intersol'2020

19e Edition

Congrès-Exposition International sur les Sols, les Sédiments et l'Eau

International Conference-Exhibition on Soils, Sediments and Water

Édition digitale / Digital edition

Sites pollués et Friches
Gestion raisonnée des ressources :
de la caractérisation à la valorisation

Polluted sites and Brownfields
Rational management of resources:
from characterization to valorization

www.webs-event.com

WEBINAIRE

November 3-4-5, 2020

En partenariat avec / *In partnership with :*

axeLERA — ENSEMBLE, CATALYSONS LES RÉUSSITES

IDfriches Auvergne-Rhône-Alpes

En collaboration avec / *In collaboration with :*

ENVIRONNEMENT magazine | L'EAU, L'INDUSTRIE, LES NUISANCES | mat environnement | SOLSCOPE | tsm

Entreprises / *Companies :*

AECOM, AKLEA, Baudelet environnement, Biobasic environnement, COLAS, EnISSA, eOde, eurofins, EvalDépol, Fertil'innov, fieldfisher, FOLEY HOAG, GEOLYS, GINGER BURGEAP, GOLDER, GREENSOIL, GROUPE ADP, GRS VALTECH, HPC ENVIROTEC, iFLUX, INJECTIS, ixsane, KIDOVA, KRÜGER VEOLIA, MERIEUX NutriSciences, MODAAL conseil, OGD, Pascal Roux CONSEIL, PeroxyChem, REGENESIS, SEMACO, soléo services, SOLTRACING, suez, Tauw, Tesora, VALGO, ZÜBLIN

Institutionnels / *Institutionals :*

BROWNFIELD ACADEMY, bruxelles environnement leefmilieu brussel, Cerema, cetim, ENVIRONMENT INVESTIGATIONS, FRANCE NATURE ENVIRONNEMENT, ICR Institut Chimie Radicalaire, Laboratoire Chimie Environnement, PROVADEMSE, UCIE

CHRONO ENVIRONNEMENT

Tesora

La caractérisation des risques environnementaux au service de la reconversion des friches

Journée organisée par Tesora et le laboratoire Chrono-Environnement de l'Université de Franche-Comté dans le cadre de la restitution du projet de recherche **COMBINE** (**CO**upler des indicateurs chi**M**iques et **B**iologiques pour une évaluation **I**ntégrative des risques sa**N**itaires et **E**nvironnementaux, soutenu par l'ADEME)

6 novembre 2020

www.webs-event.com

ADEME
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

WEBINAIRE

AgroParisTech · brgm Géosciences pour une Terre durable · axeLERA ENSEMBLE, CATALYSONS LES RÉUSSITES · CERF Auvergne-Rhône-Alpes Centre d'échanges et de ressources foncières · epfl dauphiné établissement public foncier local · HELIOS AVOCATS ASSOCIÉS · HELIOS Fiducie · IDfriches Auvergne-Rhône-Alpes

INDURA Auvergne-Rhône-Alpes · INERIS maîtriser le risque pour un développement durable · INRAE · ISA LILLE · yncréa · LEB aquitaine transfert · suez · Valorhiz · VILLE DE PARIS

Mardi 3 novembre 2020 / Tuesday November 3, 2020

09h00
Accueil et inscription des participants / Welcome and participant's registration

09h30
Discours de bienvenue / Welcoming speach

SESSION A
Modérateur : Gabriel Bally, Directeur Technique - Solpol

Caractérisation – Préservation – Réhabilitation – Valorisation foncière et écologique
Characterization – Preservation – Rehabilitation – Land and Ecological Valuation

09h50
Dosage des hydrocarbures totaux d'un sol contaminé par "Thin Layer Sorptive Extraction and Attenuated Total Reflectance - Fourier Transform Infrared Spectroscopy" / Determination of total hydrocarbons in contaminated soil with "Thin Layer Sorptive Extraction and Attenuated Total Reflectance - Fourier Transform Infrared Spectroscopy"
Houssein Louati, Doctorant - Environnement Investigations, ICR-LCE

10h10
Analyse d'air ambiant pour le suivi d'un projet de réhabilitation / Ambient air analysis for monitoring a rehabilitation project
Christophe Barnier, Chef de projets - Golder Associates

10h30
GEOCARE, Développement des méthodes GEOphysiques pour la CAractérisation et la REhabilitation des sites contaminés / GEOCARE, Development of GEOphysical methods for the ChAracterization and REhabilitation of contaminated sites
Théo De Clercq - Ingénieur Doctorant - Valgo

10h50
Pause café / Coffee break

11h10
La bioaccessibilité et la biodisponibilité, deux outils pour une évaluation des risques intégrative / Bioaccessibility and bioavailability, two tools for an integrative risk assessment
Benjamin Pauget, Responsable R&D - Tesora

11h30
Vers une prise en compte de la biodiversité dans les sites et sols pollués / Towards biodiversity considerations in brownfield management policies
Nicolas Husson, Référent sites et sols pollués - France Nature Environnement

11h50
ZAC Châteaucreux : optimisation environnementale de la gestion de la pollution par désorption thermique sur site / Châteaucreux Project: on site thermal desorption helps to optimize environmental management of pollution
- *Laurent Thannberger, Directeur Scientifique - Valgo*
- *Cédric Challaye, Responsable d'agence Sud-Est - Tesora*

12h10
Développement de projets d'énergies renouvelables : une opportunité pour la valorisation foncière et le réaménagement durable de sites pollués et friches / Development of renewable energy projects: an opportunity for a sustainable redevelopment of polluted and wasteland sites
Alexandre Courcambeck, Directeur France – Akuo

12h30

POSTERS
Modérateur : Frédéric Bossert, Chef de projet - Züblin Umwelttechnik

Présentations individuelles des conférences affichées en salle plénière

Individual posters presentations in the planer room

P-1 : WATER REUSE, une réponse industrielle aux enjeux écologiques et réglementaires / WATER REUSE, an industrial reply to ecological and regulatory issues
Jacques Ventura, Responsable Commercial Grands Comptes - GRS Valtech

P-2 : Stratégies de diagnostic de pollutions concentrées dans un contexte de sols pollués par des composés de type NAPL / Strategies of diagnostic of concentrated pollution in the context of polluted soils by NAPL type compounds
Jean-Marie Côme, Directeur R&D - Burgeap

P-3 : Développement et utilisation de biochars pour optimiser le traitement par voie biologique de sols contaminés par des hydrocarbures / Development and use of biochars to optimize biological treatment of petroleum hydrocarbons contaminated soils
Doriane Loirat, Ingénieur d'études - Biobasic

P-4 : Evaluation de la pollution organique dans les eaux de lessivage des friches industrielles : étude de cas de l'ancienne cokerie de Kenadsa / Assessment of organic pollution in brownfield leaching water: case study of the former Kenadsa coking plant (South-West Algeria) (Sud-Ouest algérien)
Safia Taleb, Professeur-Chercheur - Université Djillali Liabès - Sidi Bel Abbès (Algérie)

P-5 : Prise de décision basée sur la qualité et la protection des sols : chimie, écotoxicologie et écologie comme indicateurs des effets sur la fonction des sols / Decision making based on soil quality and protection: chemistry, ecotoxicology and ecology as indicators of effects on soil function
Rosana Moraes, Project Director - Golder Associates

12h45
Discussions - Pitch exposants / Exhibitors pitches

13h00
Déjeuner / Lunch

14h00
Une première en Europe : Réhabilitation complète d'un site de production de Lindane - Secteur des 3 pays (FR-CH-ALL) / A first case in Europe: complete remediation of an HCH production site in the three borders region (F-CH-D)
Julien Bendler, Responsable d'agence adjoint & Amaury de Malglaive, Ingénieur projet - Züblin Umwelttechnik GmbH

14h20
Réactifs innovants pour le traitement *in situ* des composés organiques chlorés utilisant des mécanismes injectables de réduction biogéochimique, biologique, chimique et d'adsorption / Innovative reagents for *in-situ* treatment of chlorinated organics utilizing injectable biogeochimical, biological, chemical reduction, and adsorption mechanisms
Mike Mueller, Business Development Manager, EMEA - PeroxyChem Environmental Solutions (Autriche)

14h40
Procédé biologique de biodégradation des polychlorobiphényles (PCB) associant champignons saprophytes et plantes mycorhizées / Biological process of biodegradation of polychlorinated biphenyls (PCB) associating saprophytic fungi and mycorrhizal plants
Bello Mouhamadou, Maître de conférences - LECA, UMR 5553

15h00
Etudes de cas en Normandie et dans la région Centre de la France de l'application de la BAND (Bio-Atténuation Naturelle Dynamisée) pour la dépollution des eaux souterraines : Solvants polaires & chlorés (TCE, PCE, DCE, VC, BTEX, etc.) et meilleurs coûts-avantages / Cases studies in Normandy and Central France of DNBA (Dynamized Natural Bio-Attenuation) for groundwater remediation: Polar & chlorinated solvents (TCE, PCE, DCE, VC, BTEX, etc.) and best cost-effectiveness
Frank Karg, Scientific Director of HPC Group (INOGEN JV) & CEO President of HPC International (France & Allemagne)

15h20
Valorisation des friches polluées et mixité des usages / Valorize polluted brownfields and mix uses
Lionel Roche, Avocat associé & Hugues Rollin, Avocat collaborateur - Aklea

15h40
Pause café / Coffee break

16h00
Phytostabilisation de déblais miniers par des plantes métallicoles : une utilisation raisonnée de la flore autochtone pour une revalorisation foncière et écologique d'un ancien site minier / Phytostabilization of mine cuttings by metallophytes: a reasoned use of the native flora for a land and ecological revaluation of an old mining site
Souhir Soussou, Dirigeante - Fertil'Innov Environnement

16h20
VALTER BIOMASSE - Grand Lyon - Produire de la biomasse sur les sols délaissés et dégradés avec des taillis à Courte Rotation / VALTER BIOMASSE - Grand Lyon - Producing biomass on abandoned and degraded soils with short rotation coppices
Jean-Yves Richard, Direction Innovation - Suez Minerals

16h40
Ce que vous devez savoir sur les substances per- et polyfluoroalkyles / What you should know about Per-and Polyfluoroalkyl substances (PFAS)
Jacques Martelain, Senior managing scientist in environmental forensics and litigation support - Terraquatron & Directeur et Géologue cantonal - République et Canton de Genève

17h00
Diversité microbienne du sol et groupes fonctionnels sous pesticides dans les fermes conventionnelles et biologiques. Traces passées et présentes / Soil microbial diversity and functional groups under pesticides in conventional and biological farms. Past and present traces
Esperanza Huerta Lwanga, Senior Researcher - Wageningen University et Research (Pays-Bas)

17h20
Discussions - Pitch exposants

18h00
Fin de la première journée

Determination of total hydrocarbons in contaminated soil with "Thin Layer Sorptive Extraction coupled with Attenuated Total Reflectance - Fourier Transform Infrared Spectroscopy"

Houssein LOUATI [1,2,3], Sébastien MARIA[2], Jean-François ROCCI[3], Pierre DOUMENQ[1]

1- Aix-Marseille Univ, CNRS, LCE, UMR CNRS 7376, Europole de l'Arbois Bât Villemein BP 80-13545 Aix-en-Provence, France

2- Aix-Marseille Univ, CNRS, Institut de Chimie Radicalaire UMR 7273-team CROPS, Avenue Escadrille Normandie Niemen,13013 Marseille, France

3- Société Environnement Investigations, 13990, Fontvieille, France

Houssein louati:

- Function: PhD Student in Analytical Chemistry and Environmental Sciences
- Adresse : Aix-Marseille Université- Laboratoire de Chimie de l'Environnement - UMR 7376 Europôle de l'Arbois, Bâtiment Villemin, BP 80, Aix en Provence, France
- Email : houssein.loueti@gmail.com
- Phone +33622185714

More than 6000 sites are officially reported to be polluted in France (BASOL data base) and more than 250000 are yet to be investigated the analytical prototype was done so that it could be transposed on site. Soil pollution by hydrocarbons is frequent and originates from leakage tanks, service stations, etc. In fact, contamination by total hydrocarbons (THC) is most frequently encountered in the field of polluted sites and soils, especially since these products are toxic to humans and to the environment.

Contamination severity is typically characterized by the concentration of hydrocarbons. In order to remediate and monitor cleaning processes and also to evaluate the final quality of the soil, it is becoming increasingly urgent to assess contamination in some concerned sites. The quantification of THC can be performed by different analytical methods in specialized laboratories using documented and certified methods and instruments. These analyses are typically preceded by a solvent extraction using an organic solvent, an extraction device (soxhlet, microwave assisted extraction (MAE), accelerated solvent extraction (ASE), sonication, etc.) and usually have a purification step afterwards. However, these laboratory methods cannot, for various reasons, be used in the field for direct monitoring. In addition, these methods can take from a couple of hours to several days, thus they are not sufficiently fast and do not provide a high frequency of analyses that is for example necessary in the soil cleaning process.

This study therefore aims to develop an innovative, in situ, rapid, precise and inexpensive method that is easy to implement in order to assess soil contamination with hydrocarbons. Which allow to overcome the problems of laboratory techniques. This will led us to have better management of polluted sites and soils and to optimized the diagnostic process. This technique consists of using a disposable thin polymeric film of polydimethylsiloxane (PDMS) coupled with ATR-FTIR for the analysis of total hydrocarbons in soil. Firstly, this method allows the preconcentration of thermo-desorbed pollutants on a polymer thin film and secondly, their direct quantification by ATR-FTIR. We decided to name this technique as Thin Layer Sorptive Extraction (TLSE)-ATR-FTIR.

Thus this work will focus on: a) the applicability of ATR-FTIR technique to the analysis of soils contaminated with hydrocarbons, b) the influence of soil characteristics (nature, texture, organic

content…) on THC determination, and c) the evaluation of the performance of TLSE-ATR-FTIR for the analysis of soils with different levels of contamination.

