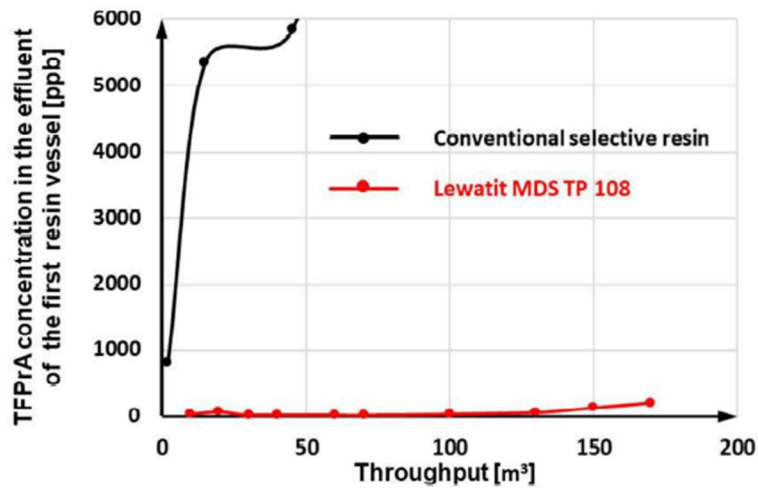


Fig. 1 Comparison of TFPa concentration in the effluent of the first resin vessel for the conventional selective resin Lewatit TP 108 (black) and the monodisperse Lewatit MDS TP 108 (red) as a function of flow volume, Graphic: Lanxess



Fig. 2 IEX resin vessel cascade for the adsorption of short-chain PFAS at Chemours in Dordrecht, South Holland (The Netherlands) Photo: Chemours Dordrecht with courtesy of Logisticon Water Treatment

intersoil'2026



International Conference on Soils, Sediments and Water



**October
7 & 8, 2026
Barcelona
Spain**

**Innovative Soil
Remediation Solutions
& PFAS Challenges**

Call for Papers
Deadline for Application:
April 30, 2026

www.webs-event.com

In Partnership with:





Jeudi 26 mars 2026

Travaux (Part. 2)

Modérateur (matin) : Jonathan Senechaud, Colas Environnement

Modératrice (après-midi) : Séverine Martinie, Mérieux NutriSciences

09h00

L'écocentre de l'Île de Nantes : un modèle innovant pour la gestion des déblais et la réduction des risques liés aux sols

- *Stéphane Olivier, Chef de service Commercial Grand Ouest - Brézillon*
- *Honorine Haguet, Chef de service adjoint travaux dépollution - Brézillon*

09h30

Application d'une technologie ISCO tout-en-une pour le traitement des hydrocarbures, du BTEX et du MTBE dans une ancienne station-service en Italie

Alberto Leombruni, Directeur Technique, Assainissement des Sols et des Eaux souterraines - Evonik Active Oxygens, Italie

10h00

Dégradation des composés modèles de dioxines dans des sols urbains contaminés : retour d'expérience sur l'application de souches bactériennes indigènes en microcosmes semi-naturels

Emmanuelle Boisard, Ingénieur spécialiste Environnement - Daxtchem (Monaco)

10h30 Pause-café

11h00

Réhabilitation de lagunes industrielles en site SEVESO – maîtrise des risques et des incertitudes

- *Adeline Rente, Cheffe de service adjointe Études Techniques - Brézillon*
- *Cyril Gisbert, Ingénieur Travaux Dépollution - Brézillon*

11h30

Arkema Mont (64) : Gestion d'une source concentrée. Révision d'une stratégie de traitement

- *Marine Leclerc, Chef de projet Remédiation Europe - Arkema*
- *Jacques Villemagne, Directeur de projets - Ginger Burgeap*
- *Boris Devic-Bassaget, Directeur Remédiation - Hazardous Waste Europe*

12h00

PFAS - Traitement des sols par dégradation thermique activée à basse température, suite des essais laboratoires

Clotilde Johansson, Chargée d'Affaires - Ortec Soleo

12h30 Déjeuner

13h30

Dépollution in-situ combiné des PFAS par pré-traitement microbiologique des précurseurs et élution bio-chimique des sols et aquifères

Frank Karg, Président-Directeur Général - Atlantis Développement SAS & HPC International SAS, France & Allemagne

14h00

Ground2In : un outil au service de projets de reconversion sécurisés

Pierre-Antoine Fourier, Responsable du secteur Nord - Colas Environnement

14h30

Traitement par mise en place de BRP (barrière réactive perméable): Du design à la réalisation des injections et points d'attention

Lionel Counet, Ingénieur Projet - Injectis, Belgique

15h00 Pause-café

15h30

Utilisation de microcosmes instrumentés (BIO-PRISM) pour l'optimisation des paramètres de biostimulation des solvants chlorés : une approche *in situ*

Cédric Malandain, Responsable technique - Hydreka

16h00

RED4SOLS - Remédiation électrodialytique rapide de sols pollués wallons

Mathieu Henry, Responsable projets - Centre Terre & Pierre (CTP), Belgique

16h30

Valorisation des minéraux argileux nanomodifiés : une approche économique et high-tech pour l'élimination des micropolluants émergents dans l'eau

Nezha Sekkal, Maître de Conférence, Cheffe du département de Pharmacie Faculté de Médecine Taleb Mourad - Université Djillali Liabes Sidi bel Abbes, Algérie

17h00 Fin de la troisième journée / Fin du congrès



Thursday March 26, 2026

Work (Part. 2)

Moderator (morning): Jonathan Senechaud, Colas Environnement

Moderator (afternoon): Séverine Martinie, Mérieux NutriSciences

09h00

The Île de Nantes Ecocenter: an innovative model for managing excavated materials and reducing soil-related risks

- *Stéphane Olivier, Head of Sales for West France - Brézillon*
- *Honorine Haguët, Deputy Head of Decontamination Works - Brézillon*

09h30

Application of an All-In-One ISCO technology for the treatment of hydrocarbons, BTEX and MTBE at a former retail petrol station in Italy

Alberto Leombruni, Technical Business Manager, Soil & Groundwater Remediation - Evonik Active Oxygens, Italy

10h00

Biodegradation of dioxin model compounds in contaminated urban soils : feedback from the application of indigenous bacterial strains in semi-natural microcosms

Emmanuelle Boisard, Environmental Engineer - Daxtachem (Monaco)

10h30 Coffee Break

11h00

Rehabilitation of industrial lagoons on a SEVESO site – managing risks and uncertainties

- *Adeline Rente, Deputy Head of Technical Studies - Brézillon*
- *Cyril Gisbert, Decontamination Works Engineer - Brézillon*

11h30

Arkema Mont (64): Management of a concentrated source. Review of a treatment strate

- *Marine Leclerc, Remediation Project Manager, Europe - Arkema*
- *Jacques Villemagne, Project Director - Ginger Burgeap*
- *Boris Devic-Bassaget, Remediation Director - Hazardous Waste Europe*

12h00

PFAS – Soil treatment by activated thermal degradation at low temperature, updates on laboratory testings

Clotilde Johansson, Business Manager - Ortec Soleo

12h30 Lunch

13h30

Combined in-situ Remediation of PFAS, via microbiological pre-treatment of Precursors and biochemical aquifer and soil elution

Frank Karg, Chief Executive Officer - Atlantis Développement SAS & HPC International SAS, France & Germany

14h00

Ground2In: a tool for secure conversion projects

Pierre-Antoine Fourier, Head of the Northern Region - Colas Environnement

14h30

Treatment using BRP (permeable reactive barrier): From design to implementation of injections and points to note

Lionel Counet, Ingénieur Projet - Injectis, Belgique

15h00 Coffee Break

15h30

Use of instrumented microcosms (BIO-PRISM) for the optimization of biostimulation parameters for chlorinated solvents: an *in situ* approach

Cédric Malandain, Technical Manager - Hydreka

16h00

RED4SOLS - Rapid electro dialysis remediation of polluted soils in Wallonia

Mathieu Henry, Project manager - Centre Terre & Pierre (CTP), Belgium

16h30

Valorization of nanomodified clay minerals: An economic and high-tech approach for the removal of emerging micropollutants in water

Nezha Sekkal, Senior Lecturer, Head of the Pharmacy Department, Taleb Mourad Faculty of Medicine, Djillali Liabes University, Sidi Bel Abbes, Algeria

17h00 End of the Day Three / End of the congress

L'écocentre de l'Île de Nantes : un modèle innovant pour la gestion des déblais et la réduction des risques liés aux sols

Stéphane Olivier, Chef de service Commercial Grand Ouest – Brézillon

s.olivier@brezillon.fr - +33 6 64 37 58 52

Honorine Haguet, Chef de service adjoint travaux dépollution – Brézillon

h.haguet@brezillon.fr - +33 6 67 89 89 42

L'île de Nantes fait l'objet d'une profonde reconversion depuis plus de 20 ans, avec la création de nouveaux logements, équipements, bureaux, et la réalisation de plus de 70 hectares d'espaces publics.

La partie sud-ouest concentre les principaux chantiers à venir d'ici 2040, sur 80 hectares.

Dans le cadre de la reconversion de friches industrielles telle que l'île de Nantes, et face aux enjeux de dépollution et de réemploi des sols dans les projets urbains, l'écocentre de l'île de Nantes illustre une approche pionnière pour favoriser le réemploi de matériaux sur des chantiers de proximité et limiter les risques et incertitudes liés à leur gestion.

Ce site temporaire, à proximité des chantiers, centralise le tri, le traitement et l'entreposage avant réemploi des déblais inertes et pollués issus des chantiers de l'île, évitant ainsi des évacuations massives vers des centres éloignés. Cette démarche réduit l'impact carbone, préserve les ressources minérales et favorise le recyclage des terres pour l'aménagement de voiries, des espaces verts, des infrastructures de transport et la fabrication de béton.

Ce retour d'expérience d'une gestion locale et collaborative des sols, contribuant à la transition écologique des territoires, permettra de :

- Aborder les différentes étapes de sa création depuis la genèse du projet en 2013 jusqu'à la signature du contrat de concession de service public en 2022 ;
- Présenter le fonctionnement de l'écocentre depuis son ouverture en 2025 avec les procédés de traitement et de valorisation des déblais mis en place à ce jour ainsi que les perspectives de fabrication de matériaux recyclés à l'étude ;
- Partager les enjeux sanitaires pour garantir une transparence et une cohabitation harmonieuse avec le quartier
- Réaliser le bilan environnemental (économie carbone, taux de valorisation) du site sur une année d'exploitation.

The Île de Nantes eco-centre: an innovative model for managing excavated material and reducing soil-related risks

Stéphane Olivier, Head of Sales for West France – Brézillon

s.olivier@brezillon.fr - +33 6 64 37 58 52

Honorine Haguët, Deputy Head of Decontamination Works – Brézillon

h.haguët@brezillon.fr - +33 6 67 89 89 42

The Île de Nantes has been undergoing a major redevelopment for more than 20 years, with the creation of new housing, facilities and offices, and the development of more than 70 hectares of public spaces.