40 different soils sampled from different regions in France were analyzed. These real soil samples had relatively distinct composition and physicochemical properties. After analysis, the results were compared to those obtained by accredited laboratories COFRAC (EUROFINS) with conventional analyzes carried out in the same time and in accordance with regulatory standards). The results show that the THC concentration of the various contaminated soils determined by TLSE-ATR-FTIR are in very good match with those supplied by the accredited laboratory. Last, TLSE technique always led to significantly lower standard deviations with low detection and quantification limits that meets regulatory requirements (500 mg.kg-1).

In addition, the TLSE-ATR-FTIR method was applied directly on site on several campaigns in order to confirm its feasibility and to give direct results for engineering and design departments. For example, we used it during a field campaign where we analyzed hydrocarbons from soil as a part of a pollution control project carried out by Golder, company. The results obtained on site during these campaigns were promising and are in very good match also with those supplied by the accredited laboratory

Analyse d'air ambiant
pour le suivi d'un projet de réhabilitation

Christophe Barnier, Golder Associates – cbarnier@golder.com

Golder Associates réalise le suivi environnemental d'un projet de réhabilitation de grande envergure sur une plateforme chimique du sud de la France. Un pilote a été réalisé pour notamment vérifier les nuisances induites par la phase d'excavation des matériaux très fortement impactés par diverses substances volatiles. L'objectif est de vérifier que les travaux de réhabilitation ne présenteront pas de risques sanitaires pour les différentes cibles environnantes (travailleurs, riverains).

Le pilote a permis de tester et comparer quatres protocoles d'échantillonnage/ analyse de l'air ambiant à savoir:

- Prélèvement sur charbon actif et analyse en laboratoire certifié;
- Prélèvement sur résine Tenax et laboratoire certifié;
- Prélèvement en Canisters et analyse en laboratoire certifié;
- Prélèvement et analyse en continu sur chromatographie gazeuse de terrain;

Les données ont permis de mettre en evidence que:

- Les concentrations en PCE sont globalement supérieures lorsques échantillonnées sur canister;
- Le Tenax ne présente pas de valeur ajoutée pour ce projet;
- Le charbon actif présente le spectre de composés correctement échantillonnés le plus large;
- Le suivi continu en chromatographie gaseuse de terrain permet de détecter des pics de courtes durées et de les associer à des activités de terrains particulières;

Ainsi les différentes études ont montré l'importance de la prise en compte de la météorologie et ont mises en evidence les activités sur lesquelles des mesures d'atténuation devaient être mises en oeuvre.

La présentation consistera en la description du projet, l'illustration avec des graphiques comparatifs mettant en évidence l'effet de la météo et de la technique d'échantillonnage sur les concentrations et développera enfin les différentes conclusions énumérées ci-dessus.

GEOCARE, Développement des méthodes GEOphysiques pour la CAractérisation et la REhabilitation des sites contaminés

Théo DE CLERCQ
Ingénieur d'Etudes et de Recherche en Géophysique - VALGO
112 Quai de BEZONS 95100 Argenteuil
0764636056 – theo.declercq@valgo.com

Caractère innovant : caractérisation et suivi de dépollution par résistivité électrique 3D : électrodes et mesures verticales.

Mot clés : géophysique, mesures et modélisation 3D, caractérisation et suivi de dépollution, hydrocarbures, résistivité électrique

Objectif : Evaluer le potentiel des méthodes géophysique pour caractériser une zone source de type LNAPL et réaliser un suivi d'une technique de traitement (extraction multiphasique).

Résumé

La réhabilitation des sites et sols pollués constitue un enjeu majeur qui répond à la fois à une pression foncière toujours plus forte ainsi qu'aux objectifs environnementaux pour limiter l'impact sur la santé des individus, sur la ressource en eau et sur la biodiversité. Les moyens actuels utilisés pour la caractérisation d'un site pollué et à partir desquels sont définis les mesures de gestion sont généralement basés sur des investigations ponctuelles (sondages sols, piézomètres, piézairs, ...). Ce qui génère des incertitudes sur la caractérisation de la pollution qui dépend intimement du nombre et de la position des ouvrages.

La question de la propagation de ces mesures dans l'espace-temps afin d'obtenir une vision d'ensemble des paramètres nécessaires pour le dimensionnement du Plan de gestion est essentielle pour une optimisation coût/efficacité. Ce travail est bien souvent complexe du fait des hétérogénéités des propriétés du milieu et de la pollution. Dans ce contexte, des méthodes géophysiques et hydro-géophysiques, par essence spatialisées et pour une part d'entre elles non intrusives, offrent une alternative aux techniques d'investigation classiques pour caractériser une pollution de type hydrocarbures.

Dans ce contexte, l'objectif du projet GEOCARE est d'évaluer le potentiel d'emploi de ces méthodes pour caractériser une zone source de type LNAPL (coupes pétrolières) et réaliser un suivi de la technique de traitement de pompage/écrémage.

5 méthodes géophysique ont été testées en cubitainers puis sur un site pilote ayant été précédemment caractérisé par des méthodes innovantes hydro-géophysiques de pompage croisées. Ces cartographies, obtenues après inversions de données provenant de différents puits suivis au cours de plusieurs pompages, permettent d'identifier les puits en relation directe avec les quantités en LNAPL les plus fortes pour un pompage plus efficace ;

De plus, afin de corréler les mesures géophysiques aux observations terrains, des capteurs de pressions couplés ont servi à la réalisation d'un suivi en continu du niveau de la nappe permettant de définir un comportement hydrologique unique en lien avec le cycle lunaire et de l'épaisseur de LNAPL mobile située dans le puits variant en anti-corrélation avec les marées et le cycle lunaire ;

La méthode approfondie dans la présentation proposée est celle de la tomographie de résistivité électrique avec la particularité d'avoir des électrodes disposées à la surface en 2D mais également de manière verticale : soit dans les puits, soit directement au contact du sol ; Cette

méthode de caractérisation permet de mettre en avant des résistivités électriques plus importante en corrélation avec la quantité d'hydrocarbures observable dans les puits.

A ce stade, les travaux réalisés ont permis de confronter différentes approches sur la zone pilote. Les investigations et interprétations sont en cours afin d'évaluer la pertinence des différents outils mis en œuvre pour le diagnostic et le suivi de pilotes de traitement.

Les auteurs : Théo DE CLERCQ*[1,3], Laurent THANNBERGER[1], David PITAVAL[2], Jean-Marie CÔME[2], Abderrahim JARDANI[3]

[1] : VALGO Laboratoire, 72 rue A. Briand, 76650 PETIT-COURONNE
theo.declercq@valgo.com, laurent.thannberger@valgo.com
[2] : Département R&D, GINGER-BURGEAP, 19 rue de la Villette, 69425 LYON Cedex 03,
d.pitaval@groupeginger.com ; j.chastanet@groupeginger.com ; jm.come@groupeginger.com
[3] : Université de Rouen, M2C, UMR 6143, CNRS, Morphodynamique Continentale et Côtière, Mont Saint Aignan, France abderrahim.jardani@univ-rouen.fr

* contact : contact en cas de question sur les travaux présentés

---

GEOCARE, Development of GEOphysical methods for ChAracterization and REhabilitation of contaminated sites

Théo DE CLERCQ
Ingénieur d'Etudes et de Recherche en Géophysique - VALGO
112 Quai de BEZONS 95100 Argenteuil
0764636056 – theo.declercq@valgo.com

Innovative character: characterization and monitoring of 3D electrical resistance decontamination: vertical electrodes and measurements.

Keys words : géophysic, measures and 3D modelisation, characterization and et suivi de dépollution, hydrocarbures, résistivité électrique

Objective : Assess the potential of geophysical methods to characterize an LNAPL source zone and to follow up a treatment technique (multi-phase extraction).

Abstract

The rehabilitation of polluted sites and soils is a major issue that responds both to increasing land pressure and to environmental objectives in order to limit the impact on the health of individuals, on water resources and on biodiversity. The current means used for characterizing a polluted site and from which management measures are defined are generally based on one-off investigations (soil surveys, piezometers, piezairs, etc.). This creates uncertainty about the characterization of pollution depending intimately on the number and position of the piezometers

The question of the spread of these measurements in the space-time in order to obtain an overview of the parameters needed for designing the management plan is essential for cost-

effectiveness optimization. This work is often complex due to the heterogeneity of environmental properties and pollution. In this context, geophysical and hydro-geophysical methods, inherently spatialized and for some of them non-intrusive, offer an alternative to conventional investigative techniques for characterizing an hydrocarbon pollution type.

In this context, the objective of the GEOCARE project is to assess the potential of these methods to characterize a LNAPL source zone (oil cuts) and to follow up on the pumping/skimming treatment technique.

5 geophysical methods were tested in cubitainers and then on a pilot site previously characterized by innovative hydro-geophysical cross-pumping methods. These maps, obtained after inversions of data from different wells tracked over several pumpings, identify wells directly related to the strongest LNAPL quantities for more efficient pumping;

In addition, in order to correlate geophysical measurements to field observations, coupled pressure sensors were used to continuously monitor the water table level to define a unique hydrological behavior in relation to the lunar cycle and the mobile LNAPL thickness located in the well as an anti-correlation varying with the tides and the lunar cycle;

The geophysical method in the proposed presentation is the electrical resistance tomography one with the peculiarity of having electrodes arranged on the surface in 2D but also vertically: either in the wells or directly in contact with the soil; This characterization method allows to highlight greater electrical resistances in correlation with the amount of hydrocarbons observed in wells.

At this stage, the work carried out has allowed different approaches to be compared to the pilot area. Investigations and interpretations are underway to assess the relevance of the various tools used for the diagnosis and follow-up of treatment pilots.

The autors : Théo DE CLERCQ*[1,3], Laurent THANNBERGER[1], David PITAVAL[2], Jean-Marie CÔME[2], Abderrahim JARDANI[3]

[1] : VALGO Laboratoire, 72 rue A. Briand, 76650 PETIT-COURONNE
theo.declercq@valgo.com, laurent.thannberger@valgo.com
[2] : Département R&D, GINGER-BURGEAP, 19 rue de la Villette, 69425 LYON Cedex 03,
d.pitaval@groupeginger.com ; j.chastanet@groupeginger.com ; jm.come@groupeginger.com
[3] : Université de Rouen, M2C, UMR 6143, CNRS, Morphodynamique Continentale et Côtière, Mont Saint Aignan, France abderrahim.jardani@univ-rouen.fr

* contact : contact if you have a question about the presented work

La bioaccessibilité et la biodisponibilité, deux outils pour une évaluation des risques intégrative

B. Pauget[1], M. Louzon[2], A. Pelfrêne[3], F. Gimbert[1], F. Douay[3], A. de Vaufleury[2]

[1] : TESORA, Le Visium, 22 Avenue Aristide Briand, 94110 Arcueil, France, benjamin.pauget@tesora.fr

[2] : Laboratoire Chrono-Environnement, UMR 6249 UFC/CNRS, Université de Bourgogne Franche-Comté, 16 Route de Gray, 25030 Besançon Cedex, France, annette.devaufleury@univ-fcomte.fr

[3] : Laboratoire Génie Civil et géo-Environnement (LGCgE), Yncréa Hauts-de-France, 48 Boulevard Vauban, BP 41290, 59014 Lille Cedex, France, francis.douay@yncrea.fr

* contact : benjamin.pauget@tesora.fr

Introduction

Dans la démarche de gestion des sites et sols pollués, ce sont les concentrations totales en contaminants présent dans les sols qui sont prises en compte. Cependant, seule une fraction de ces contaminants est réellement mobile et susceptible d'être assimilée par les organismes et donc d'induire des effets toxiques (concept de biodisponibilité environnementale et toxicologique). Ainsi, pour ne pas surestimer les risques, il existe un réel besoin d'affiner les évaluations des risques sanitaires et environnementaux.

En France, la démarche d'interprétation de l'état des milieux (IEM) consiste à confronter une exposition théorique des populations humaines à des valeurs de référence (VTR) afin de déterminer la compatibilité du site avec son usage. Elle repose sur les calculs de quotients de danger (QD) et d'excès de risques individuels (ERI). Quand les QD et les ERI se situent dans une zone d'incertitude, la réalisation de tests de bioaccessibilité via la méthode UBM [1, 2] s'avère pertinente afin de préciser l'exposition des populations. Les résultats obtenus permettent alors de pondérer les concentrations en contaminants présents dans les sols en intégrant dans l'évaluation la part de leurs fractions bioaccessibles [1]. Parmi les outils disponibles pour estimer les risques environnementaux, il est possible d'utiliser la méthode ERITME [3, 4] reposant sur l'identification d'excès de transfert et de la toxicité de contaminants chez l'escargot.

L'objectif de la présente étude est de confronter les risques sanitaires estimés via la méthodologie IEM (avec et sans prise en compte de la bioaccessibilité des contaminants) et les risques environnementaux afin d'identifier la complémentarité de ces deux approches et l'impact que ces données peuvent avoir sur le devenir d'un site (Fig. 1).

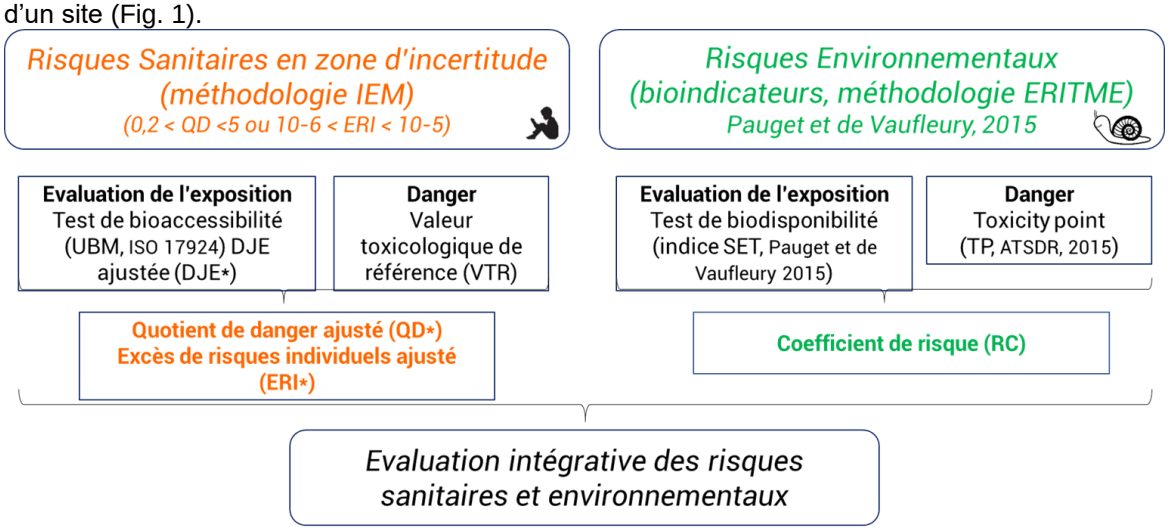


Figure 1 : représentation d'une étude intégrative des risques.

Matériel et méthodes

Trente échantillons de terres collectés dans le cadre du programme ODESSA, soutenu par l'ADEME, et contaminés par l'arsenic (As), le cadmium (Cd) et le plomb (Pb) ont été sélectionnés afin de couvrir une large gamme de paramètres physico-chimiques et de contamination. Sur chaque échantillon ont été effectués un test de bioaccumulation *ex situ* de 28 jours avec l'escargot (*Cantareus aspersus*, [4]) et un test *in vitro* de bioaccessibilité (UBM - Unified Barge Method [5]) permettant l'estimation de la fraction des contaminants des terres solubilisée dans le tractus gastro-intestinal de l'Homme.

Les calculs de risques sanitaires ont été réalisés selon la méthodologie IEM. Les QD et les ERI ont été calculés sur la base des concentrations totales en contaminants présents dans les terres étudiées et des paramètres d'exposition pour un enfant. Dans un second temps, des $QD_{ajusté}$ et des $ERI_{ajusté}$ ont été calculés en intégrant

la bioaccessibilité des contaminants en accord avec la méthode proposée par Dor et al., [7]. L'intégration de la bioaccessibilité implique notamment un facteur correctif en fonction des éléments considérés : 1 pour le Cd et l'As et 2 pour le Pb [7].
Les risques environnementaux ont été déterminés sur la base de la méthodologie ERITME [4, 6, 8] en confrontant à des valeurs guides de référence les concentrations internes en contaminants dans des escargots exposés 28 jours aux terres (QA, quotient d'accumulation, [6]) puis en pondérant les QA par des coefficients de toxicité des contaminants pour obtenir des coefficients de risque (RC).

Résultats et discussion

Influence de la prise en compte de la bioaccessibilité sur les conclusions de l'IEM.

L'intégration de la bioaccessibilité dans les calculs de QD et d'ERI n'affecte que faiblement le classement des terres (Tab. 1). Seules 7% (As) et 11% (Cd) des terres situées dans une zone d'incertitude ont été reclassées en « compatibles » lorsque les éléments métalliques sont considérés indépendamment. Ce faible taux de reclassement est dû principalement :

- au calcul des ERI pour l'As qui identifie une zone d'incertitude pour des concentrations très faibles dans les terres ;
- à la prise en compte de la bioaccessibilité du Cd mesuré dans la phase gastrique, fortement supérieure à celle de la phase gastro intestinale (en moyenne 97%, contre 44% [6]).

Lorsque l'on considère l'ensemble des contaminants, la prise en compte de la bioaccessibilité entraîne le déclassement de 38% des terres (Zone d'incertitude à incompatible). Ce déclassement est dû à la forte bioaccessibilité du Pb en phase gastrique (en moyenne 83%) et à son facteur correctif de 2. Ceci conduit à des $QD_{ajusté}$ et des $ERI_{ajusté}$ supérieurs aux QD et ERI n'intégrant pas la bioaccessibilité. Cependant, si la fraction bioaccessible dans la phase gastro intestinale (13%) est utilisée dans le calcul des $QD_{ajusté}$ et des $ERI_{ajusté}$, 80% des terres en zone d'incertitude sont reclassées en « compatible ».

	As		Cd		Pb	
	QD	ERI	QD	ERI	QD	ERI
Aucune modification	40%	93%	78%	-	80%	95%
Zone d'incertitude -> Compatible	**60%**	**7%**	**11%**	**-**	0%	0%
Zone d'incertitude -> Incompatible	0%	0%	11%	-	**20%**	**5%**

Tableau 1. Modification des résultats de l'IEM suite à l'intégration de la bioaccessibilité dans les calculs de QD et d'ERI en zone d'incertitude. Les classements sont réalisés sur la base du risque majorant entre QD et ERI.

L'estimation des concentrations bioaccessibles via la mesure de la bioaccumulation chez l'escargot des contaminants (calcul des concentrations via des régressions linéaires multiples) montre une très bonne corrélation entre les $QD_{ajusté}$ et les $ERI_{ajusté}$ (bioaccessibilité mesurée) et les QD et les ERI ajustés avec les valeurs de bioaccessibilité estimées. En effet, pour les calculs de QD, 90%, 93% et 87% (pour l'As, le Cd et le Pb) présentent des niveaux de risques similaires. Seules les conclusions des QD pour 3% des terres pour l'As et le Cd et 10% des terres pour le Pb sont sous-estimées par les valeurs de bioaccessibilité estimées. Pour les ERI, des conclusions similaires sont observées avec 93% et 83% des terres classées de manière identique (pour l'AS et le Pb) et seul le risque d'une terre est sous-estimé.

Influence de la prise en compte de la bioaccessibilité et de la biodisponibilité en évaluation des risques

La comparaison des évaluations des risques sanitaires selon la méthodologie IEM, avec et sans prise en compte de la bioaccessibilité et de l'évaluation du risque environnemental via les RC (ERITME), montre de nombreuses différences. Pour 20 des 30 terres étudiées, le risque environnemental est plus faible que le risque sanitaire intégrant la bioaccessibilité dans son évaluation ($QD_{ajusté}$ et ERI $_{ajusté}$). Parmi ces terres, 13 sont catégorisées en absence de risque par ERITME tandis que l'$IEM_{ajusté}$ conclut à une zone d'incertitude (9 terres) ou à une absence de compatibilité (4 terres). Ces différences sont dues à une bioaccumulation du Pb et de l'As très faible dans ces terres. Concernant le Pb, si les calculs de $QD_{ajusté}$ sont réalisés avec la bioaccessibilité mesurée dans la phase gastro intestinale au lieu de la phase gastrique, des conclusions similaires sont obtenues entre ERITME et l'$IEM_{ajusté}$ en lien avec la forte diminution de bioaccessibilité du Pb entre ces deux phases (83% et 13% pour les phases GI et G, respectivement). Pour l'As, les écarts d'estimation du risque sont dus à la forte toxicité de cet élément pour l'Homme. En effet, pour qu'une terre ne présente pas de risque pour cet élément (QD < 0,2 et ERI < 10^{-5}), les concentrations dans les terres doivent être très faibles (bien inférieures aux teneurs habituelles des sols français). A titre d'exemple, l'ensemble des terres étudiées présentant des concentrations en As inférieures à 25 mg kg^{-1} (n = 17) montre des ERI > 10^{-6} et l'$IEM_{ajusté}$ (intégrant la bioaccessibilité) conclut à une compatibilité pour seulement deux terres. Pour cet élément, la prise en compte de sa spéciation s'avère pertinente dans le cadre de l'IEM ; l'As III est en effet plus toxique et mobile que l'As V mais présent généralement à des concentrations plus faibles dans les sols.
Il est à noter que pour une terre étudiée, ERITME conclut à un niveau de risque plus important pour l'As et le Cd que les $QD_{ajusté}$ et les $ERI_{ajusté}$ du fait de la forte biodisponibilité de l'As et du Cd laquelle est expliquée par la faible teneur en matière organique de cette terre.

Ainsi, les résultats obtenus montrent que les terres présentent globalement moins de risques pour l'environnement que pour l'Homme.

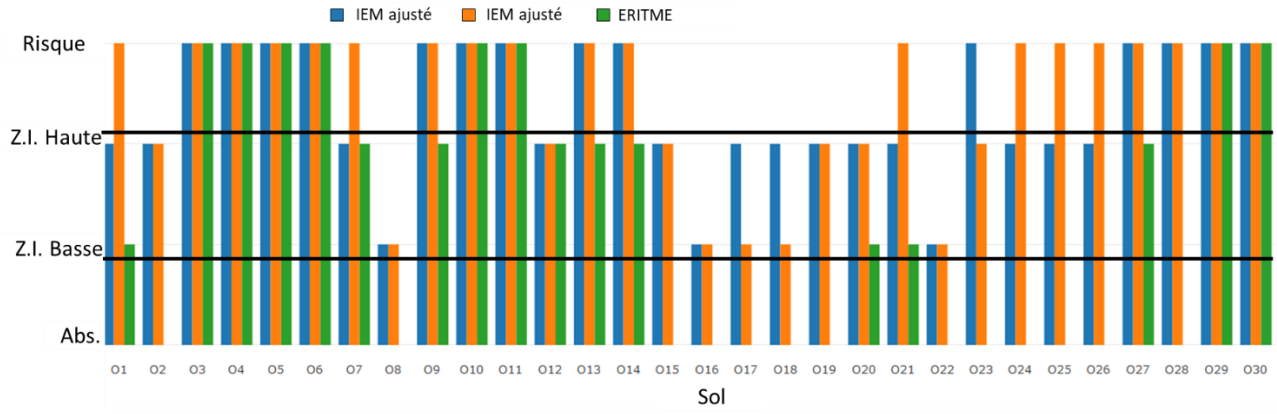


Figure 2. Correspondance entre les conclusions de l'IEM (bleu), de l'IEM$_{ajusté}$ (jaune) pour le risque sanitaire et d'ERITME (vert) pour le risque environnemental. Niveaux de risques : Abs. : absence de risques, zone d'incertitude haute et basse et risques avérés.

Conclusions et perspectives

Pour les trois éléments métalliques étudiés, il a été montré l'existence d'une complémentarité entre les résultats obtenus avec les méthodologies de l'ERE et de l'ERS (comparaison bioaccessibilité et bioaccumulation avec l'escargot). Ainsi, la bioaccessibilité pourrait être estimée au moyen de la mesure de la bioaccumulation des contaminants présents dans les sols pour l'escargot. Des investigations complémentaires permettraient de rechercher l'existence de liens entre la bioaccessibilité et la bioaccumulation pour d'autres contaminants métalliques. La confrontation de l'évaluation des risques sanitaires (IEM et IEM$_{ajusté}$) et environnementaux (ERITME) a quant à elle montré de nombreuses divergences dans les conclusions. Ces divergences sont expliquées par la très forte toxicité de l'As et la très forte bioaccessibilité du Pb dans la phase gastrique.

A ce stade de l'étude, les résultats obtenus mettent en évidence qu'une contamination en As, Cd et Pb d'un site peut constituer un risque sanitaire sans pour autant engendrer un risque environnemental. Ce constat pourrait alimenter les réflexions des gestionnaires de SSP lesquels disposeront d'outils pour justifier le maintien d'une pollution en place et sa gestion au moyen de techniques douces telles que les phytotechnologies, sous réserve de modifier l'usage du site.

Références

[1] MEEM (2017). Méthodologie Nationale de Gestion des Sites et Sols Pollués. Direction générale de la prévention des risques. Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer, Paris.

[2] Pelfrêne, A., Détriché, S., Douay, F. (2015). Combining spatial distribution with oral bioaccessibility of metals in smelter-impacted soils: implications of human health risk assessment. Environmental Geochemistry and Health , 37(4), 49-62. https://doi.org/10.1007/s10653-014-9629-0

[3] de Vaufleury, A. (2015). Landsnail for ecotoxicological assessment of chemicals and soil contamination. In Armon, R.H., Hänninen O. (Ed.), Environmental Indicators. Springer, Dordrecht, 345-391.

[4] Pauget, B., de Vaufleury, A. (2015). The SET and ERITME indices: Integrative tools for the management of polluted sites. Ecological Indicators, 53. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.01.037

[5] ISO DIS 17924, 2018. Qualité du sol – Evaluation de l'exposition humaine par ingestion de sol et de matériaux du sol – Mode opératoire pour l'estimation de la bioaccessibilité/biodisponibilité pour l'Homme de métaux dans le sol

[6] Louzon et al., 2019 Couplage d'indicateurs chimiques et biologiques pour une évaluation de la biodisponibilité d'éléments métalliques dans des sols contaminés : bioaccessibilité orale pour l'homme et bioaccumulation par l'escargot 4° RNR sur les SSP, Paris.

[7] Dor F., Denys S., et les membres du GT, 2012. Quantités de terre et poussières ingérées par un enfant de moins de 6 ans et bioaccessibilité des polluants. Etat des connaissances et propositions. Institut de Veille Sanitaire, 83 p.

[8] Louzon, M., Pauget, B., Gimbert, F., Rieffel, D., Crini, N., Amiot, C., de Vaufleury, A., *Ex situ* Threshold Guide Values (TGV) to assess environmental risk of contaminated soils with *Cantareus aspersus*. **In prep**.

Remerciements

Les auteurs remercient l'ADEME pour le soutien financier des programmes de recherche COMBINE et ODESSA. Les auteurs souhaitent également remercier les institutions qui supportent leurs travaux : le Laboratoire Génie Civil et géo-Environnement (Lille) et le Laboratoire Chrono-Environnement (Besançon).