The south-western part of the island will be the focus of the main construction projects between now and 2040, covering 80 hectares.

As part of the redevelopment of brownfield sites such as the Île de Nantes, and in response to the challenges of soil decontamination and reuse in urban projects, the Île de Nantes eco-centre illustrates a pioneering approach to promoting the reuse of materials on local construction sites and limiting the risks and uncertainties associated with their management.

This temporary site, located close to the construction sites, centralises the sorting, treatment and storage of inert and polluted spoil from the island's construction sites prior to reuse, thus avoiding massive transport to distant centres. This approach reduces carbon impact, conserves mineral resources and promotes the recycling of soil for use in road construction, green spaces, transport infrastructure and concrete manufacturing.

This feedback on local, collaborative land management, which contributes to the ecological transition of territories, will enable us to:

- address the various stages of its creation, from the project's inception in 2013 to the signing of the public service concession contract in 2022;
- present the operation of the eco-centre since its opening in 2025, with the processes for treating and recovering excavated material implemented to date, as well as the prospects for manufacturing recycled materials currently under study;
- share the health issues involved in ensuring transparency and harmonious coexistence with the neighbourhood
- carry out an environmental assessment (carbon savings, recovery rate) of the site over one year of operation.

Application of an All-In-One ISCO Technology for the treatment of Hydrocarbons, BTEX and MTBE at a Former Retail Petrol Station in Italy

Alberto Leombruni (alberto.leombruni@dgextern.com) (Evonik Active Oxygens, LLC)
Michael Mueller and Brant Smith (Evonik Active Oxygens, LLC)

Background/Objective. Klozur® CR is a combined remedy treatment technology consisting of Klozur® SP (sodium persulfate) and PermeOx® Ultra (extended release calcium peroxide). Klozur CR is a single, all-in-one formulated product that can be readily applied to either source areas or plumes impacted with a wide range of contaminants, e.g. TPHs co-mingled with CVOCs. Klozur CR destroys contaminants in both soil and groundwater by promoting three modes of action: activated persulfate chemical oxidation, aerobic bioremediation, and anaerobic oxidation. This thermodynamically powerful reagent provides self-activating sodium persulfate oxidation technology, utilizing the alkalinity generated by the calcium peroxide component. High pH, or alkaline, activated persulfate is capable of destroying a wide range of contaminants, including PAHs, BTEX, TPHs, phenols, chlorinated solvents, chlorobenzenes, haloalkanes, pesticides, energetics, and many others. Following the initial chemical oxidation phase, Klozur CR will continue to release oxygen (used as an electron receptor for aerobic bioremediation) for up to a year. This as a result of the slow hydration of the engineered calcium peroxide. Diffusion and transport of oxygen downgradient will support contaminant reductions in plume areas, treating the contaminants of concern (COCs). As a result of the persulfate oxidation with organic compounds, generated sulfate ions can be utilized by sulfate reducing bacteria as an electron acceptor under anaerobic conditions to degrade COCs via a process called anaerobic oxidation.

Approach/Activities. This technology was successfully applied at a densely populated urban area site in the northern Italy. The site was characterized by historical contamination of various toxic compounds. The site, a dismantled former petrol station, was impacted by the storage of fuels which has resulted in the groundwater contamination, including hydrocarbons (C<12 ~ 2000 µg/L), benzene (~ 500 µg/L), ethylbenzene (~ 380 µg/L) and MtBE (~ 13000 µg/L). Two injection campaigns were carried out 15 months apart, and a total of 4800 kg of Klozur CR (in a 25% aqueous solution) was injected onsite.

Results/Lessons Learned. Following 18 months after the first application, the concentrations of contaminants had reached and maintained concentrations below the remediation goals in all monitoring piezometers in the treatment area. TPHs were reduced by greater than 80 percent, while MtBE was reduced by greater than 90 percent. Monitoring data confirmed sustained elevation of oxidation-reduction potential (ORP) and dissolved oxygen (DO) as necessary subsurface conditions to support treatment.



Boisard Emmanuelle
Ingénieure spécialiste Environnement
T : +377 6 40 61 29 92
E-mail : emmanuelle.boisard@daxtachem.com

DAXTACHEM SAM
Le Roc Fleuri, 1 rue de Tenao
98000 Monaco - MC

Dégradation des composés modèles de dioxines dans des sols urbains contaminés : retour d'expérience sur l'application de souches bactériennes indigènes en microcosmes semi-naturels

Biodegradation of dioxin model compounds in contaminated urban soils: feedback from the application of indigenous bacterial strains in semi-natural microcosms

Urban soils are frequently impacted by persistent organic pollutants (POPs), particularly polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDDs) and dibenzofurans (PCDFs). These compounds mainly originate from historical emissions of waste incinerators and various industrial activities involving chlorinated processes. Their extreme chemical stability, high toxicity, and strong bioaccumulation and biomagnification potential make dioxins among the most challenging contaminants in the field of contaminated sites and soils management.

The study explores a microbial bioremediation approach based on the use of indigenous bacteria capable of degrading dioxins in soil. The objective was to assess the feasibility of a biologically based remediation strategy relying exclusively on naturally occurring, non-genetically modified microorganisms that comply with biosafety and regulatory constraints.

The research was conducted using contaminated urban soils collected from three distinct sites in Lausanne (Switzerland). The sites are characterized by a gradient of dioxin contamination: a highly contaminated site (SIG), an intermediate site (AST), and a weakly contaminated site (ERA). Selective enrichment techniques in liquid and solid media enabled the isolation of several indigenous bacterial strains. Among them, *Acinetobacter bohemicus* and *Bacillus velezensis* were identified as the most promising candidates.

All selected strains strictly belong to Risk Group 1 according to European and U.S. classifications, ensuring that they are non-pathogenic and non-genetically modified. Comprehensive antibiotic susceptibility testing (minimum inhibitory concentration determination for 14 antibiotics) was performed to verify the absence of concerning antibiotic resistance patterns, thereby limiting potential ecological impacts. Additional microbiological screenings were carried out to exclude the emergence of pathogenic bacteria during biomass production phases.

Under controlled laboratory conditions, the selected strains demonstrated their ability to degrade model dioxin compounds, namely dibenzofuran (DBF) and 2,7-dichlorodibenzo-p-dioxin (2,7-DCDD). The phenotypic and functional stability of the strains was confirmed after growth under non-selective conditions, demonstrating the maintenance of their biodegradation capacity following large-scale biomass production.

Two bioremediation strategies were subsequently compared: a simplified consortium composed of two strains (*Acinetobacter bohemicus* and *Bacillus velezensis*) and a broader co-culture comprising five strains. These microbial assemblies were applied to microcosms containing real dioxin-contaminated soils. Dioxin concentration was monitored after 4, 8, and 24 weeks of treatment.

In liquid culture, the five strains co-cultures exhibited higher degradation efficiencies than individual strains, highlighting the importance of metabolic complementarity. In soil microcosms, the simplified two-strain consortium yielded the most promising results, particularly during the early stages of treatment. Although no statistically significant reductions were obtained due to soil heterogeneity, analytical variability, and limited sample size, consistent degradation trends were observed, especially at the most contaminated site.

This work provides the first experimental evidence of the ability of *Acinetobacter bohemicus* and *Bacillus velezensis* to degrade dioxins. The originality of the approach lies in the exclusive use of indigenous, non-modified, low-risk bacterial strains and in the demonstration of their functional stability under conditions relevant to operational applications. The study also emphasizes the critical role of microbial synergies within consortia for the degradation of chlorinated aromatic compounds.

Operational perspectives include the implementation of pilot-scale field trials to validate these findings under real environmental conditions. Such pilots will allow optimization of key parameters, including soil moisture management, contaminant bioavailability enhancement (e.g., through natural biosurfactants or organic amendments), and long-term performance monitoring over 12 to 24 months. Ultimately, the objective is to develop a robust and reproducible bioremediation protocol suitable for integration into contaminated land remediation projects managed by site owners, engineering consultancies, and specialized remediation contractors.

Réhabilitation de lagunes industrielles en site SEVESO Maîtrise des risques et des incertitudes

Adeline Rente, Cheffe de service adjointe Études Techniques - Brezillon

a.rente@brezillon.fr - +33 7 64 49 86 43

Olivier Pacaud, Direction développement & relations institutionnelles - Brezillon

o.pacaud@brezillon.fr - +33 7 64 77 06 29

La réhabilitation de deux lagunes d'un site industriel SEVESO seuil haut a constitué une opération à la fois technique et organisationnelle, marquée par des conditions d'intervention complexes, des incertitudes opérationnelles fortes et la nécessité d'une coordination permanente entre les parties prenantes.

Ce retour d'expérience retrace les principaux enseignements tirés de plus de deux ans de travaux.

Dès le démarrage, Brezillon s'est heurté à un enjeu classique mais déterminant : l'hétérogénéité réelle des boues.

Les caractéristiques physico-chimiques différaient d'une lagune à l'autre, entraînant des comportements très variables lors du pompage. Il est rapidement apparu que certaines zones étaient trop liquides pour être pelletées et trop épaisses pour être pompées, rendant les méthodes classiques inopérantes.

La méthodologie repose sur un pompage sécurisé via pelle amphibie, une déshydratation par membranes filtrantes et la création d'une alvéole étanche pour le confinement final. L'intervention intègre une gestion rigoureuse des nuisances, des contrôles de nuisances olfactives, et des dispositifs HSE renforcés pour garantir la sécurité des intervenants et des riverains.

Cette conférence présentera les choix techniques, les incertitudes rencontrées et la coordination des parties prenantes pour atteindre les objectifs de performance dans un contexte réglementaire exigeant.

Adeline Rente, Deputy Head of Technical Studies – Brézillon

a.rente@brezillon.fr - +33 7 64 49 86 43

Olivier Pacaud, Development & Institutional Relations Department – Brézillon

o.pacaud@brezillon.fr - +33 7 64 77 06 29

EN – Rehabilitation of industrial lagoons at SEVESO sites – managing risks and uncertainties

The rehabilitation of two lagoons at a high-threshold SEVESO industrial site was both a technical and organisational operation, marked by complex conditions, significant operational uncertainties and the need for constant coordination between stakeholders.

This feedback report outlines the main lessons learned from more than two years of work.

From the outset, Brézillon faced a classic but decisive challenge: the actual heterogeneity of the sludge. The physical and chemical characteristics differed from one lagoon to another, resulting in highly variable behaviour during pumping. It quickly became apparent that some areas were too liquid to be shovelled and too thick to be pumped, rendering conventional methods ineffective.

The methodology is based on secure pumping using an amphibious excavator, dewatering using filter membranes and the creation of a sealed chamber for final containment. The operation includes rigorous nuisance management, odour control, and enhanced HSE measures to ensure the safety of workers and local residents.

This conference will present the technical choices, uncertainties encountered, and coordination between stakeholders to achieve performance objectives in a demanding regulatory environment.

Auteurs :

ARKEMA : **Marine LECLERC**

GINGER BURGEAP : **Jacques VILLEMAGNE**

VEOLIA Remédiation : **Aurélien DEBRUGE, Romain LAFFAILLE, [Boris Devic Bassaget](#)**

Contexte général du chantier : Site ARKEMA Mont (64), ICPE en activité de production de chimie de spécialité.

Technologie : Traitement d'une phase pure de solvants chlorés / Confinement / Pompage / Sparging Venting / Barrières réactives perméables.

Problématique liée à la révision du projet : Mise à jour du bilan de masse / Réinjection des eaux

Géologie : Terre végétale / limons sur 1,5 m (profondeur nappe), puis alluvions grossières et perméables ($K=10^{-4}$ m/s). Substratum de molasse vers 6 m de profondeur. La nappe circule entre 2 et 5 m/jour selon les conditions de pluviométrie.

Impacts environnementaux :

- Sols :
 - o Impacts modérés sur la matrice sol (max 4000 mg/kg en somme des COHV)
- Eaux souterraines :
 - o Phase pure essentiellement composée de tétrachlorométhane en fond d'aquifère, densité 1,4 en moyenne. Composition : environ 80% de CCl_4 , Cyclododécane et traces de BTEX(CCl_4 est employé comme solvant du cyclododécane en synthèse intermédiaire)
 - o Phase dissoute : environ 100 mg/l de CCl_4 , 50 mg/l de $CHCl_3$.
 - o pH 4 à 6, présence de sulfates à 1500 mg/l

Fin 2021, Arkema lance un appel d'Offres pour le traitement de la zone source juste en aval du site par confinement, excavation par substitution au droit d'une route par pieux tubés forés, et extraction multiphasique du D-NAPL, avec les objectifs suivants :

- Extraction d'une masse de chlorométhanes atteignant 80% de la masse initialement présente dans la zone source,
- L'atteinte d'une asymptote de récupération avec une masse extraite de chlorométhanes hebdomadaire inférieure à 1% de la masse totale initiale pendant 3 semaines consécutives.

Le groupement momentané SARPI Remediation / SOLETANCHE BACHY fondations spéciales a été choisi pour ces travaux. Pour construire son offre, des essais pilotes laboratoires ont été réalisés, ces derniers ont identifiés et conclus qu'il était préférable de séparer les pompages pour éviter le risque de cristallisation du cyclododécane et l'ébullition du CCl4 sous vide nécessaire pour remonter la phase pure de densité 1,4 et de la hauteur de la colonne d'aspiration. Le pompage séparatif a donc été choisi : Pompes pour phase pure dans des pièges à coulant / Pompage de rabattement pour les eaux et venting général du confinement sous rabattement.

Suite à des difficultés de mobilisation des polluants, des sondages complémentaires ont été réalisés pour préciser la forme du substratum. Il s'est avéré que la phase pure n'était pas présente dans "une cuvette" mais d'un chenal probablement créé par attaque du substratum par l'acidité de la phase pure, voire un paléo talweg, d'une profondeur de 1 à 1,5 m et de moins de 1,5 m de large :

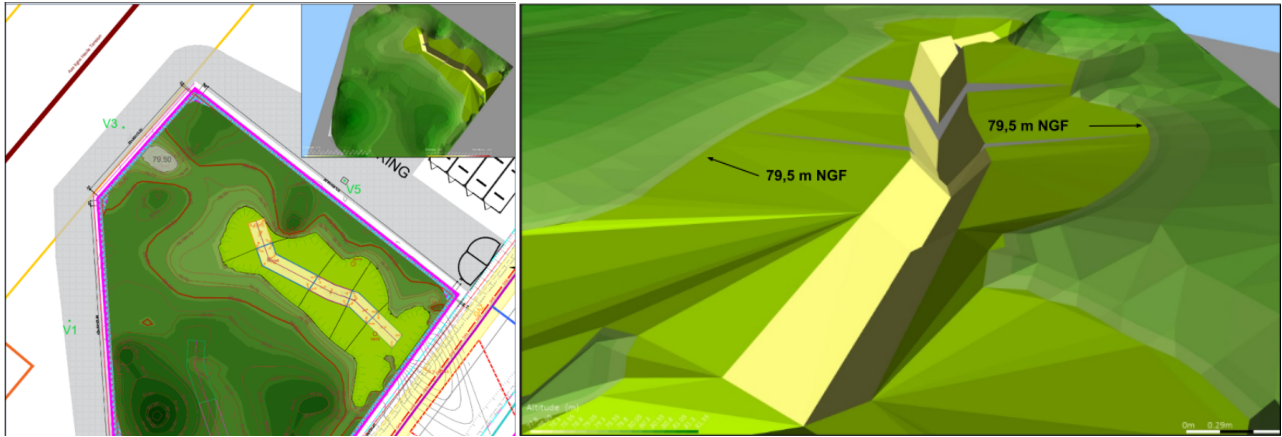


Vue après sondages densifiés :

Arkema Mont (64)

Gestion d'une source concentrée

Révision d'une stratégie de traitement



La précision de la forme du substratum accumulée lors des sondages réalisés en phase travaux a conduit à la révision du bilan de masse pour passer d'une vingtaine de tonnes à environ 3 tonnes. Dans ces conditions, l'atteinte des objectifs de traitement consistant à ne laisser que 600 kg (toutes phases confondues), alors que nous avons pompé depuis 2019 dans cette zone plus de 36 tonnes à fin 2021, semblait peu accessible.

Suite à cette géométrie très délicate pour positionner de ouvrages de pompage, une étude d'optimisation du projet a été lancée en phase travaux. Cette étude a nécessité des essais pilotes en laboratoire :

- Un premier essai a montré de plus faibles taux d'adsorption du tétrachlorométhane sur charbon actif eau (composé majoritaire) que ceux estimés par les fournisseurs de charbon,
- Un second essai de strippage des chlorométhanés a montré des taux d'extraction en phase vapeur meilleur qu'attendu sur le chloroforme.

Enfin, un essai terrain de mobilisation de la phase pure par sparging a été lancé et a permis de caler finement la hauteur de la crépine et sa profondeur dans le chenal. Le projet a ainsi été modifié pour réaliser le traitement sans pompage par sparging venting.

Le chantier a été réceptionné en 2024.

A ce jour, l'objectif de restauration de la qualité de milieu eaux souterraines et eaux superficielles en aval est en passe d'être atteint, et ce pour tous les polluants.

**PFAS – TRAITEMENT DES SOLS PAR DEGRADATION THERMIQUE ACTIVEE A BASSE TEMPERATURE, SUITE DES
ESSAIS LABORATOIRES**

**PFAS – SOIL TREATMENT BY ACTIVATED THERMAL DEGRADATION AT LOW TEMPERATURE, UPDATES ON
LABORATORY TESTING**

Clotilde Johansson¹, Nicolas Ferlet¹,
Vivien Revelat¹

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

Présenté par : Clotilde Johansson – ORTEC SOLEO – clotilde.johansson@ortec.fr

Caractère innovant : Développement et optimisation du traitement des sols fortement impacté par les PFAS par une technique innovante : la thermolyse catalysée à basse température. *La thermolyse catalysée est une innovation ayant fait l'objet d'un dépôt de brevet, suite des expérimentations.*

Mots clés : PFAS, désorption thermique, dégradation thermique catalysée.

Objectifs : Proposer une solution de traitement des PFAS dans les sols fortement impactés, solution se basant sur la dégradation des polluants à "basses températures" et non seulement à son extraction.

Abstract :

De nombreuses publications scientifiques alertent sur la présence ubiquiste de substances poly- et per-fluoroalkylées (PFAS) dans les eaux, les sols et la biosphère, s'intéressant à la dispersion et accumulation de ces polluants persistants dans l'environnement, à leur toxicologie, et bien entendu aux solutions de mesures et traitements possibles.

Les PFAS sont des surfactants synthétiques présents sous plusieurs milliers de formes dont la structure chimique comporte une chaîne carbonée hydrophobe chargée de fluors et une tête hydrophile composée d'un acide. Leur stabilité et multiples propriétés ont induit un emploi dans de nombreux domaines, générant une importante pollution diffuse, et la présence localisée de terres et eaux fortement impactées.

La France a lancé auprès des industriels une campagne de mesures pour identifier et quantifier les teneurs en PFAS dans les eaux de rejets sur le territoire. Une réglementation sur les rejets et seuils tolérables est en cours d'élaboration.

De nombreuses techniques de traitement sont développées aujourd'hui dans la littérature et la profession. Les techniques de dégradations (incinération > 1000°C, fluide supercritique, plasma, combustion, ball milling, électroremédiation...) sont énergivores et nécessitent des installations spécifiques. Les techniques d'extractions/concentrations (filtration sur charbons, résines, osmose inverse, nanofiltration, lavage de sols ou moussage des eaux...), dont les rendements varient selon les effluents, nécessitent également des installations spécifiques ou de fortes quantités de médias, les déchets finaux restant un challenge. Les filières ne sont pas encore optimisées et peu adaptées à un déploiement de traitement à grande échelle.

Voilà pourquoi la recherche interne menée par ORTEC SOLEO a pour objectif d'apporter une réponse optimisée de gestion des sols fortement impactés par des PFAS. La volonté est de développer des solutions économiquement viables, adaptées au terrain, allant jusqu'à la destruction finale des PFAS in-situ ou sur/hors site.

Des essais de désorption thermique ont d'abord été réalisés à faibles températures (300°C) pour observer l'efficacité de ce traitement, notamment sur des durées de chauffe prolongées (20 jours). Les résultats obtenus ont montré qu'une désorption des PFAS à "faible température" est possible si un temps suffisamment long est donné. Les essais en four montrent une perte des 20 PFAS (échantillon riche en PFOS – 1850 µg/kg) de 66% après 2j et 93% après 20j de chauffe.

Ces essais servent de témoin à une version **de thermolyse catalysée** dans laquelle le même protocole a été appliqué avec ajout dans le sol d'un réactif. Les résultats obtenus montrent une disparition des 20 PFAS de 97% en deux jours et de 99,98% à 20j, accompagnée d'une augmentation en fluorures lixiviables du sol. Cette technique a fait l'objet d'un dépôt de brevet en septembre 2024 en France.

En 2025, les essais se sont poursuivis dans le laboratoire R&D interne d'ORTEC SOLEO avec un souci d'optimisation : la terre a été soumise à des températures plus faibles, attestant par la même occasion la désorption thermique des 20 PFAS à ces températures, et des dosages en réactif optimisés. Des abattements significativement plus importants que ceux des témoins (désorption thermique) ont été obtenus permettant de réduire les coûts de traitement (en énergie et en dosage de réactif). La dégradation a été observée sur l'ensemble des 20 PFAS analysés (chaînes de 4 à 13 carbonés), bien que les chaînes courtes soient plus difficiles à abattre que les PFAS chaînes longues. Ces résultats ont permis l'extension du brevet aux USA, Canada et Europe (2025).