Vers une prise en compte de la biodiversité dans les sites et sols pollués

Nicolas Husson
Référent sites et sols pollués – France Nature Environnement
nico.husson@orange.fr
Cell. : 06 16 53 11 72
www.fne.asso.fr

Résumé :

Les politiques de gestion des sites et sols pollués sont, jusqu'à présent, essentiellement guidées par des critères sanitaires. De nombreux indicateurs permettent cependant d'envisager que la biodiversité pourrait être d'avantage intégrée, notamment:

- un intérêt croissant de la société pour la protection de la biodiversité et le besoin manifeste du retour à une relation apaisée entre l'homme et la nature

- une implication significative d'acteurs et parties-prenantes variés (chercheurs académiques, établissements publics à caractère industriel et commercial, associations de protection de la nature et l'environnement, bureaux d'études et d'ingénierie et travaux SSP et génie écologique, etc.)

- des enjeux socio-économiques de revalorisation du foncier dégradé et des friches urbaines et une évolution du contexte juridique et de programmes d'Etat.

Résultat / point clé des travaux :

Le contexte socio-économique engage une réflexion sur l'intégration de la biodiversité dans les politiques de gestion des sites et sols pollués et de revalorisation du foncier dégradé. Des outils conceptuels, complémentaires à la méthodologie nationale de gestion des SSP, sont en cours de développement, incluant l'évaluation des risques écologiques (TRIADE), la prise compte des services écosystémiques (impacts sur la biodiversité, faune, flore, milieux) et le potentiel de renaturation (solutions fondées sur la nature).

Piste de recherche prioritaire :

Une réflexion doit être menée pour évaluer la convergence de l'approche TRIADE et des services écosystémiques, des plans de gestion SSP et d'espaces naturels.

ZAC Châteaucreux :
optimisation environnementale de la gestion de la pollution par désorption thermique sur site

Châteaucreux Project:
on site thermal desorption helps to optimize environmental management of pollution

Cédric CHALLAYE et Laurent THANNBERGER
Tesora (Lyon), VALGO (Petit-Couronne) – France

Mots clés : PCB, solvants chlorés, réhabilitation, désorption thermique sur site
Objectifs : limiter les évacuations de terres, au profit de leur réutilisation sur site, par traitement combiné de polluants avec des volatilités différentes
Caractère innovant du projet : le très grand volume de terres à dépolluer, la multiplicité des polluants et le calendrier imparti ont contraint à proposer des piles thermiques combinées, la chaleur résiduelle de l'une chauffant l'autre.

1. Contexte général

La ZAC de Châteaucreux composée d'anciens sites industriels s'étend sur une soixantaine d'hectares autour de la gare de Saint-Etienne. Sa reconversion est au cœur d'un projet ambitieux dont l'enjeu est d'assurer l'ouverture de la gare et d'aménager un quartier résidentiel. L'EPORA (Etablissement Public foncier de l'Ouest Rhône Alpes) est notamment chargé de conduire les études techniques et pré-opérationnelles, d'acquérir, d'effectuer des travaux de proto-aménagement (déconstruction, désamiantage, dépollution) et de gérer les biens immobiliers pour les céder à l'EPASE (Etablissement Public d'Aménagement de Saint Etienne).

Parmi les anciens sites industriels du secteur figure Stronglight, ICPE spécialisée dans la fabrication de pièces détachées métalliques pour cycle, pour laquelle aucune notification de mise à l'arrêt n'avait été déposée en Préfecture par son ancien exploitant. Sur ce site de fortes contaminations en trichloroéthylène ; couplé en partie à des hydrocarbures et PCB ; ont été identifiées dans les sols.

Une réflexion amorcée un peu avant 2014, visant une solution de traitement centralisée des terres au sein de la ZAC et notamment celle de l'ancien site Stronglight a été menée pour :

- Mutualiser les moyens économiques ;
- Optimiser les gains environnementaux (solution durable, diminution des envois en filières ultimes).

A l'issue du plan de gestion et d'essais de traitabilité en laboratoire menés par l'APAVE, le choix du traitement des terres issues du tènement Stronglight s'est porté sur la désorption thermique sur une plateforme de la ZAC à proximité.

2. Travaux réalisés

Les travaux de dépollution se sont déroulés principalement en deux phases, sur 2015-2016 puis 2019-2020 pour une finalisation du traitement projeté à mi-2020. Ils sont réalisés par l'entreprise de dépollution VALGO sous maîtrise d'ouvrage EPORA, maîtrise d'œuvre TESORA et assistance à maîtrise d'ouvrage APAVE. L'originalité des travaux proposés par VALGO tenait à la chauffe en cascade de pile constituées de matériaux impactés par des polluants différents, désorbés à des températures différentes.

L'aménagement de la plateforme de traitement a été suivi du terrassement du site impacté et le transfert a généré la création des 4 premières piles thermiques. Des délais administratifs ont retardé le traitement pendant 18 mois, temps pendant lequel la poursuite des terrassements a permis de créer 2 piles supplémentaires ; le solde des matériaux étant stocké sur site.

La chauffe a débuté début 2019, la 1ère paire de pile ayant été réceptionnée à l'été.

3. Difficultés rencontrées

Outre des délais administratifs dus à des incompréhensions entre les différentes parties prenantes publiques, les arrêts intempestifs ont exposé les installations à des intempéries répétées, nécessitant des interventions de réparation de ces installations censées être temporaires.

4. Résultats & conclusion

Après 5 ans sur site, le terrain sera réceptionné d'ici juin 2020.

L'objectif de ce retour d'expérience sera de présenter les freins - leviers techniques et réglementaires identifiés pour rechercher des pistes d'optimisations de ce type de travaux de dépollution au sein de projets d'aménagement d'ampleur.

Key words: PCBs, chlorinated solvents, business park rehabilitation, on-site thermal remediation
Purpose: combining the treatment of pollutants with various volatility
Innovative dimension of the project: the huge volume of soils to be treated, numerous pollutants and schedule lead to propose combined thermal piles, the exhaust heat from one heating the second.

1- Context Overview:

Public procurement market with purchase orders, initiated in 2015 by EPORA, Real Estate public body of western Rhône-Alpes region (major local contractor), in the frame of the renewing of Chateaucreux's business park. ADEME should grant the works in case of innovative treatment technique.
The former factory producing bicycles' parts let a brownfield with great environmental concerns, especially with HVOCs, TPHs and PCBs.
Aims of the contract: excavation/characterization during progress/transfer of the polluted soils to a treatment platform in the same park, for on site treatment/reuse of the treated material at the starting point of the excavation.

2- Implemented works

The major innovation of the proposed treatment held in the cascade het treatment of material impacted by pollutants with different boiling points, thus desorbed at different temperatures.
The treatment platform was laid out, to welcome the soils dug out the polluted site and this first step of transfer allowed to build the 4 first piles. Administrative delays avoided the treatment for 18 months, during when excavation generated 2 more piles. The surplus of soils was kept in proper storages.
The heating started really at the beginning of 2019 and the first doublet of piles ended its treatment during the summer.

3- Constraints and uncertainties

Beside the administrative delay, coming from misunderstandings between different public stakeholders, those unplanned stops exposed the materials to repeated severe weather conditions, whereas the installation was supposed to be temporary.

4- Results and Conclusion

After 5 years of works on site, the site is ready for official acceptance, in June 2020.

Développement de projets d'énergies renouvelables : une opportunité pour la valorisation foncière et le réaménagement durable de sites pollués et friches

Development of renewable energy projects: an opportunity for a sustainable redevelopment of polluted and wasteland sites

Intervenant : Alexandre COURCAMBECK, Directeur France Akuo, courcambeck@akuoenergy.com

Résumé :

- **Présentation d'Akuo**

Avec plus d'un gigawatt en exploitation à fin 2020 et un chiffre d'affaires consolidé de plus de 260 millions d'euros, Akuo est un producteur indépendant d'énergie renouvelable et distribuée Français. Le Groupe, fondé en 2007, est détenu majoritairement par ses fondateurs. Acteur intégré, Akuo est présent sur toute la chaîne de valeur : le développement, le financement, la construction et l'exploitation de centrales de production d'énergie renouvelable.

Le Groupe s'attache à développer des projets qui participent à la construction d'un territoire durable : au-delà de la simple production d'énergie, les projets développés et exploités par Akuo apportent des bénéfices supplémentaires pour les populations des territoires où ils sont implantés. Outre son savoir-faire dans la production d'énergie à partir de ressources renouvelables, Akuo s'appuie sur des expertises spécifiques qui lui sont propres, notamment l'Agrinergie® et le couplage de ses centrales avec des solutions de stockage. Akuo commercialise l'électricité qu'il produit à partir de ses centrales partout dans le monde, auprès des opérateurs de réseaux nationaux, de grands clients privés ou directement sur le marché.

- **Le développement de projet d'énergies renouvelables, une opportunité de réaménagement durable du territoire**

Le développement d'un projet d'énergie renouvelable au sein d'un territoire permet de donner une seconde vie à des réserves foncières inexploitées et parfois sources de coûts. Au delà de la valorisation économique du terrain, ce réaménagement énergétique peut être source de différentes externalités positives pour le territoire : implication des riverains et de la commune dans la dynamisation du territoire, mise en place de projets pédagogiques, fourniture locale d'électricité, développement d'une activité annexe agricole, aménagement de réserves de biodiversité…..

Dans le cadre des objectifs nationaux ambitieux de développement des énergies renouvelables, le déploiement de tels projets peut avoir un rôle clé dans le cadre de stratégies de réhabilitation et dépollution de friches et sites pollués

- **Retour d'expérience sur l'implantation de centrales photovoltaïques**

Plusieurs projets d'Akuo illustrent les bénéfices associés au développement de sites de production d'énergie renouvelable au sein d'un territoire pour la revalorisation de terrains dégradés ou pollués, dans le cadre de stratégies locales de réaménagement durable.

L'intervention sera l'occasion d'en présenter un retour d'expérience et de souligner les enjeux et risques associés pour le développement de tels projets.

GRS VALTECH
112, chemin de Mure
ZAC du Dauphiné
69780 St Pierre de Chandieu

Contact : Jacques VENTURA
Responsable Commercial Grands Comptes
jacques.ventura@grsvaltech.fr
tel. 06 09 37 19 65

WATER REUSE
Une réponse industrielle aux enjeux écologiques et réglementaires

Dans le contexte actuel de raréfaction de la ressource en eau potable couplé à l'augmentation de la population et au développement croissant de l'activité économique, **la réutilisation des eaux usées ou industrielles prend tout son sens et devient un véritable enjeu.**

Comment diminuer ses rejets en eau, sa consommation d'eau, ses prélèvements en milieu naturel ? Comment réduire, recycler et réutiliser ses rejets aqueux ?

Face à l'urgence écologique, économique et au durcissement de la réglementation (notamment RSDE et diminution de 20% de la consommation industrielle d'eau imposée par les Arrêtés Préfectoraux), **GRS VALTECH a développé des solutions clés en main basées sur une expertise et une méthodologie visant à accompagner les industriels pour diminuer la quantité d'eau consommée.**

Accompagner les industriels à réduire leur quantité d'eau consommée

Après étude du schéma des flux des entreprises et diagnostic posé par nos experts, GRS VALTECH développe des réponses techniques (en termes de méthodologie et d'outils mis en oeuvre) pour traiter et régénérer les eaux pluviales et de process.

L'ingénierie process mise en oeuvre s'appuie sur des prestations maîtrisées et adaptables au cas par cas :

- Un diagnostic argumenté basé sur l'étude du schéma des flux des entreprises, l'étude des process de fabrication, les quantités d'eau nécessaires pour les process, etc., qui permet d'identifier les boucles de réutilisation les mieux adaptées au besoin de valorisation des eaux du site,
- Des études de faisabilité avant pilote,

- Des tests in situ et pilotes sur site (pilote membranaire nanofiltration, osmose et ultrafiltration, pilote sur résine, pilote de traitement biologique, etc.),
- La mise en place de solutions industrielles adaptées clés en main (filtration membranaire, sur résines, UV désinfection, osmose, oxydation, traitement biologique, etc.) parfaitement intégrées dans les process industriels.

La pertinence des solutions préconisées nécessite :

- Une parfaite connaissance de la réglementation
- Une parfaite connaissance des leviers financiers qui peuvent être actionnés
- Une expertise technique très pointue basée sur des compétences en études, ingénierie, conception, fabrication et exploitation des unités de traitement qui nous permettent de répondre aux enjeux au cas par cas avec une approche intégrée
- Des moyens techniques adaptés notamment en termes de pilotes

Etude de cas : présentation d'un REX

Présentation des préconisations et axes d'amélioration mises en oeuvre par GRS VALTECH pour le compte d'un industriel dans le Nord de la France pour répondre à l'objectif de diminution de 20% de la consommation d'eau imposé par la DREAL.

Stratégies de diagnostic de pollutions concentrées dans un contexte de sols pollués par des composés de type NAPL

Auteurs : Jean-Marie CÔME[1] Jean-Paul MOURIER[2]
Orateurs : Jean-Marie CÔME[1]
([1]BURGEAP / [2]CEBTP)

jm.come@groupeginger.com
BURGEA P
+33 (0)4 37 91 20 50
19, rue de la Villette, 69425 LYON CEDEX 03 – France
www.burgeap.fr

Mots clés
Pollution concentrée, pollution organique, NAPL, PID, OIP, MIP, carottage sous gaine, carottage cryogénique

Caractère innovant
Comparaison de différentes stratégies de diagnostic de pollutions concentrées dans un contexte de sites pollués par des hydrocarbures pétroliers et COHV. Parmi les stratégies présentées, certaines ont fait l'objet de travaux R&D récents (protocoles spécifiques pour des sols contenant potentiellement du NAPL mobile).

Objectifs
Présentation de différentes techniques de mesures in situ (PID, OIP, MIP) et différentes techniques d'échantillonnage et d'analyse (ciblées sur des sols contenant du NAPL). Les méthodologies et résultats seront présentés sous forme d'analyse coût/bénéfice en fonction de différents objectifs d'étude. La présentation s'appuiera sur les travaux menés dans le cadre de différents projets de recherche (MACAOH, SoSie, GEOCARE).