Les tests de 2026 s'intéressent à diversifier les matrices et tenter de mieux cerner la charge en PFAS désorbée avant dégradation, avec notamment analyse des 7 PFAS chaînes ultra-courtes.

ORTEC SOLEO a également la volonté de lancer un **projet de recherche** de plus grande ampleur pour mieux comprendre les mécanismes en jeu dans cette thermolyse et identifier les sous-produits de dégradation formés, l'impact du traitement sur les chaînes ultracourtes, et la potentielle proportion de désorption thermique ayant lieu avant dégradation.

Dépollution in-situ combiné des PFAS par pré-traitement microbiologique des précurseurs et élution bio-chimique des sols et aquifères

Combined in-situ Remediation of PFAS, via microbiological pre-treatment of Precursors and biochemical aquifer and soil elution

**Dr. Frank Karg, Président-Directeur Général - Atlantis Développement SAS & HPC International SAS,
France & Allemagne / Directeur Scientifique du Groupe GINGER - France
CEO: Chief Executive Officer - Atlantis Développement SAS & HPC International SAS /
Scientific Director of GINGER Group - France
Email: frank.karg@hpc-international.com / frank.karg@atlantis-dd.com Phone: +33 607 346 916**

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

Résumé

Actuellement, très peu des technologies de dépollution in-situ sont applicables aux contaminations par les PFAS dans les zones saturées et non saturées, à part du lavage via l'utilisation des ingrédients spécifiques comme les bio-polymères protéiniques ou les Béta-cyclodextrines. Les stratégies de dépollution mises en œuvre appliquent principalement des méthodes très coûteuses telles que l'excavation des sols pollués (& mise en décharge, lavage hors site et traitement thermique) ou le P&T (pump-and-treat) très coûteux en tant que technologie de dépollution hydraulique des eaux souterraines.

En raison de leur grande solubilité, de leur stabilité chimique, de leur mobilité dans l'environnement et de leur bioaccumulation, les substances alkylées poly- et perfluorées (PFAS) représentent une préoccupation importante en ce qui concerne leur impact potentiel sur l'environnement et la santé. Dans toute l'Europe (Belgique, France, Allemagne, Suisse, Italie et autres pays), de nombreux sites contaminés par des PFAS dans le sol, les eaux souterraines, les eaux de surface, etc. ont été identifiés, dont certains couvrent de vastes zones, comme la contamination de la couche arable de plus de 800 hectares dans la région de Rastatt (Baden-Württemberg, Allemagne), où des boues de compostage de papier et de stations d'épuration contenant des PFAS ont été utilisées comme fertilisants.

Des expériences montrent que certains PFAS, et notamment leurs précurseurs (PFAS polyfluorés) des types sulfobétaines et sulfonates, tels que le (N-)EtFOSA, le (N-EtFOSAA), les Capstones comme le 6:2-FTNO et le 6:2-FTAB, ou encore le 6:2-FTS (ou H4PFOS), sont très difficiles à lessiver des sols. En effet, sans l'application d'un pH fortement alcalin ($\text{pH} > 9$), la présence de minéraux argileux et de sesquioxydes empêche la désorption de ces PFAS. Cette situation change radicalement lors de la biotransformation ou de l'oxydation de ces molécules en PFAS per-fluorées finaux, tels que les acides perfluorosulfoniques et carboxyliques beaucoup plus solubles.

L'oxydation des substances polyfluoroalkylées (PFAS) est possible par voie chimique, par exemple au persulfate (F. KARG, 2024-2025), ou par prétraitement microbiologique utilisant des consortiums bactériens et les injections de l'air afin de garantir un environnement aérobie dans le sous-sol (sols et aquifères). L'avantage de la pré-oxydation chimique au persulfate réside dans sa rapidité d'application, mais son utilisation est parfois interdite en raison de risques de toxicité. La pré-oxydation microbiologique (Fig. 1) présente l'avantage d'une mise en œuvre relativement simple par percolation ou injection d'un consortium bactérien associé à une injection d'air, le Bio-Air-Sparging (BAS). Son inconvénient est sa durée, d'environ 6 à 12 semaines lorsque la teneur en argile est inférieure à 50 %. Par la suite, un lavage utilisant des biopolymères protéiques, des PFAS perfluorés créés, beaucoup plus solubles, est possible dans un circuit de régénération des lixiviats de lavage pour la séparation et l'élimination des PFAS (voir Fig. 5, F. KARG, 2024-2025).

Des expériences montrent qu'en l'absence de dégradation microbiologique aérobie, des précurseurs tels que le 6:2-FTAB, l'EtFOSAA, le 6:2-FTS, etc., peuvent persister à plus de 70 % des concentrations de PFAS dans les sols et les eaux souterraines pendant plus de 35 ans (F. Karg, 2024-2025). Pour cette raison une pré-oxydation préalable vers les PFAS per-fluorés plus solubles est nécessaire.

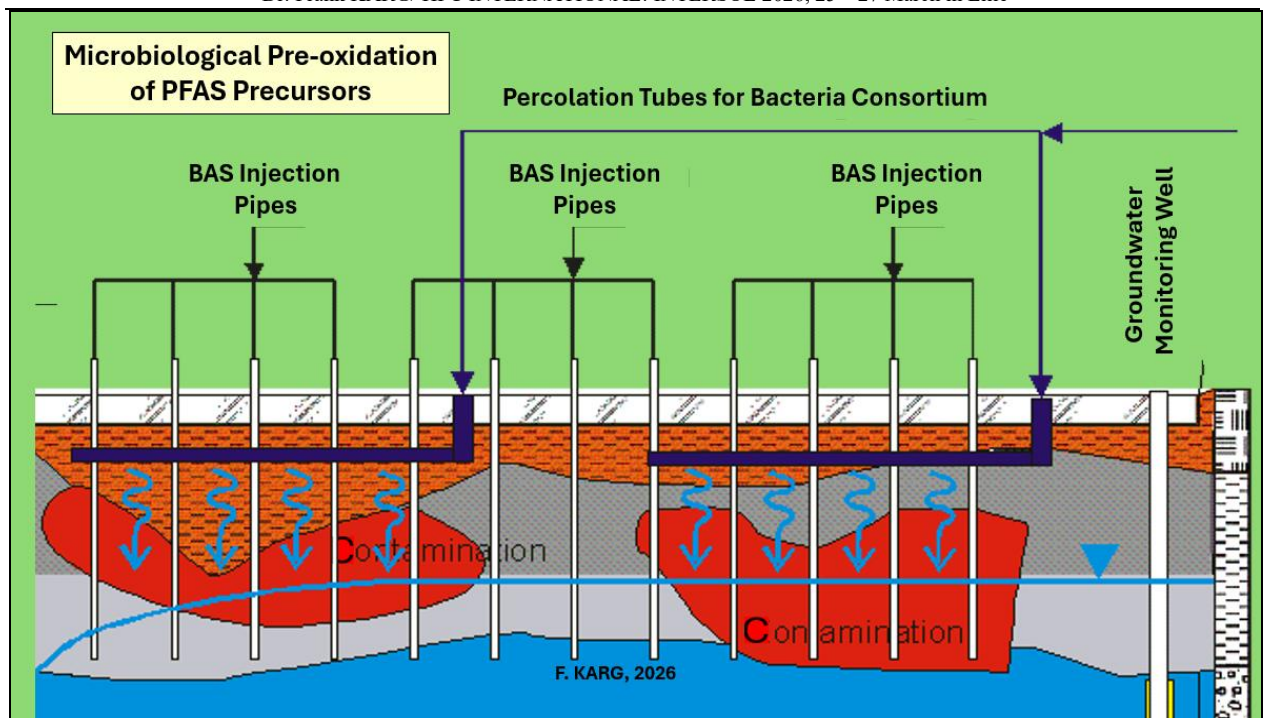


Fig. 1. Pré-oxydation Microbiologique des Précurseurs PFAS du type 6 :2-FTAB, 6 :2-FTS, EtFOSA

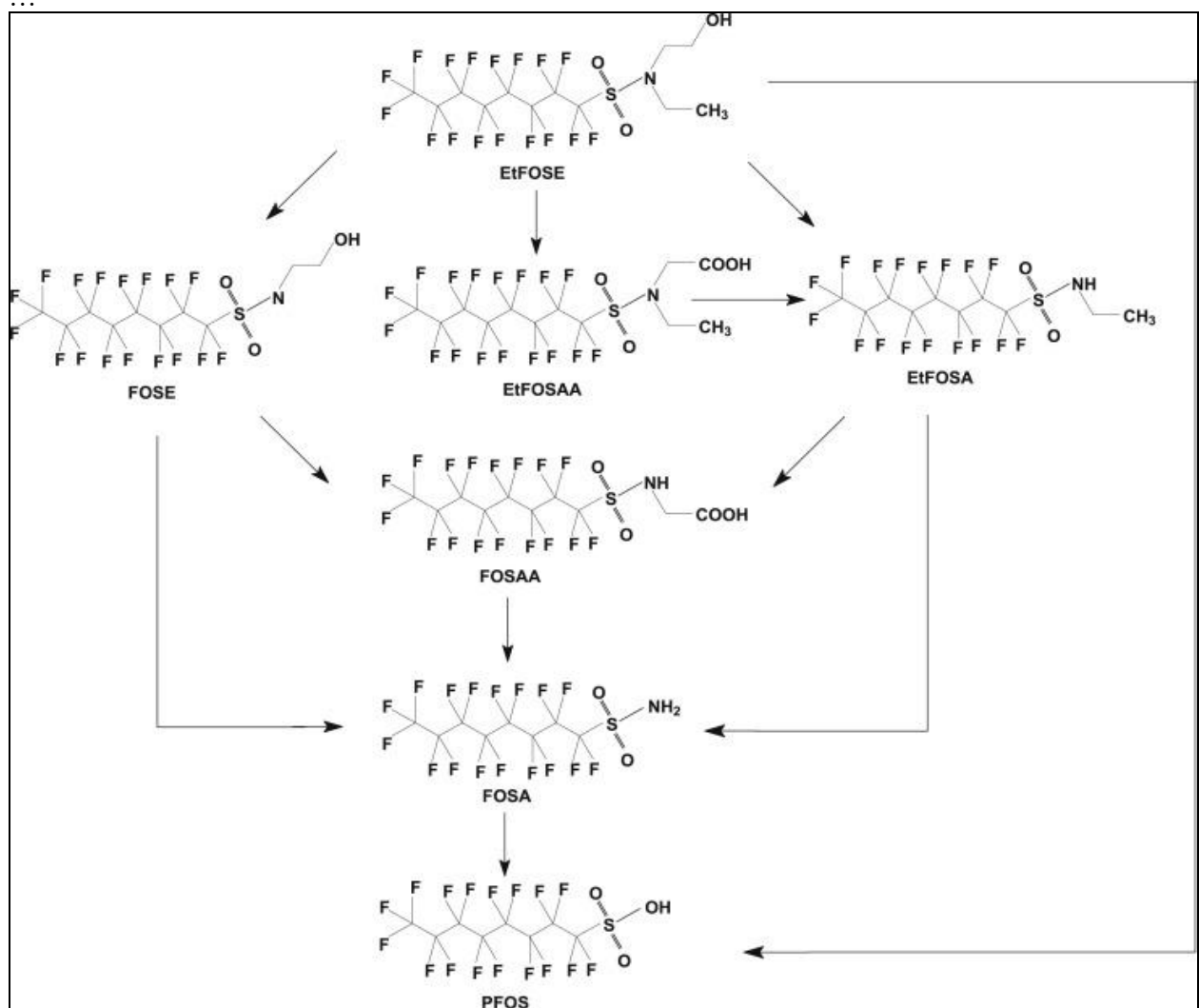


Fig. 2 : Biotransformation des Précurseurs poly-fluorés EtFOSE, EtFOSAA, FOSE, EtFOSA et FOSAA er FOSA vers le PFOS (S. Chen et al. 2021).

Après la pré-oxydation microbiologique des PFAS poly-fluorés (précurseurs), voir figures 2 et 3, par exemple le 6:2-FTAB, le 6:2-FTS et le 6:2-FTOH, en PFBA, PFPrA, PFPeA et PFHxA, beaucoup plus solubles, ou de l'EtFOSAA en PFOS, le lavage in situ (ou ex situ) des sols contaminés par les PFAS est parfaitement possible, par ex. via des consortiums des bactéries : Acidimicrobium sp. Strain A6, Acidimicrobium sp. Strain A6 et/ou Pseudomonas strain SYC ou Rhodococcus jostii RHA1 et Pseudomonas oleovorans, etc.

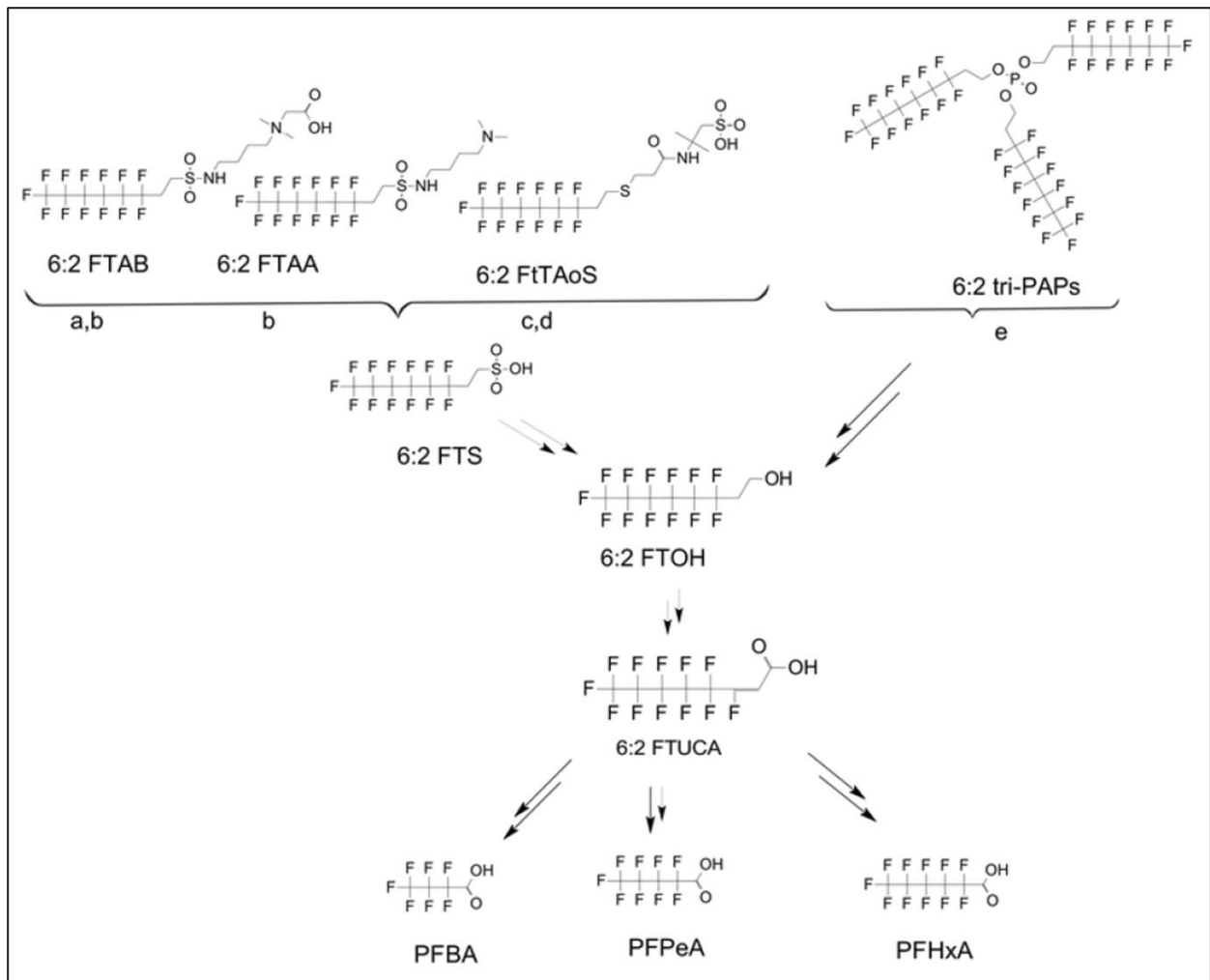


Fig. 3 : Biotransformation des précurseurs poly-fluorés 6 :2-FTAB, 6 :2-FTS, 6:2-FTOH vers les PFCA plus solubles ; PFBA, PFPeA et PFHxA (LaFond et al. 2023, D.M.J. Shaw et al. 2019 ,Ying Shi, 2018 et V. Mendez et al. 2022).

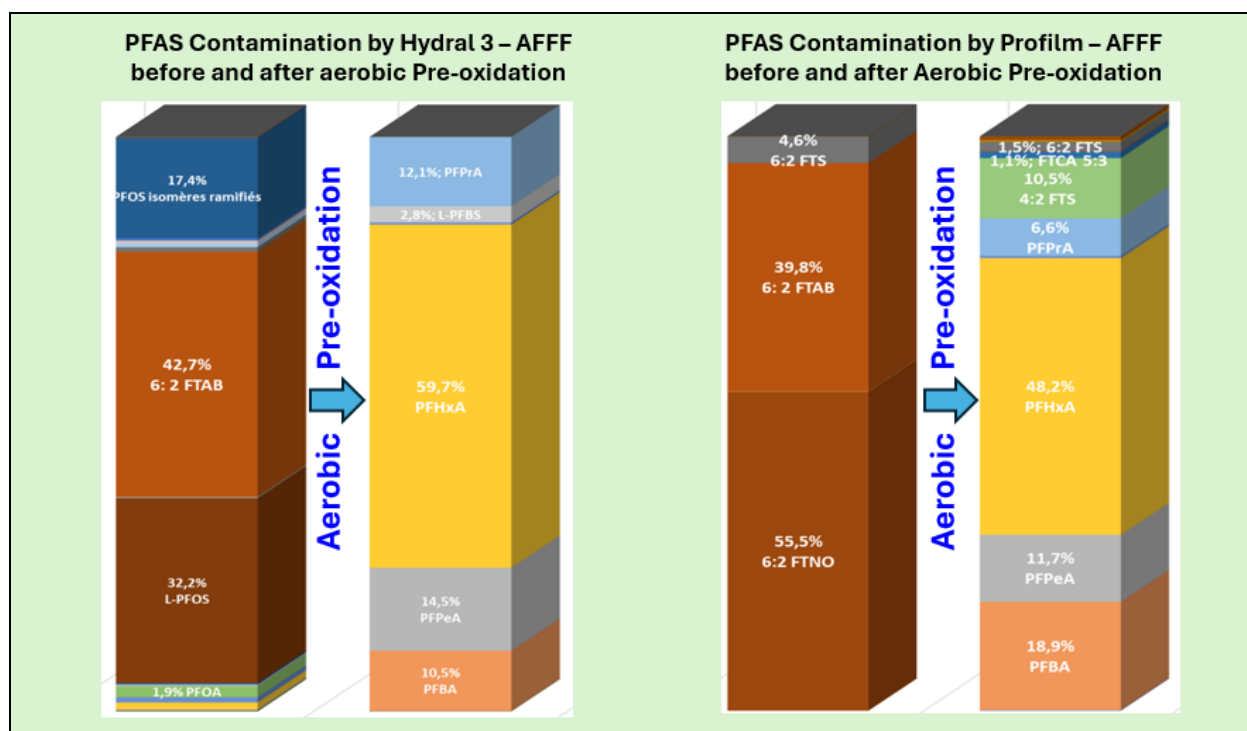


Fig. 4. : Biotransformation des précurseurs poly-fluorés 6 :2-FTAB et 6 :2-FTNO vers les PFCA plus solubles ; PFBA, PFPrA, PFPeA et PFHxA via 6 semaines d'oxydation microbiologique aérobie.

L'objectif des traitements par lavage in-situ des zones non-saturées et saturées (aquifères) après la pré-oxydation microbiologique (ou chimique) est d'appliquer un traitement alternatif de réhabilitation in-situ et sur site des PFAS des zones saturées et non saturées et des sols excavés, en utilisant un processus de lavage avec des composés de bio-polymères protéiniques biodégradables et des bêta-cyclodextrines (cf. Fig. 4). Les ingrédients biopolymères tensioactifs spécialement développés sont utilisés pour séparer correctement les PFAS du sol.

Le lixiviat de lavage a également une action positive sur les eaux souterraines et est ensuite pompé de l'aquifère au moyen d'un système de lavage hydraulique (cf. Fig. 4).

Cette technologie permet l'extraction in-situ et/ou sur place et l'élimination ultérieure des PFAS monomères dans les sols superficiels et profonds sans recourir à des méthodes destructrices telles que l'excavation. Cette approche ne nécessite pas la séparation des différentes fractions granulométriques du sol.

Au cours de la mise au point du processus, l'efficacité de cette approche technique de dépollution est d'abord testée par une étude de faisabilité en laboratoire, puis par une application pilote sur le terrain, suite à la pré-oxydation. La première étape consiste à effectuer des essais à

petite échelle sur des colonnes bio-lysimètres de percolation de sol, puis dans les colonnes d'éluion de sol et, après quelques semaines (3 à 4), dans le cadre d'une application pilote sur le terrain.

Les acides carboxyliques perfluorés à chaîne courte (comme le PFBA, le PFPeA, etc.) peuvent être lessivés de des sols en utilisant simplement de l'eau comme ingrédient de lavage. Les acides carboxyliques à chaîne plus longue > C8 (PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA, etc.) et les acides sulfoniques (PFOS, PFNS, etc.) sont moins mobiles. La technologie de lavage avec des bio-polymères protéiniques prouve clairement que ces composés peuvent être mobilisés au moyen des biotensides spécialement développés. Des tests lysimétriques ont montré qu'une réduction de 99,9 % de la concentration en PFAS dans le sol est obtenue en appliquant la nouvelle technologie développée. Des applications sur le terrain ont permis de réduire les concentrations de PFAS de plus de 80 % en l'espace de trois semaines.