Résumé
Différentes stratégies de diagnostic de pollutions concentrées par des composés de type NAPL (LNAPL tels que par exemple des coupes pétrolières ou DNAPL tels que par exemple les chloroéthènes) ont été développées depuis une trentaine d'années, visant à répondre à trois principaux défis : forte hétérogénéité spatiale de répartition de la phase NAPL, caractère volatil et soluble de bon nombre des polluants, présence potentielle de NAPL mobile dans les échantillons de sols (en particulier des LNAPL dans la zone de battement de nappe).

Dans ce contexte, on peut distinguer une première famille de stratégies fondée sur des indicateurs indirects de la pollution, visant directement la phase NAPL (OIP, …), la phase gazeuse (PID, MIP, …) ou la phase dissoute (prélèvements d'eau multi-niveaux, …). La deuxième famille, qui vise à quantifier les concentrations en polluants, est fondée sur l'échantillonnage multi-niveaux de sols et des analyses en laboratoire, avec différentes techniques de sondages (notamment une technique innovante utilisant la cryogénie à l'azote), d'échantillonnage d'analyses. Ces différentes stratégies, mises en œuvre et comparées dans le cadre de travaux R&D, seront présentées et discutées.

Development and implementation of biochars to optimize biological treatment of petroleum hydrocarbons contaminated soils

In France, the most common pollutants encountered in soil contamination are petroleum hydrocarbons. Among the existing clean-up technologies to remediate such contaminations, bioremediation is known to be an effective process for removing organic pollutants from soils, but is also known to generally require a long treatment time.

The scope of the Carborem R&D project was to improve pollutants biodegradation rates through the use of biochar (plant charcoal obtained by pyrolysis of organic matter), whose contribution is intended to stimulate endogenous microorganisms.

Project innovation lies in the development of engineered biochar, specifically produced and optimized, which may be produced at industrial scale for implementation in soil clean-up bioprocesses. Various kind of biochar have therefore been produced by making changes in raw materials and in a couple of parameters of the pyrolysis process to be next tested in bioremediation conditions.

Respirometric monitoring was carried out under various conditions to assess the influence of the addition of biochar in polluted soils sampled at an actual petroleum hydrocarbons contaminated site. Lab scale tests show that this amendment results in an increase in oxygen consumption kinetics and in a significant decrease in various hydrocarbons fractions contained in soils. Finally, this study shows that the implementation of biochar in a bioremediation treatment process could double the biodegradation rates and reduce the treatment time by half.

Keywords: Contaminated land, Petroleum hydrocarbons, Biochars, Biopile, Bioremediation, Biostimulation, Biodegradation, Biodegradation kinetics

Coordonnées : TROQUET Julien, Managing Director
Biobasic Environnement
Biopôle Clermont-Limagne - 63360 Saint-Beauzire
jtroquet@biobasicenvironnement.com
09 72 29 08 71

Decision making based on soil quality and protection: chemistry, ecotoxicology and ecology as indicators of effects on soil function

Authors : Moraes R[a*], Florberger M[a], Nilsson K[a], Forsberg K[b], Persson H[b], Enell A[c], Branzén H[c], Vestin J[c], Viketoft M[d], Taylor A[d] (Golder Associates[a], Geological Survey of Sweden[b], Swedish Geotechnical Institute[c], Swedish University of Agricultural Sciences[d])

Presenter: Rosana Moraes (PhD) – Project Director at Golder Associates (+33 7 77 23 71 92, rosana_moraes@golder.com)

Key words: Ecological risk assessment, Indicators, Soil function

Technical summary

For nearly 30 years a former division of the Swedish Forest Agency operated a plant nursery in Kårehogen, Sweden, where different pesticides, including DDT, were used. Previous studies have shown that DDT concentrations in this soil is above the Swedish guideline value for sensitive land use (0.1 mg/kg). Such guideline value has been derived based on protection of the soil ecosystem.

The study included analysis of DDT in soil and earthworm tissue, measurements of effects on nutrient cycling, ecotoxicity tests with earthworms and springtails as well as invertebrate community analysis. The same investigations were conducted at the impacted site and at a nearby reference site, which has similar soil physical and chemical conditions and vegetation cover, but with no evidence of use or impact by DDT.

The weight of evidence approach using chemical, toxicological and ecological data suggested no significant effects of DDT on the overall soil functions at the Kårehogen site, despite concentrations above guideline value. This is a critical finding as excavation of large volumes of soil which do not pose significant risk is costly and possibly unjustified in terms of sustainable management of polluted sites.

The methodology used at Kårehogen can be applied to other former plant nurseries, currently administrated by the Geological Survey of Sweden. Authors will share lessons learned on the TRIAD, including the pros and cons of the method and criteria for selection of soil function indicators.

References

ISO 19204:2017. Soil quality - Procedure for site-specific ecological risk assessment of soil contamination (soil quality TRIAD approach)

Project Sponsor: Geological Survey of Sweden

FIRST COMPLETE REMEDIATION OF AN HCH PRODUCTION SITE IN THE THREE BORDER REGION F-CH-D

Amaury de Malglaive, Julien Bendler, Claude Muller, Andi Trüssel, Hans-Ulrich Knehr

Europa's largest remediation project of a production site with HCH-waste (Hexachlorocyclohexane) in Hüningen, situated in the three-border region of France-Switzerland-Germany was completed by the end of 2019. The first-time complete remediation of a site with HCH production residues of this dimension taking place under maximum emission safety and occupational safety conditions represented a major challenge and even required the customer to change the general contractor at the commencement of remediation.

Prior to commencing the soil remediation, the industrial wastewater treatment plant of Basler Chemie located on the site had to be dismantled and the infrastructure facilities (halls, air locks, loading facilities, etc.) installed. The site was only partially roofed over with halls when remediation began.

The project had to be suspended in 2013 as it was impossible to comply with the required maximum immission values for HCH (partly in the nanogram range), and unacceptable harmful substances were detected at the site. After a validation phase, the consortium Marti/Züblin was commissioned with the revision of the planning, conversion and new construction of the infrastructure and subsequent remediation.

The existing halls covering 20.000 m² that could not be dismantled were sealed. Additional halls covering an area of 25.000 m^2 including one sliding hall were built. The complete loading and air lock infrastructure was re-installed. To ensure adequate pressurization in the entire hall system, two new waste air purification plants with a total of 175.000 m³/h were installed. Rainwater from the roof and paved areas, groundwater from the hydraulic barrier, lock water and water of the installed soil washing process were purified in a central plant. 800.000 t of soil were excavated, partially washed and refilled and 700.000 t treated in thermal plants throughout Europe. Depending on the HCH concentration in the soil, transport took place either by ship or in sealed containers or drums (HCH pure form). The loading ramp to the ship was encapsulated, specific air locks for the containers and the drums were in operation.

All employees operating the construction equipment and employees working in the contaminated area participated in a biomonitoring course. Due to the location in the three-border region, extensive environmental monitoring was implemented in the immediate vicinity and surrounding area of the remediation site.

Züblin Umwelttechnik GmbH
Agence de Strasbourg
6 rue Gutenberg
F-67725 Hoerdt cedex
Tel. +33 38868-7991

UNE PREMIERE EN EUROPE : REHABILITATION COMPLETE D'UN SITE DE PRODUCTION DE LINDANE - SECTEUR DES 3 PAYS (FR-CH-ALL)

Amaury de Malglaive, Julien Bendler, Claude Muller, Andi Trüssel, Hans-Ulrich Knehr

La plus grande réhabilitation d'un site pollué de production de lindane HCH (hexachlorocyclohexane) en Europe vient de se terminer fin 2019 à Huningue à la frontière des 3 pays France-Suisse-Allemagne. L'assainissement complet d'un site contaminé au HCH, pour la première fois de cette ampleur, requérant des mesures de protection du personnel et de maîtrise des émissions les plus élevées, représentait un défi tout particulier, qui a même nécessité le remplacement de l'entreprise titulaire du marché par le maître d'ouvrage au début de l'assainissement. Avant d'entamer la réhabilitation des sols, l'ancienne station d'épuration industrielle de la chimie bâloise a dû être déconstruite et les infrastructures (halles, sas, rampe de chargement) créées. Le terrain n'était au démarrage des travaux couvert qu'en partie par des halles.

En 2013, le projet avait dû être arrêté car d'une part les valeurs limites d'émissions de HCH exigées, certaines de l'ordre du nanogramme, n'étaient pas tenues et d'autre part des matériaux pollués ont été transférés hors du site sans autorisation. Après une phase de validation, le groupement Marti/Züblin a été chargé de revoir la planification, de réaliser la rénovation et la construction de nouvelles infrastructures et enfin de conduire la réhabilitation.

Une surface de 20 000m² de tentes existantes non démontables a été réétanchéifiée. 25 000m² de tentes dont une halle mobile ont été installés en complément. Les infrastructures de chargement et les sas d'accès aux tentes ont été complètement remplacés. Deux nouvelles installations de traitement d'air des tentes d'une capacité totale de 175 000 m³/h ont permis de maintenir en dépression tout l'espace intérieur des tentes. Les eaux de ruissellement de toitures et des surfaces imperméabilisées, les eaux souterraines de la barrière hydraulique, les eaux de nettoyage des sas et de lavage des terres ont été traitées dans une installation centralisée. 800 000 tonnes de sols ont été excavées, en partie lavées et réemployées sur site et 700 000 tonnes ont été traitées dans des installations de traitement thermique dans toute l'Europe. Le transport s'est effectué suivant la concentration en HCH des sols par péniche, par container étanche ou en fûts (produit pur). Une rampe de chargement des bateaux encapsulée, des sas spécifiques pour les containers et pour les fûts ont été déployés. Le personnel de chantier (conducteurs d'engins et manœuvres) a participé à un programme de biomonitoring sur toute la durée du chantier. En raison de sa localisation à la convergence de 3 frontières nationales, il a été mis en place un vaste suivi environnemental au droit du site et dans le périmètre éloigné du site.

Züblin Umwelttechnik GmbH
Agence de Strasbourg
6 rue Gutenberg
F-67725 Hoerdt cedex
Tel. +33 38868-7991

Innovative reagents for *in-situ* treatment of chlorinated organics - utilizing injectable biogeochemical, biological, chemical reduction, and adsorption mechanisms

Réactifs innovants pour le traitement in situ des composés organiques chlorés - utilisant des mécanismes injectables de réduction biogéochimique, biologique, chimique et d'adsorption

---

Mike Mueller
Business Development Manager, EMEA
Active Oxygens / Soil & Groundwater Remediation

PeroxyChem Tirol, Austria
P +43 (0)5238.53262 **| M** +43 (0)664.180.3060 **| E** michael.mueller@evonik.com
www.peroxychem.com www.evonik.com

Part 1.

Background/Objectives: For over two decades, biological (enhanced reductive dechlorination; ERD) and abiotic (*in situ* chemical reduction; ISCR) reductive processes have been applied to degrade chlorinated volatile organic compounds (CVOCs). Recently, BioGeoChemical Reduction (BGCR); a process which combines biological and chemical processes, has been combined with ERD and ISCR to provide an additional mechanism to more aggressively degrade CVOCs *in situ*. The BGCR process enhances ERD and ISCR by contemporaneously generating reactive minerals *in situ*. These minerals have been demonstrated to abiotically degrade CVOCs via the β-elimination pathway. This pathway extends treatment longevity and minimizes the generation of toxic degradation products, thereby reducing the clean-up time. During ERD and ISCR, highly reducing conditions are generated which are favorable to the production of BGCR enhancing iron sulfide minerals such as mackinawite (FeS), and pyrite (FeS2). BGCR enhancement is achieved by the inclusion of iron and sulfur sources with the ERD and ISCR reagents. A field study was conducted to evaluate the effectiveness of inclusion of iron sulfide BGCR to enhance ERD and ISCR for treatment of CVOCs.

Approach/Activities: At a site in California, USA soil and groundwater had been affected by a discharge of high concentrations of chlorinated ethenes (CEs), primarily trichloroethene (TCE). Site conditions were determined to be appropriate for ERD and ISCR. The consulting firm ERM evaluated the potential for BGCR to enhance ERD, and ISCR to aggressively treat CVOCs at the site. Bench tests and two pilot tests were conducted in the high concentration portion of the plume to evaluate the effectiveness of i) BGCR enhanced ERD and, ii) BGCR enhanced ISCR. These studies were conducted by injection of a BGCR enhanced ERD reagent (GeoForm® Soluble), and a BGCR enhanced ISCR reagent (GeoForm® Extended Release; GeoForm ER) at two locations in the affected aquifer. GeoForm ER was injected as a slurry and was intended to evaluate its applicability for establishment of a permeable reactive barrier (PRB). GeoForm Soluble was injected as a completely soluble reagent for extended distribution through standard injection wells. For these tests, both reagents were delivered to the subsurface by high pressure direct push technologies. GeoForm ER was also applied by high pressure injection at a nearby site with similar hydrogeologic and geochemical conditions, however with a mixture of contaminants including chlorinated-ethenes, -ethane and -methanes.