En comparaison avec l'analyse coût-avantage, les traitements de lavage in situ sont environ 30 fois moins chers que les excavations ou le P&T : Pump and Treat. La technologie est également applicable aux PFAS volatiles, comme les FTOH (alcools fluorotélomères, etc.).

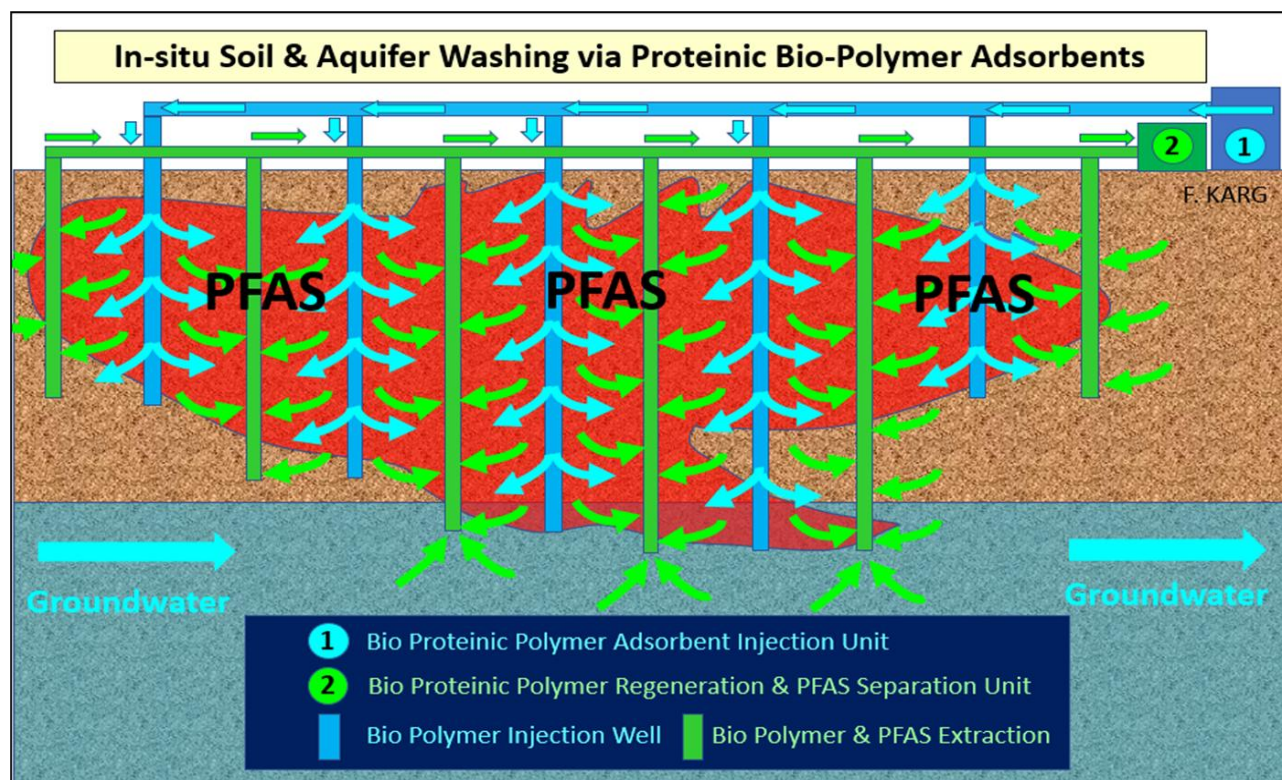


Fig. 5 : Lavage du sol in situ pour la décontamination des PFAS avec des bio-polymères protéiques ou les bêta-cyclodextrines.

Le processus développé offre la possibilité de traiter les sols contenant des PFAS in situ dans la zone saturée et non saturée en mobilisant les PFAS et en traitant ensuite les eaux souterraines à l'aide d'une technologie de pointe. Une autre application possible de la méthode

développée qui est actuellement appliquée sur le terrain est le traitement ex-situ des sols excavés contenant des PFAS (sur site et hors site) en utilisant les biopolymères protéiniques par lavage dans une technologie cyclique.

Les objectifs de traitement du lavage in situ visent à garantir la conformité des lixiviats et des conditions sanitaires, conformément aux objectifs d'un Plan de Gestion et des CMA (Concentrations Admissibles Maximales) d'une EQRS ou d'une ARR préventive ou prédictive, afin d'assurer la conformité sanitaire, pour une utilisation future du site.

Références:

1. **ITVA-H1, U. Hintzen, F. Karg, et al. (2024)** : In-situ-Quellensanierung (In-situ Decontamination & Remediation of Pollution Sources). ITVA-Arbeitshilfe: Quellenbehandlung: Handbook / Deutschland (Germany). ITVA-Website: 08-2024
<https://www.itv-altlasten.de/wp-content/uploads/2024/12/ITVA-H1-17-In-situ-Quellensanierung-Stand-5.11.2024.pdf>
2. **Gouriou, L., & Gouhier, G. (2024)** : Magnetite Nanoparticles with Immobilized β -Cyclodextrins as innovative Green Tool for PFAS Water Remediation. CNRS Colloque PFAS : enjeux et alternatives. Paris, March 2024.
3. **Hüttmann, S, Karg, F. (2025)** : Traitements in-situ des PFAS par lavage via des Biopolymères protéiniques – Etudes de Cas en Belgique, Allemagne, Pays Bas et Suède.
Treatment of soil by in-situ PFAS washing with proteinic Bio-polymers – Feasibility studies from Belgium, Germany, the Netherlands and Sweden". 5th International PFAS-Conference, Paris 19/06/2025. Conference Script.
https://www.webs-event.com/stock/archives/PFAS25_Program-Abstracts.pdf
<https://www.webs-event.com/stock/archives/June-19-2025.zip>
4. **Karg, F. & HUETTMANN, S. (2023)**: Sustainable In-situ Treatments of PFAS in contaminated Soil and Groundwater, Washing with Protein Bio-polymers. Introduction. Minutes of International Congress PFAS – Management of Environmental and Health Risks". Paris, June 13-14, 2023.
<https://hpc.ag/wp-content/uploads/PFAS-abstract-Sensatec-Huettmann-KARG-E.pdf>
<https://hpc.ag/wp-content/uploads/PFAS-abstract-Sensatec-Huettmann-KARG-F.pdf>
5. **Karg, F., Rousselle, C. (2023)** : Evaluation et Gestion des PFAS : 12. Méthodes de dépollution des sols / **Soil Remediation Methodologies**. 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>

6. **Karg, F., Rousselle, C. (2023)** : Evaluation et Gestion des PFAS: 13. Méthodes de dépollution des eaux souterraines et traitement des eaux usées et de l'eau potable / **Water Treatment Methodologies**. 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>
7. **Karg, F. (2024)** : Advanced in-situ Remediation of PFAS by application of in-situ Washing with Proteinic Bio-Polymers. Dépollution in situ avancée des PFAS par application d'un lavage in situ via des Bio-polymères protéiques. Congress-Manuscript for the International PFAS-Congress at 04 – 06 Juin 2024 / Paris.
[PFAS24_ABSTRACTS_PG.pdf](#)
8. **Karg, F. (2025)**: Toxicological Health Risk Assessment in Case of oral, dermal and Inhalation Exposure of PFAS (TERQ: Toxicological Exposure Risk Quantification and definition of site use specific Remediation Goals – International State-of-the-Art 4th International PFAS Conference; 04th Feb. 2025, Milano – Italy. Conference Script.
https://www.webs-event.com/fr/event/PFAS_Italy/programme
9. **Karg, F. (2025)**: Environmental behavior of some key-PFAS and aromatic amine pollutants of Benzidine type / Comportement environnemental de certains polluants : PFAS et Amines aromatiques de type Benzidine. INTERSOL Lyons – France 26 March 2025, Lyon. Conference Script.
<https://www.webs-event.com/en/event/intersol/programme>
<https://www.webs-event.com/en/event/intersol/appelacom/>
<https://www.webs-event.com/stock/archives/26-mars-2025.zip>
10. **Karg, F. (2025)**: Identifizierung & Differenzierung von PFAS-Quellen im Grundwasser mittels Multi-Vektor-Analyse auf Basis künstlicher Intelligenz (MVA-AI) / Identification & Differentiation of PFAS Sources by Multi Vector Analysis on Artificial Intelligence Basis (MVA-AI). Altlasten Symposium. ITVA: Ingenieurtechnischer Verein Altlasten, 04 April 2025, Leipzig – Germany. Conference Script.
<https://www.itv-altlasten.de/altlastensymposium/altlastensymposium-2025-in-leipzig/programm/>
11. **Karg, F. (2025)** : Avancements dans l'identification et différenciation des sources de pollutions par les PFAS via la MVA sur base de l'IA : Intelligence Artificielle pour clarification des responsabilités / **Advancements of PFAS Source Identification & Differentiation based on MVA and AI : Artificial Intelligence Clustering for Responsibility Clearing**. 5th International PFAS-Conference, Paris 17/06/2025. Conference Script.
<https://www.webs-event.com/stock/archives/June-17-2025.zip>

https://www.webs-event.com/stock/archives/PFAS25_Program-Abstracts.pdf

12. **Karg, F. (2025)** : Evaluation des risques sanitaires et toxicologiques (EQRS & ARR) des PFAS concernant les chaînes de bio-transformation des PFAS poly-fluorés vers les PFAS per-fluorés et application du Top Assay / **Human Health Risk Assessment via Toxicological Exposure Risk Quantification (HHRA & TERQ) concerning Bio-transformation Chains of poly-fluorinated PFAS to per-fluorinated PFAS and Top Assay Application..** 5th International PFAS-Conference, Paris 18/06/2025. Conference Script.
https://www.webs-event.com/stock/archives/PFAS25_Program-Abstracts.pdf
<https://www.webs-event.com/stock/archives/June-18-2025.zip>

13. **Karg, F. (2025)** : Panoplie des technologies des traitements de dépollution des sols, eaux et de l'air existants concernant les PFAS
Overview of existing PFAS treatment technologies concerning Soil, Water and Air. Paris 20/06/2025. 5th International PFAS-Conference, Paris 19/06/2025. Conference Script.
https://www.webs-event.com/stock/archives/PFAS25_Program-Abstracts.pdf
<https://www.webs-event.com/stock/archives/June-20-2025.zip>

14. **Karg, F. (2025)** : Aktuelle Internationale Erfahrungen zur PFAS-Quellen-differenzierung in größeren Grundwasserfällen per MVA-AI (Multi-Vektor-Analyse auf Basis künstlicher Intelligenz) zum rechtssicheren Cost-sharing der Verantwortlichen. PerFluSan Workshop, Karlsruhe, 24.06.2025. Conference Script.
<https://icp.eutech.org/resources-karlsruher-perflusan-workshop-2025/>