Results/Lessons Learned: The bench tests demonstrated that BGCR enhanced ISCR reagents are very effective for treatment of high concentrations of CEs and mixed CVOCs in groundwater. The biological utilization of the organic substrates in these reagents results in the rapid establishment of highly (sulfate) reducing conditions. The establishment of sulfate reducing conditions results in the rapid generation of reactive iron sulfides which precipitate on the aquifer matrix. The combination of ERD and ISCR with BGCR provides a more aggressive approach for *in situ* treatment of a mixture of CVOCs. The U.S. EPA defines biogeochemical degradation as: "Processes where contaminants are degraded by abiotic reactions with naturally occurring and biogenically-formed minerals in the subsurface". Biogenically formed reactive minerals are commonly produced at sites where naturally occurring sulfate (SO4) and ferric iron (Fe3+) are reduced to ferrous iron (Fe2+) and sulfide (S-). These conditions are often found in coastal environments and in high sulfate aquifers. The Fe2+ and S- rapidly combine to form commonly observed iron sulfide minerals, such as mackinawite (FeS) and pyrite (FeS2), including other high-surface area iron sulfide minerals. This natural reaction occurs readily at sites where adequate organic carbon is present to reduce sulfate to sulfide. These reactions also occur at sites being treated with biologically mediated enhanced reductive dechlorination (ERD) and *in situ* chemical reduction (ISCR), as highly reducing conditions necessary to degrade chlorinated organics are established. These biogenically-formed iron-sulfide minerals, have been demonstrated to degrade chlorinated organics via the β-elimination pathway. This is a preferred degradation pathway because it minimizes the potential for generation of toxic daughter products, such as Dichloroethylene (DCE) and vinyl chloride (VC). In addition, such iron-sulfide minerals are effective for sequestration of heavy metals, such as arsenic, and to conversion of chromium from the soluble, toxic hexavalent form (Cr6+) to the non-toxic, insoluble trivalent form (Cr3+). GeoForm BioGeoChemical Reduction reagents, including GeoForm Extended Release (GeoForm ER) and GeoForm Soluble, are engineered to deliver the building blocks to address dissolved metals and chlorinated solvents in aquifers via multiple reductive reactions. These reactions include, ERD, ISCR, sulfide enhanced chemical reduction (SECR) and BGCR. GeoForm Soluble provides an emulsified electron donor, pH buffer, and nutrients to promote sulfate reduction and mechanisms for dehalogenation via ERD. It also provides a source of sulfate and ferrous iron to generate reactive minerals for degradation by BGCR. Similarly, GeoForm ER supplies a source of long-lasting solid electron donors and nutrients to promote ERD and sulfate reduction, as well as sulfate and ferrous iron to promote BGCR. Additionally, GeoForm ER supplies microscale zero valent iron (ZVI) to enhance ISCR. The component ratios for these products have been optimized to maximize the formation of reactive iron sulfide minerals that provide an expanded surface area for abiotic degradation pathways, whilst also maintaining pH in the near-neutral range. In addition, the amount of electron donor can be adjusted based on site specific geochemistry. GeoForm can be used for the treatment of groundwater and saturated soil impacted by persistent halogenated compounds and will also immobilize many heavy metals.

Performance. A key attribute of GeoForm reagents is the creation of an expanded treatment zone for abiotic dehalogenation. It is well-recognized that abiotic reduction and precipitation reactions promoted by ZVI are limited to the ZVI particle surface interface; however, the reductive minerals zone created by GeoForm will extend a significant distance downgradient from the placement zone. GeoForm releases dissolved iron and sulfate which will diffuse into the surrounding soil matrix and transport with groundwater flow. Once reducing conditions have been established, sulfate reducing bacteria will reduce the sulfate to sulfide, which will co-precipitate with supplied and naturally present ferrous iron and "coat the soil" with reactive iron sulfide minerals. This increases the surface area for abiotic degradation beyond the area of application, and solves an important limitation of traditional ISCR reagents. Furthermore, the iron sulfide zone may be continuously replenished from low levels of organic carbon or hydrogen, thereby acting as an electron shuttle for continued abiotic reduction. The main

reaction pathway is via beta-elimination, limiting the generation of intermediate contaminants. GeoForm ER contains ZVI, and is typically mixed and injected as a slurry using direct push injection, although it can also be emplaced by soil mixing technologies or trenching systems. GeoForm ER is generally used to treat high concentration source areas for rapid contaminant mass removal, or to form a long-lasting PRB to prevent contaminant migration. The BGCR component of GeoForm ER allows it to extend the width of a typical PRB by generating an additional downgradient reactive zone comprised of reactive iron sulfides. This increases contaminant residence time in the treatment zone and thereby enhances contaminant removal. Because the iron sulfide products are initially soluble, they can migrate into pore spaces not accessible to ZVI. The long-lasting organic substrate, ZVI, and reactive iron sulfide provide ongoing treatment for potential matrix diffusion of contaminants that could potentially recontaminate remediated aquifers. GeoForm Soluble is mixed as a liquid emulsion and can be introduced to the targeted aquifer through well-screens or direct push rods. Since GeoForm Soluble does not contain solid substrates, it can be more widely distributed in aquifers by various injection methods and further distributed by advective transport processes. This product is typically intended to be applied for plume treatment; however, it can also be used for treatment of high concentration source areas and for treatment zones where recontamination by matrix diffusion is a concern.

GeoForm Soluble:

- GeoForm Soluble Mix is a proprietary blend of sulfate and ferrous iron that when combined with ELS® organic carbon products generate reactive minerals *in situ*
- Remains fully in solution during mixing and injection
- Ideal for plume and hot-spot treatment
- Longevity of 2-3 years
- Application via injection wells, infiltration networks or direct push

GeoForm Extended Release:

- Formulated with a long-lasting source of hydrogen donor and zero valent iron (ZVI) for continued rejuvenation of iron sulfide minerals
- Ideal for Permeable Reactive Barrier (PRB) and source area treatment
- Longevity of 5-10 years
- Application via direct push, hydraulic or pneumatic fracturing or soil mixing

---

Part 2.
Application in Italy of EHC® Plus Technology: Rapid contaminant reduction and accelerated bioremediation using an injectable reagent containing activated carbon

Background/Objective. Historical sewage sludge storage operations at a facility located near Milan, Italy resulted in residual groundwater impacted with Tetrachloroethylene (PCE) in a shallow aquifer. The high site groundwater flow velocity (estimated at ~165 m/year) resulted in a PCE plume extending more than 100 m downgradient; with the highest concentrations of PCE (approximately 100 µg/L) located in the

source area. To limit further contaminant migration, a Permeable Reactive Barrier (PRB) was installed across the plume width to passively treat PCE. The PRB was constructed by injecting EHC® Plus slurry through a double line of fixed injection points to achieve a rapid decrease of dissolved phase contaminant concentrations and reduce mass flux.

Approach/Activities. As a first phase application, 6.000 kgs of EHC Plus were injected into a PRB pilot zone measuring 12 m long x 6 m wide x 13 m thick. The PRB was installed along the downstream site boundary and extended across the plume width to limit further contaminant migration. The PRB effectiveness was measured at two compliance wells located 3 m and 13 m downgradient from the injections. Monitoring was performed on a bi-monthly basis and included CVOCs and geochemical parameters. Total Organic Carbon (TOC) was monitored as a reagent indicator, whilst ORP, dissolved oxygen, nitrate and sulfate are also monitored to assess redox conditions in the downgradient zone.

Results/Lessons Learned. PCE removal rates peaked 6 months after reagent application at >99 percent. Requisite remedial target values were reached in all main monitoring piezometers clearly demonstrating enhanced biotic and abiotic reducing conditions. These removal rates were stable one year after installation, further confirming treatment performance. During this initial phase, redox conditions also reached their lowest point, concurrent with significant reductions in inflowing nitrate and sulfate. After TOC levels returned closer to background, sulfate levels also moved closer to inflowing concentrations whilst ORP remained significantly below background levels. However, geochemical data suggest that ZVI alone is not supporting significant sulfate reduction. The probable explanation for the long PRB reactive life was the formation of an iron sulfide mineral based reactive zone created downgradient of the PRB during the initial sulfate reduction phase, and since, acting as an electron reservoir. This zone may also be continuously rejuvenated by low levels of TOC in inflowing groundwater (~1 mg/L) and from the hydrogen produced from ongoing ZVI corrosion. The solid AC remained in the Injection Zone and did not migrate with groundwater flow, thus cutting off the contaminant plume and helping achieve these low remedial goals.

INTERSOL 2020

Case Studies in Normandy and Central France of DNBA for Groundwater Remediation : Polar & chlorinated solvents (TCE, PCE, DCE, VC, BTEX, etc.) & best Cost-effectiveness (Dynamized Natural Bio-Attenuation)

Etudes de cas en Normandie et Centre de la France de l'application de la BAND pour la dépollution des eaux souterraines : Solvants polaires & chlorés (TCE, PCE, DCE, VC, BTEX, etc.) et meilleurs coûts-avantages.
(BAND : Bio-Atténuation Naturelle Dynamisée)

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

Introduction:

The goal of a DNBA Application is to determine the most smart and cost-effective treatment technology for Groundwater Remediation. The first stage is to conduct a DNBA Feasibility Study via series of tests, which are used for the identification of the physico-chemical and microbiological context of the contaminated site.

The Feasibility Tests can also be used to clarify which technique can be applied to the existing pollutants at the site such as:

A - Monitored Natural Bio-Attenuation (MNBA)
B - Dynamized Natural Bio-Attenuation (DNBA)
C - Combination of MNBA & DNBA.
D - Combined techniques of chemical (for example, zero-valent iron) in situ dehalogenation and microbiological in-situ treatment.

The tests to be performed based on biochemical genetic DNA testing (such as PCR = Polymerase Chain Reaction) and the ecotoxicology, microbiological, biogeochemical and Isoptope Fractioning Techniques. The results of these tests enables to identify areas of which further dynamization of microbiological degradation (by the addition of e.g. nutrients, electro-acceptors, setting of the optimum redox potential and microbial consortium etc.) are possible (DNBA). Furthermore and beneficially areas might be captured that require only an observation (monitoring) of microbial degradation (MNBA: Monitored natural Bio-Attenuation).

Another objective of the Feasibility Study (M/DNBA) is the examination whether the current mass reduction of pollutants is sufficient by the biological processes of natural bioreactor in the aquifer or if it should be influenced positively for stimulation or "dynamization" by the addition of electron acceptors or nutrients etc. to influence positively and to prevent an unacceptable spread of contamination and to ensure more retrograde (or pollutant-degrading) conditions.

1.1 Methodology of DNBA Feasibility Study

The necessary steps to the DNBA feasibility study can be listed (simplified) as follows:

NBA-Investigations:

- Studies of pollutants: chlorinated aliphatic hydrocarbons, metabolites etc.,
- Organic geochemical parameters (electron acceptors, etc.),
- PCR (Polymerase Chain Reaction): Microbiological genetic pollutant-degrading capacity,
- Isotope Fractionation,
- Microbiological Ecotoxicity,
- Determination of degradation rates, physico-chemical and microbiological degradation-zones of the natural bioreactor.

DNBA-Investigations:

- Mineralization and Respiration tests (ability of dynamic the NBA),
- Challenge tests (maximum Bio-acceptance),
- Nutriment Testing (ONE®, BIOCLEAN®, KB1®, HRC®, micro-Fe^0, oxygenation at the end of the plume: Bio-sparging, iSOC® etc.),
- Determination of potential zones for dynamization and achievable degradation rates,
- Comparative feasibility study (techniques and cost/benefit) and transport modeling to compare the MNBA, DNBA and Pump &Treat etc.

The following table provides a general overview of the **investigation steps:**

Steps	Investigation
1	**Accurate investigation of pollutant extension (including toxic degradation products):** A basic requirement for any MNBA or DNBA application is the complete investigation of pollutant dispersion, especially in the groundwater down gradient of the contaminated site. Due to the sampling and analysis of groundwater samples and/or the use of passive samplers (PS) and Redox Milieu Detectors (RMD) also depth-orientated results (3D viewing) can be obtained. Iso-concentration-maps should be prepared.
2	**Determination of current degradation conditions NBA (Natural Bio-Attenuation):** Determination of natural microbiological degradation milieus (aerobic or anaerobic) and the current use of specific electron acceptors by examining bio-geo-chemical parameters.
3	**Evidence of microbiological degradation** and determination of microbiological degradation milieus: • overlay of mapped pollutant zones and electron-acceptor-depletion as (iso-concentration maps of groundwater), • Evidence of relevant pollutant-degrading microorganisms, like *Dehalococcoides ethenogenes* by DNA genetic testing via PCR (Polymerase Chain Reaction) including VC; mapping the results, • Shrinkage of ^{12}C- and ^{35}Cl-isotopes at the contaminant mass of the effluent (down gradiant): ^{13}C and ^{37}Cl-accumulation on the GC-IRMS measurements (isotope fractionation of the $^{12}C/^{13}C$ and $^{35}Cl/^{37}Cl$ ratios), • Evidence and detection of microbiological metabolites; mapping of iso-concentrations.
4	**Determination of the current "in-situ" – degradation rates through Isotope fractionation**; mapping of the current in-situ-iso-degradation rates in µg/l/day

Steps	Investigation
5	**Determination of *current microbiological degradation zones* with problematical and non-problematical microbiological eco-toxicities.** Indirect detection of disruptive factors (toxic metabolites, heavy metals etc.); mapping of microbiological iso-ecotoxicities.
6	**Determination of influence parameters on *the microbiological eco-toxicity*:** Identification of inhibitors, e.g. heavy metals; mapping of identified inhibition-parameters.
7	**Determine the *overall usable microbiological activity*** (aerobic + anaerobic) by **respiration tests** and iso-mapping of the determined pressure reductions.
8	**Determining the *achievable rates of degradation*** (aerobic + anaerobic) by **mineralisation tests** and iso-mapping of the achievable pollutant degradation rates.
9	**Determining the *maximum degradable pollutant* concentrations by challenge tests** and iso-mapping the maximum degradable pollutant concentrations: Designation of possible zones which can't be treated by either MNBA and DNBA (e.g. in presence of high-concentrated pollutant substance in (liquid) phase).
10	**Recommendations for the use of MNBA and/or DNBA and definition of the principal conditions of use and costs.**

1.2 Investigation Program M/DNBA-study

Investigation of pollutants extent (including toxic metabolites) and identification of actual Degradation Rates for potential MNBA application (Monitored Natural Attenuation): Inspection and analysis of existing documentation and investigation results. It is assumed that the pollution and the contaminant plume are fully delineated and iso-concentrations-maps (contaminant distribution plans) available to the individual pollutants. If not, appropriate monitoring and evaluation campaigns are to be performed.

If bio-geochemical parameters weren't investigated, an appropriate **sampling campaign** must be carried out. Beside the measurement of **bio-geochemical onsite-parameters for determining the microbiological degradation milieus** (oxygen, pH, temperature, electric. conductivity and redox potential) and the following parameters should be analyzed additionally: **sulfate, sulfite, nitrate, nitrite, phosphate, hydrogen carbonate, ammonium, dissolved iron, carbon dioxide, COD, DOC, TOC, manganese and methane** also in future monitoring campaigns**.**

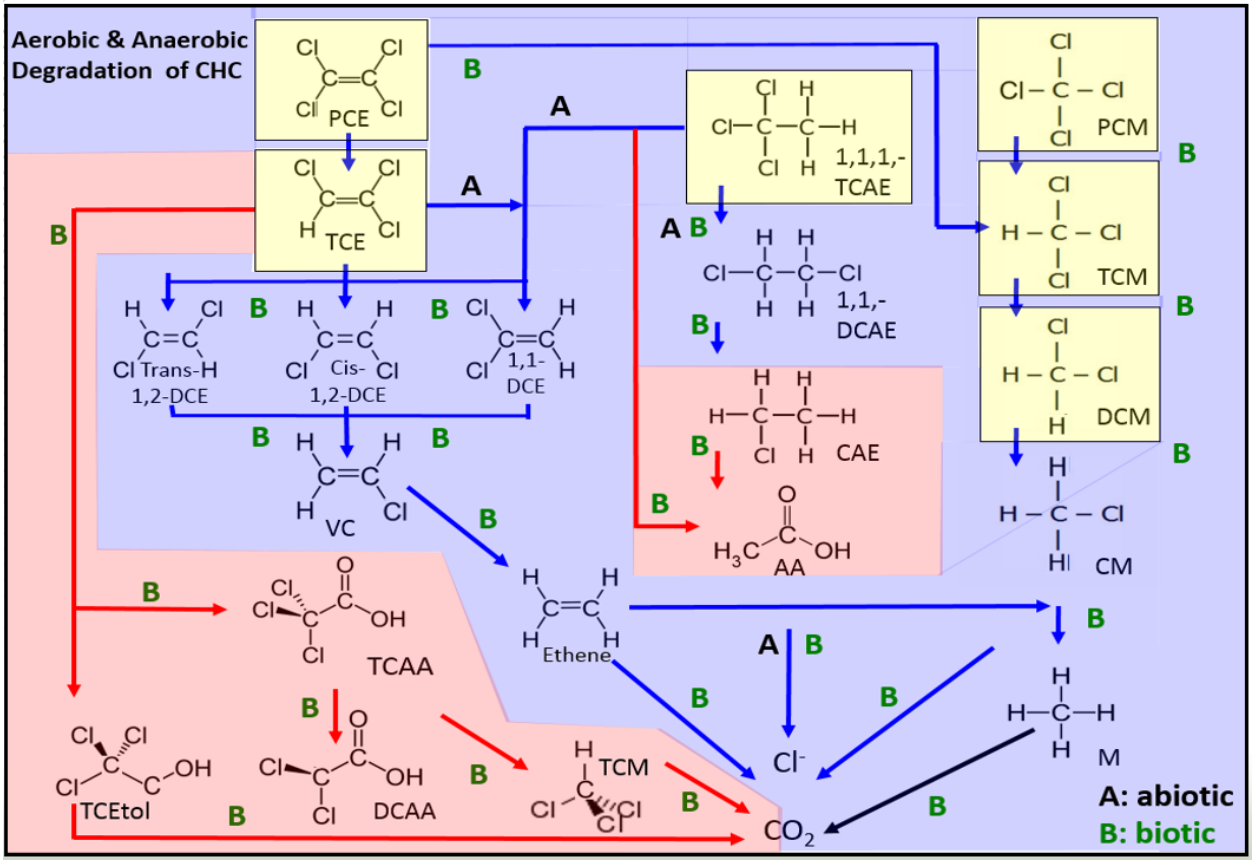


Fig. 1: Biotic and abiotic degradation of chlorinated solvents. In case of the degradation of tetrachloroethene (PCE) and trichloroethene (TCE) the microbiological degradation of contaminants works by means of the toxic metabolite cis-1,2-dichloroethene (cis-DCE) and vinyl chloride (VC) only in the anaerobic environment. In case of anaerobic environment TCE can be slowly degraded to CO_2 using the toxic trichloroacid-acid (TCAA). Often the natural bioreactor without optimizing (dynamized) interventions is not able to reduce all toxic metabolites (e.g. VC to ethene and CO_2) because necessary bacteria such as Dehalococcoides ethenogenes are not everywhere available.

Figure 2a and b shows the relationship of pollutant presence in groundwater and formation of a bioreactor with the use of electron-acceptors (in the reference case; microbiological nitrate reduction for pollutant degradation).

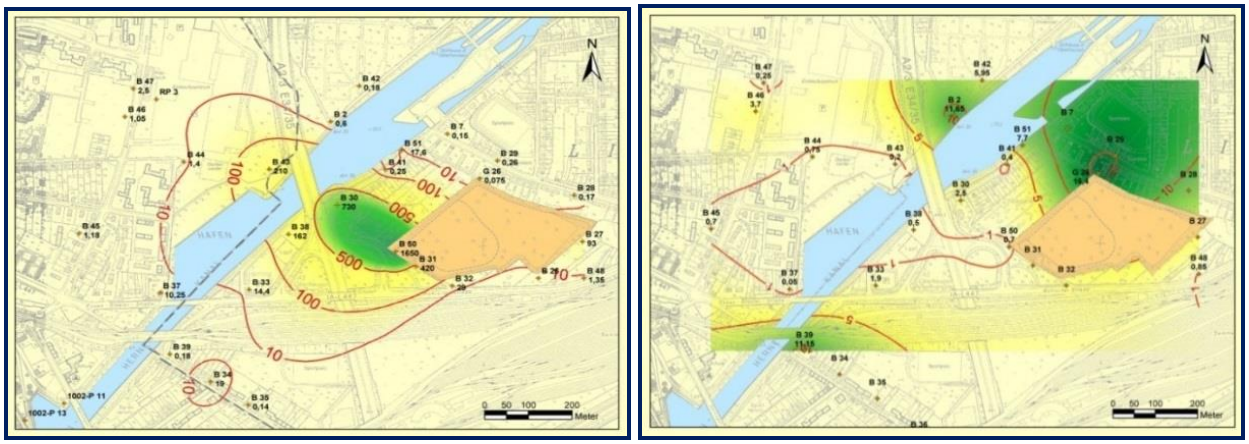


Figure 2a + b: DNBA studies in Oberhausen /Germany (2a (left): Benzene in groundwater, 2b (right): microbiological nitrate respiration for pollutant degradation.

Fig. 16: Microbiological degradation of TCE and PCE in the redox range of Eh: -150 to -300 mV; area of (microbiological) iron and sulfate-reducing and methanogenic conditions.

Reaction	Reaction equation of the TCE-degradation and use of Electron-Acceptors	Eh Range in [mV]
Oxygen consumption	$C_2HCl_3 + O_2 \rightarrow C_2Cl_3O_2H \rightarrow$ $C_2Cl_3O_2H + O_2 + 2\ H^+ \rightarrow 2\ CO_2 + 3\ H^+ + 3\ Cl^-$	> 820 → 700
Nitrate reduction	$3\ C_2HCl_3 + 2\ NO_3^- \rightarrow 3\ C_2Cl_3O_2H + N_2 \rightarrow$ $3\ C_2Cl_3O_2H + 2\ NO_3^- + 6\ H^+ \rightarrow 6\ CO_2 + N_2 + 9\ H^+ + 9\ Cl^-$	< 740 → 500
Nitrate reduction	$3\ C_2HCl_3 + 2\ NO_3^- + 6\ H^+ \rightarrow 3\ C_2Cl_3O_2H + 2\ NH_3^+ \rightarrow$ $3\ C_2Cl_3O_2H + 2\ NO_3^- + 6\ H^+ \rightarrow 6\ CO_2 + 2\ NH_3^+ + 9\ H^+ + 9\ Cl^-$	< 600 → 520
Manganese redaction	$3\ C_2HCl_3 + 3\ MnO_2 \rightarrow 3\ C_2Cl_3O_2H + 3\ Mn^{2+} \rightarrow$ $3\ C_2Cl_3O_2H + 3\ MnO_2 + 6\ H^+ \rightarrow 6\ CO_2 + 3\ Mn^{2+} + 9\ H^+ + 9\ Cl^-$	< 520 → -50
Iron reduction	$3\ C_2HCl_3 + 3\ Fe^3O(OH) \rightarrow 3\ C_2Cl_3O_2H + 3\ Fe^{2+} \rightarrow$ $3\ C_2Cl_3O_2H + 3\ Fe^3O(OH) + 6\ H^+ \rightarrow 6\ CO_2 + 3\ Fe^{2+} + 9\ H^+ + 9\ Cl^-$	< -50 → -200
Sulfate reduction	$2\ C_2HCl_3 + SO_4^{2-} + 10\ H^+ \rightarrow C_2H_4 + 2\ CO_2 + H_2S + 6\ H^+ + 6\ Cl^-$	< -75→ -220
Methanogese	$2\ C_2HCl_3 + 4\ H_2O + 4\ H^+ \rightarrow 2\ CH_4 + 2\ CO_2 + 6\ H^+ + 6\ Cl^-$	< -220→ -500

Fig. 3: Aerobic and anaerobic degradation reactions of TCE reduction of various electron acceptors. The faster degradation under anaerobic sulfate-reducing and methanogenic microorganisms and conditions (less than -200 mV) are outweighing.

Determination of microbiological ecotoxicities to identify disruptive factors to the current microbiological degradation and to identify zones with DNBA measures required. These investigations are carried out with luminous bacteria at groundwater samples. Increases the microbiological ecotoxicity, the microbiological luminosity decreases. This ecotoxicity can also be calibrated to determine existing EC values, (e.g. EC50 means ecotoxic concentration by which the biological activity is reduced by 50%).

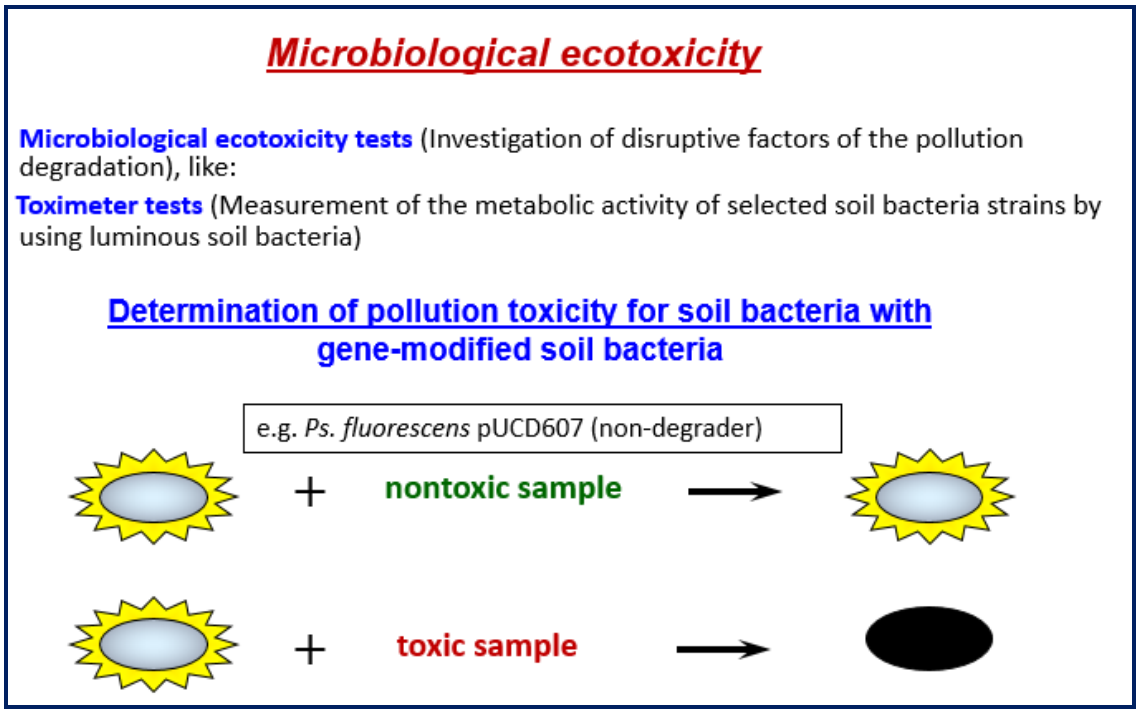


Fig. 4: Implementation of measurements for microbiological ecotoxicities in groundwater by luminescent bacteria (soil bacterium Pseudomonas-tribe).