15. **Karg, F. & Lanoy, L. (2025)** : Mesures et évaluations des risques des expositions par des PFAS dans l'air ambiant & EQRS comme outil de la protection de la santé humaine /**The French and European regulatory framework for PFAS substances in ambient air and HHRA as a tool for protecting Human Health. Congress-Manuscript** ATMOSFAIR, Lille: 15-16/10/2024.
<https://www.webs-event.com/stock/archives/Programme-Abstracts.pdf>
https://www.webs-event.com/stock/archives/AF25_15-octobre.zip

16. **Karg, F. (2025)** : Human Health Risk Assessment and TERQ (Toxicological Exposure Risk Quantification in case of PFAS Exposure – Case Study in Switzerland / **Évaluation des risques toxicologiques pour la santé en cas d'exposition orale, cutanée et par inhalation aux PFAS (TERQ : Quantification des risques d'exposition toxicologique et définition des objectifs d'assainissement spécifiques à l'utilisation du site - État de l'art international : Etude des cas en Suisse.** Minutes of 6th International PFAS Congress ; Genève / Switzerland 27 November 2025
https://www.webs-event.com/stock/archives/PFAS25_CH_Programme-Abstracts.pdf
https://www.webs-event.com/stock/archives/PFAS25_CH_Presentations.zip

17. **LaFond, Jessica A., Paul B. Hatzinger, Jennifer L. Guelfo, Kayleigh Millerick and W. Andrew Jackson (2023)** : Department of Civil, Environmental & Construction Engineering, Texas Tech University, Lubbock, TX 79409, USA. Royal Society of Chemistry. DOI: 10.1039/D3VA00031A (Tutorial Review) Environ. Sci.: Adv., 2023, 2, 1019-1041. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2023/va/d3va00031a>

18. **Monti, C. & Karg, F. (2025)** : Identification et Différenciation des Sources de pollution PFAS dans les eaux souterraines et de Surface par Application d'Intelligence Artificielle MVA pour l'identification des Responsabilités Technico-Financières. Etude des cas en Suisse / **Identification and Differentiation of PFAS Pollution Sources in Groundwater and Surface Water by Application of MVA Artificial Intelligence for the Identification of Technical and Financial Responsibilities. Case Study in Switzerland.** Minutes of 6th International PFAS Congress ; Genève / Switzerland 27 November 2025
https://www.webs-event.com/stock/archives/PFAS25_CH_Programme-Abstracts.pdf
https://www.webs-event.com/stock/archives/PFAS25_CH_Presentations.zip

19. **Shaw, Dayton M.J., Gabriel Munoz, Eric M. Bottos, Sung Vo Duy, Sébastien Sauvé, Jinxia Liu, Jonathan D. Van Hamme (2019)**: Degradation and defluorination of 6:2 fluorotelomer sulfonamidoalkyl betaine and 6:2 fluorotelomer sulfonate by *Gordonia* sp. strain NB4-1Y under sulfur-limiting conditions. Volume 647, 10 January 2019, Pages 690-698.

20. **Valentina Méndeza, Sophie Holland, Shefali Bhardwaja, James McDonalda, Stuart Khan, Denis O'Carroll, Russell Pickford, Sarah Richards, Casey O'Farrell, Nicholas Coleman, Matthew Lee, Michael J. Manefield (2022)** : Aerobic biotransformation of 6:2 fluorotelomer sulfonate by *Dietzia aurantiaca* J3 under sulfur-limiting conditions. *Science of the Total Environment* 829 (2022) 154587.

21. **Ying SHI (2018)** : BACTERIAL DESULFONATION AND DEFLUORINATION OF 6:2 FLUOROTELOMER SULFONATE (6:2 FTS). Submitted to the Office of Graduate and Professional Studies of Texas A&M University.

22. **Zhang, W., Pang, S., Lin, Z. Mishra, Bhatt, P., Chen, S. (2021)**: Biotransformation of perfluoroalkyl acid precursors from various environmental systems: advances and perspectives. *Environmental Pollution*, Volume 272, 1 March 2021, 115908.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749120365970>



Contribution of Soil Digital Twins to the Design and Execution of Remediation Works

From raw data to operational decision-making with GROUND2IN (BIM-based subsurface modelling)

Pierre-Antoine FOURRIER
International & Overseas Business Development
Colas Environnement (Colas Group)
36 Boulevard de la Bastille, 75012 Paris, France
+33 7 61 19 68 17
pierreantoine.fourrier@cer.colas.fr
www.colas-environnement.com

1. Background

Contaminated land projects are still frequently delivered through disconnected deliverables (investigation logs, 2D maps, reports and management plans). Even when the science is robust, execution can suffer from limited volumetric visibility, conservative over-design, and slow iterations between engineering and works. Soil digital twins provide a practical way to structure and exploit subsurface data across the full project life cycle, from investigation to construction delivery.

2. GROUND2IN approach (BIM + geostatistics)

GROUND2IN (developed by) transforms point measurements into a continuous 3D subsurface model usable in a BIM environment. The ground is discretised into 3D cells incorporating topography, stratigraphy and groundwater. Inputs (coordinates, lithology and analytical results) are imported from standard formats (Excel/CSV/DWG) into a remediation-oriented Revit model.

Interpolation is configurable and documented: deterministic methods (nearest neighbour, inverse distance 1/d or 1/d²) and geostatistical kriging with explicit variogram settings. This traceability is essential for stakeholder confidence: parameters are auditable and the model remains linked to the source datasets. The model can be updated when new investigation or control data become available, maintaining a single version of truth for all parties.

3. Operational uses for remediation works

The 3D model supports both technical design and site operations:

- In situ treatment design: volumetric delineation of treatment zones (by depth, geology and groundwater interactions) for technologies such as SVE, multiphase extraction, reactive injection or stimulated bioremediation.
- Execution readiness: treatment volumes become explicit 3D objects for set-out, sequencing and field communication (rather than stacked 2D slices).
- Excavation and pathways: impacted volumes are quantified per cell (concentration + lithology), enabling threshold-based segregation, routing (reuse / treatment / disposal) and consistent quantities between studies, tenders and execution.
- Monitoring: integration of validation sampling and pre/post comparisons to quantify outcomes and support close-out decisions.

4. Case study (Dunkirk, France): optimising venting / multiphase extraction

On an urban redevelopment site with heterogeneous contamination (laterally and vertically), the baseline specification planned a regular grid of about 80 treatment wells. Using GROUND2IN, analytical results were interpolated in 3D while accounting for geology and groundwater, enabling a volumetric reading of impacts.

The digital twin identified areas where deep treatment was unnecessary despite superficial impacts, and areas where local well spacing could be adjusted in line with modeled concentrations and impacted volumes. The design was refined to about 70 wells (around 13% fewer than planned), generating a measurable cost saving for the public client while maintaining the expected treatment effectiveness.

5. Conclusion and implementation notes

GROUND2IN illustrates how soil digital twins can move the contaminated land sector toward more quantitative, traceable and execution-oriented practices. By embedding proven geostatistical methods into BIM, the approach improves decision security, reduces uncertainty-driven over-design, and strengthens cost and risk control during works.

Key points for deployment on remediation projects include:

- Data governance: harmonised formats, quality control of logs and analytical datasets, and clear versioning rules.
- Method justification: explicit documentation of interpolation choices and variogram settings to support stakeholder review.
- Workflows: early alignment between engineering and works teams so that model outputs (volumes, thresholds, pathways) directly match contract and site reporting needs.
- Iterative updates: assimilation of additional investigation and validation results to refine decisions during execution.

Traitement par mise en place de BRP (barrière réactive perméable) : du design à la réalisation des injections et points d'attention.

Lionel Counet^{2,1}, Jeroen Vandenbruwane¹, Steven De Clerk¹

La conception d'une BRP ne se résume donc pas à positionner une ligne d'injection : elle suppose une compréhension fine de la géométrie de la contamination, des zones actives, de l'hétérogénéité du milieu poreux et du comportement à long terme du réactif. Cette présentation expose ces principes de conception, les points d'attention essentiels pour les bureaux d'études, et les éléments à anticiper pour garantir une BRP efficace et durable. L'ensemble sera illustré par un projet concret de traitement d'une plume de solvants chlorés (VOCI) par réduction biologique stimulée (ERD).

Le projet présenté concerne la réhabilitation d'un site comprenant une pollution étendue en VOCI par dépollution in situ structurée initialement autour de six barrières réactives successives. La stratégie prévoyait l'injection d'un substrat fermentescible liquide (lactate), sélectionné pour le pilote. Bien que ce pilote ait démontré la faisabilité du traitement et la réactivité attendue, il a également révélé les limites opérationnelles d'un tel substrat pour une application en barrière : mobilité excessive, difficulté à maintenir la réactivité dans le temps et risque de dispersion hors zone cible.

À partir de ces constats, Injectis a recommandé une double optimisation :

- (1) réaliser un *Remedial Design Characterization* (RDC) afin d'affiner la localisation des noyaux contaminés et la géométrie des barrières ;
- (2) adapter les réactifs vers un mélange fer zéro valent (ZVI) + carbone solide, mieux adapté à une fonction barrière, à diffusion lente et à long effet réducteur.

Le RDC, réalisé via MIP couplé GC-MS par EniSSA, a fourni une cartographie continue, haute résolution, révélant des zones sources résiduelles non détectées lors des investigations classiques et, inversement, des secteurs initialement prévus pour l'injection mais ne nécessitant finalement pas d'intervention. Grâce à cette information, la configuration des barrières a été intégralement revue : repositionnées, resserrées ou supprimées lorsque pertinent, pour cibler exclusivement les volumes réellement contaminés.

Cette démarche a permis :

- Une réduction de 25 % des coûts du PCT, essentiellement via la diminution du nombre de points et du volume de réactifs,
- Une amélioration de plus de 40 % de la probabilité d'atteinte des objectifs, grâce à une meilleure adéquation entre zones contaminées et zones traitées,
- Un design final plus robuste, cohérent avec les objectifs de confinement et de réduction à long terme caractéristiques des traitements ERD à base de ZVI.

Ce projet illustre l'importance majeure d'intégrer un RDC ciblé et un choix raisonné des réactifs dans les traitements par injections. L'approche, présentée ici à travers une comparaison claire entre le PCT initial et la version optimisée, démontre qu'investir dans la précision permet d'obtenir des projets plus performants, moins coûteux et mieux maîtrisés.

1. Injectis NV, Toekomststraat 15, B-9890 Dikkelvenne, Belgium

2. Injectis NV, Carrer de agricultura, 47, 08320 EL Masnou, Barcelona, Spain

RED4SOLS – Short-time electrodynamic remediation of Walloon polluted soils

Mathieu HENRY, Centre Terre et Pierre, 55 Chaussée d'Antoing, 7500 Tournai, Belgique

mathieu.henry@ctp.be

Due to its history of heavy industry, Wallonia homes a high number of old industrial sites (brownfields), where are located highly contaminated soils, notably in heavy metals: 1,800 proven sites and 21,000 potential sites, representing surface area of 7,000 and 42,000 hectares, respectively.

For these highly polluted sites with heavy metals, solutions are missing. In fact, mineral processing techniques (combining size fractionation and densimetric separations), although simple and cheap, are not adapted to these heavily contaminated soils. Concerning soil washing with agents (acid, chelant, etc.), high amounts of reactants, sometimes expensive, are necessary to extract all metals, and this technique generates a great amount of wastewater. Moreover, Walloon decree of March 1st, 2018, on soil management and remediation, only defines threshold values on raw materials (see Table 1), not on leachates, limiting the use of pollutants stabilisation techniques; these must therefore be accompanied by a risk analysis.

Due to the lack of remediation solutions for highly contaminated soils, the current practice is soil confinement, combined with environmental monitoring, which could become expensive with time.

This is in this context that the RED4SOLS project is involved, with the aim of remediating these highly contaminated sites, using an innovative remediation technique, named electrodynamic remediation. This choice is justified by the fact that this technique can be applied on the soil fine fraction, which concentrates the pollutants and, on the other hand, could be integrated in a global process of soil washing, already available in the main Walloon soil remediation companies. Figure 1 presents the principle scheme of a combined process “soil washing + electrodynamic remediation”. Nevertheless, to be integrated in an industrial line with profitability, the electrodynamic remediation step must last 5 hours at maximum, without consuming more than 100 kWh/ton_{dry matter}.

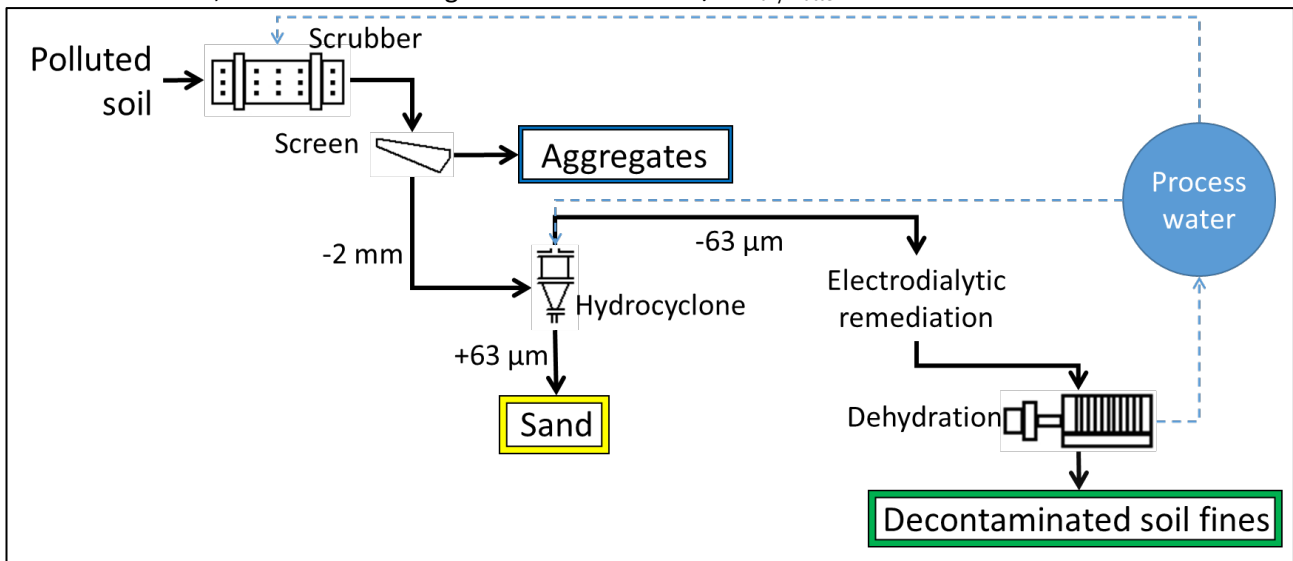


Figure 1 : Contaminated soil washing process, including electrodynamic remediation step.

In terms of concept, electrodynamic remediation is an improvement of the electrokinetic remediation, by using ion exchange membranes. It allows to extract ionic species by using an electric field induced by two electrodes (anode and cathode). This field goes through a soil slurry, and the ions are extracted by electromigration through one or more ion exchange membrane. The placement of membranes between the soil slurry and the electrolyte allows to compartment the solutions, avoiding mixing between solutions. Literature indicates that the electrodynamic remediation lasts about 48 h in batch mode and the energetic consumption is about 340 kWh/ton_{dry matter}, demonstrating that project objectives are ambitious.

After a batch cell design and several trials using different experimental setup and cell designs, the two-compartments cell was favoured (Figure 2). The soil slurry is in direct contact with the anode in this cell design, generating directly H⁺ ions in the slurry. The acidification is therefore direct, allowing fast mobilization of heavy metals and inorganic elements, faster than 5 hours. The electromigration of cations through the cation exchange membrane also lasts during the time limit, but more slowly than the ion mobilization.

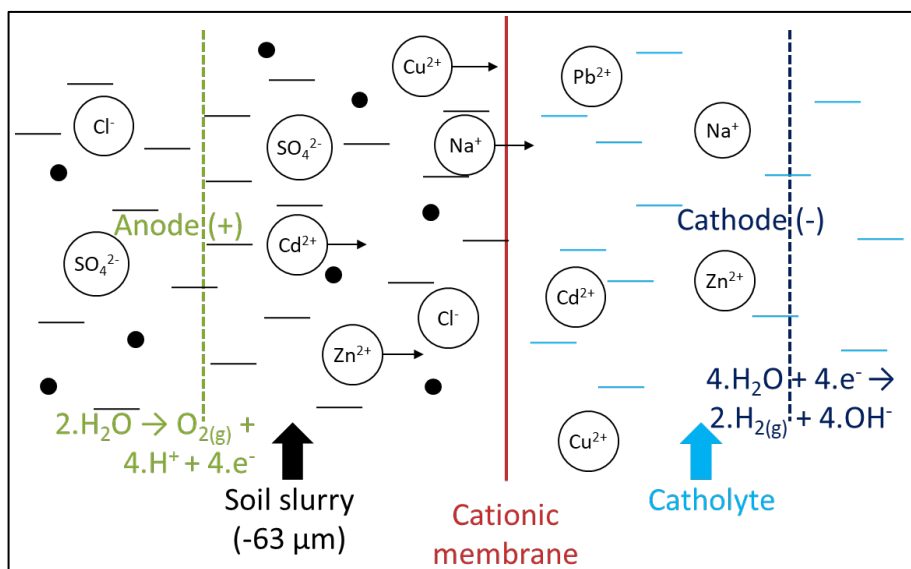


Figure 2 : Schematic diagram of electrodialytic remediation in a two-compartment cell.

The current results, presented in Table 1, show a great reduction in heavy metals levels, overall for the more concentrated ones (Cd and Zn), for a remediation time from 2 to 3 hours and an electric consumption of 150 kWh/ton_{dry matter}. The objective in term of remediation time is achieved and the objective in term of energy consumption is closed to the threshold for the economic profitability. To maintain the remediation performances, the adding of 60 kg_{H2SO4}/ton_{dry matter} (to keep pH values low and stable in the catholyte) and of 10 kg_{NaCl}/ton_{dry matter} (to keep high conductivity values inside the soil slurry) are necessary. An operating cost of around 100 €/ton_{dry matter} was calculated for a soil washing process including an electrodialytic remediation step of soil fines.

Table 1: Remediation performances of electrodiyalysis over polluted soil fines.

	Levels (mg/kg _{dry matter})			
	Raw	Batch / 5 h	Mini-pilote / mean time-on-stream: 2 h	Walloon decree thresholds (type V)
As	46.1	45.7 (-0.9%)	43.2 (-6.3%)	65
Cd	84.2	8.7 (-89.7%)	21.9 (-74.0%)	20
Cr	229.1	183.7 (-19.8%)	235.4 (+2.8%)	288
Cu	219.9	77.1 (-64.9%)	165.2 (-24.9%)	600
Ni	116.3	82.5 (-29.1%)	69.8 (-39.9%)	350
Pb	876.1	467.4 (-46.6%)	738.9 (-15.7%)	1,840
Zn	3,957.8	566.1 (-85.7%)	966.4 (-75.6%)	3,000

Following the electrodialytic treatment, the remediated fine fraction could be mixed with coarser fractions, and the mix can be reused on the initial site, allowing the reassignment of the field to economic activities. The soil fines were characterized in terms of agronomic parameters: remediated soil presents delayed germination and slow plant growth. Nevertheless, these harmful behaviours are mitigated by reducing remediation time. The focus for the rest of the project will be on attempting to improve the economic balance of the combined process, notably testing cheaper electrodes, reducing energy consumption and recovering valuable metals.



Conseil

Parce qu'on a souvent besoin d'un peu de science pour comprendre et résoudre une situation.



ELTEACH Conseil est la structure portée par Laurent THANNBERGER, ingénieur en agronomie et docteur en microbiologie, après 20 ans d'expérience dans les sciences des traitements du sol et 5 pour ceux de l'eau. Cette expertise a commencé en postdoctorat au Québec, en 1997.

Agir sur les qualités d'un sol, c'est appliquer des paramètres physiques, chimiques ou biologiques à l'échelle d'une infinité de pores, généralement depuis la surface. De nombreux processus entrent en jeu entre l'outil piloté par l'opérateur et la réalité réactionnelle. La physique est freinée par la mécanique des fluides, la chimie est modifiée par des dizaines de composés, plus ou moins inertes, et la biologie est perturbée par les notions d'accessibilité.

Et pourtant, vous devez rendre des résultats maîtrisés, avec un niveau de robustesse qui paraît bien peu compatible avec ce que l'on sait des réactions.

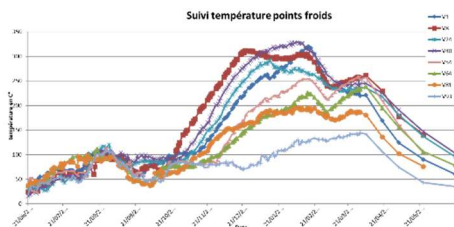
ELTEACH Conseil est là pour vous aider à mesurer, vérifier, comprendre, interpréter, dénouer, rédiger, innover, quantifier, modéliser, transmettre, enseigner, communiquer, former, chiffrer, ... tous ces fonctionnements obscurs des sols.

- Conseil et expertise, sous forme de prestations d'une ou plusieurs journées, ou des missions réparties dans le temps.
- Prestation de disponibilité opérationnelle, pour des réponses rapides à la demande de vos ingénieurs.
- Aide à la conception, suivi et rédaction de vos projets d'innovation pris en charge avec une garantie de discrétion.

Tél : 06 71 55 33 72

lau.thannberger@orange.fr

09 62 14 62 28





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