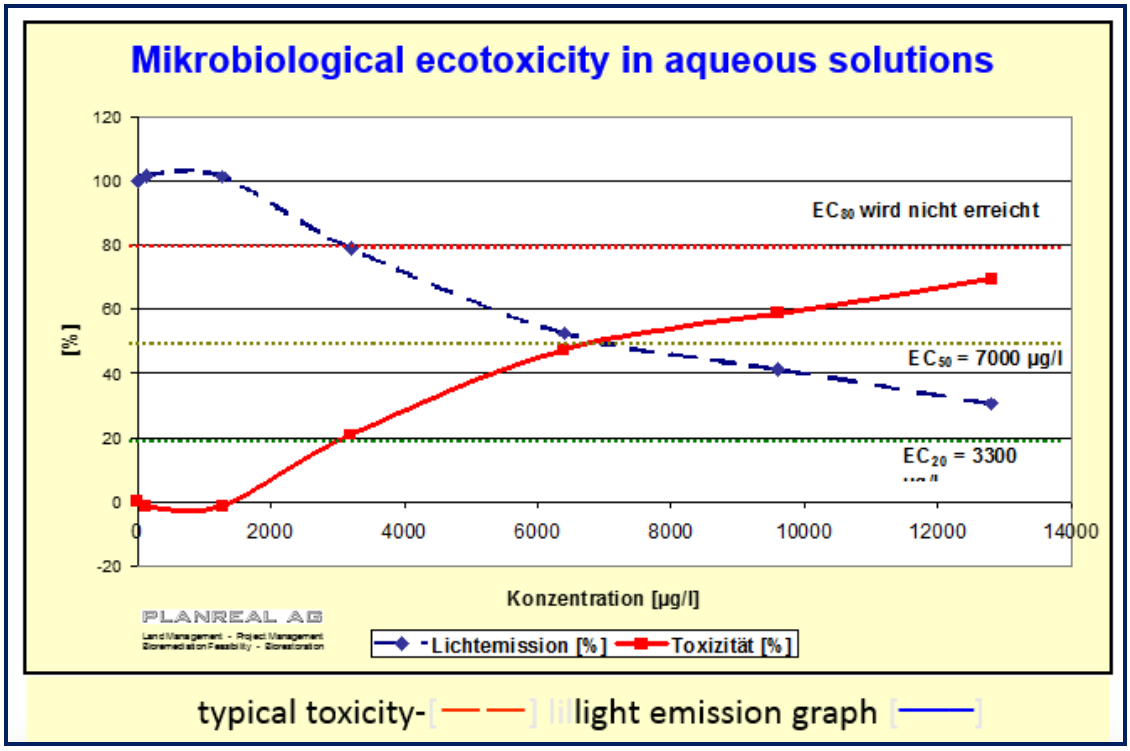


Fig. 5: Implementation of calibrations for measurements of microbiological ecotoxicities in groundwater by luminescent bacteria (soil bacterium Pseudomonas-tribe).

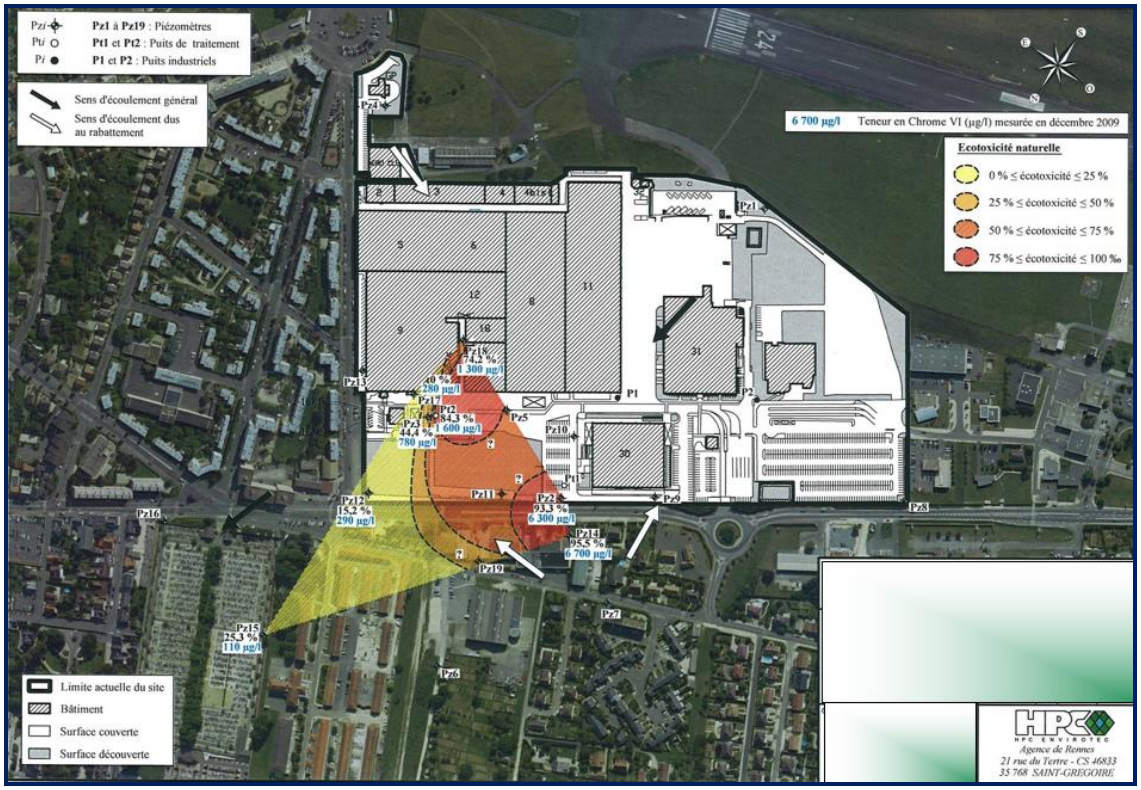


Fig. 6: Mapping of microbiological iso-ecotoxicities and determination of two fault zones of microbiological TCE & PCE degradation (by Cr^{6+} on location "B", confidential site).

Evidence of microbiological degradation: Extraction of local PCE, TCE and VC-degrading microorganisms from at least 5 existing groundwater monitoring wells using

the FROG[1] method. 85 % to 100% of the microorganisms present on the site will be-rehearsed, so even the in the laboratory non-culturable soil microorganisms (> 85% which represent the majority). With the obtained biomass and extracted groundwater samples DNA-sequence analyzes are performed. DNA sequence analyzes contain genetic testing by **Polymerase Chain Reaction (PCR)**.

These are used to quantify the genetic depletion potential (by enzyme formation for contaminant degradation) of the micro-organisms at the site and for the selection of optimal location-based micro-organisms.

The quantification of specific DNA sequences at the site of resident micro-organisms indicates the capacity and can be produced with the pollutant-degrading enzymes. By this method, the genetic microbiological potential of a site can be determined, which is specific for the degradation of pollutants.

With PCR marker with known bases-sequencing used as reference. For **identification of the bacteria that are involved in the biodegradation** process, it is necessary to sequence the PCR derived DNA segments, means the determination of the sequence of base pairs. These data allow by using databases to determine the associated micro-organisms. As a result of the database search those micro-or-organisms are issued, which have the highest homology to the analyzed DNA sequence. In a sequence homology ≥ 98% often the genus and species of the analyzed sample can be clearly inferred.

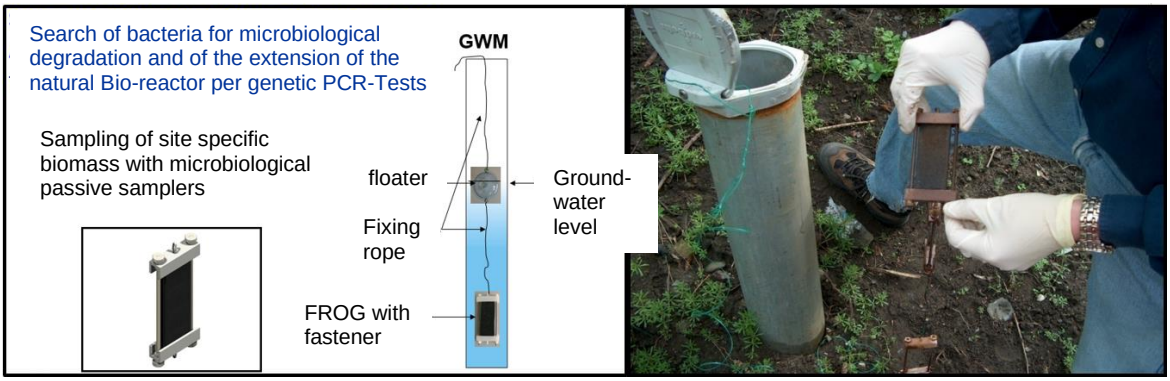


Fig. 7: Sampling of bacteria consortia of groundwater with microbiological passive samplers (Frogs) by installing it in a groundwater piezometer (GWM) for PCR testing.

This method helps to determine whether anywhere on the site all the necessary bacteria are present or by using a DNBA necessary bacteria consortia should be collected, probably completed and selected and as complete consortia (as a kind of "natural vaccination") be supplied into the aquifer/groundwater.

[1] FROG = Filter for the Recovery of Organisims from Groundwater (special passive sampler for extraction of local microorganisms)

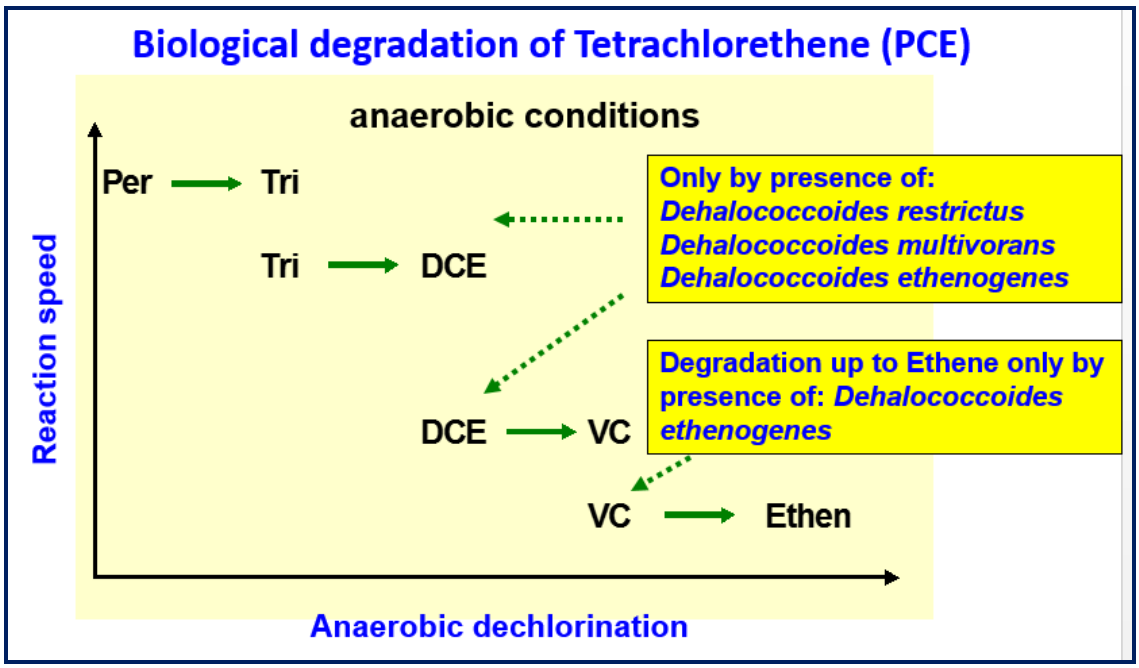


Fig. 8: Anaerobic degradation of tetrachloroethene (PCE) and trichloroethene (TCE). The degradation of toxic vinyl chloride (VC) occurs only in the presence of the bacterium Dehalococcoides ethenogenes (which already exists or should be entered).

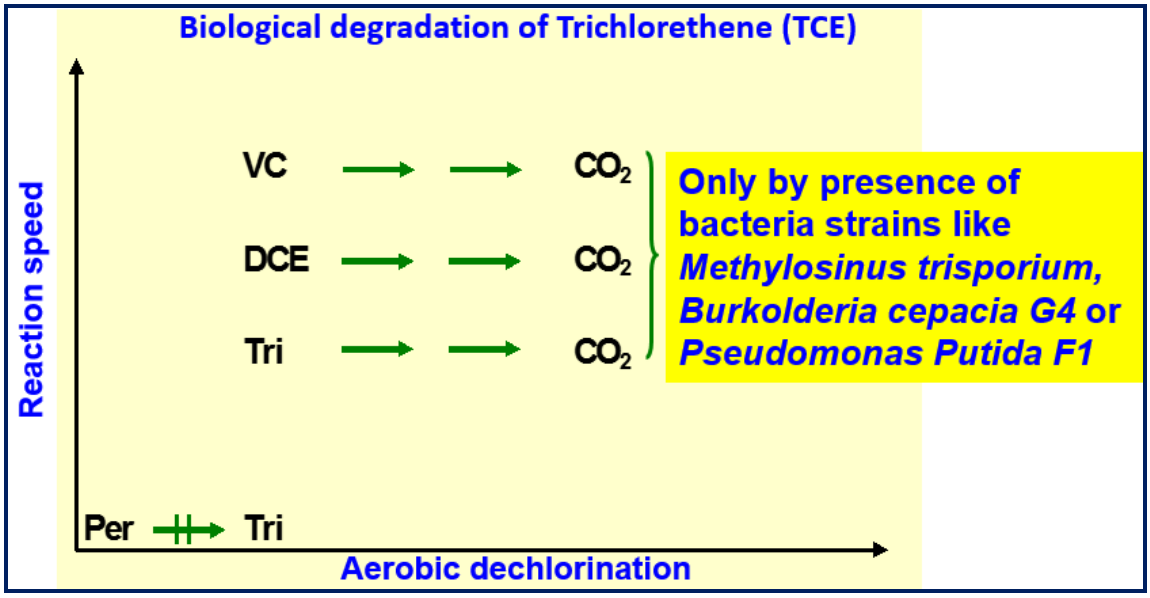


Fig. 9: Aerobic degradation of trichloroethene (TCE). This degradation can lead to the formation of toxic trichloroacetic acid (TCAA).

A further investigation methodology for the detection of microbiological degradation and to identify degradation rates is the **isotope fractionation**. At the isotope fractionation, GC-IRMS (gas chromatography-isotope ratio mass spectrometry) is used. By means of microbiological degradation of chlorinated hydrocarbons pollutants preferably molecules containing only ^{12}C- and ^{35}Cl-isotopes are degradated, since the bonds with ^{13}C- and ^{37}C-isotopes are more stable. By determining ^{13}C- and ^{37}C-enrichments the microbiological degradation can be detected and microbiological degradation rates (µg/l/day) can be quantified.

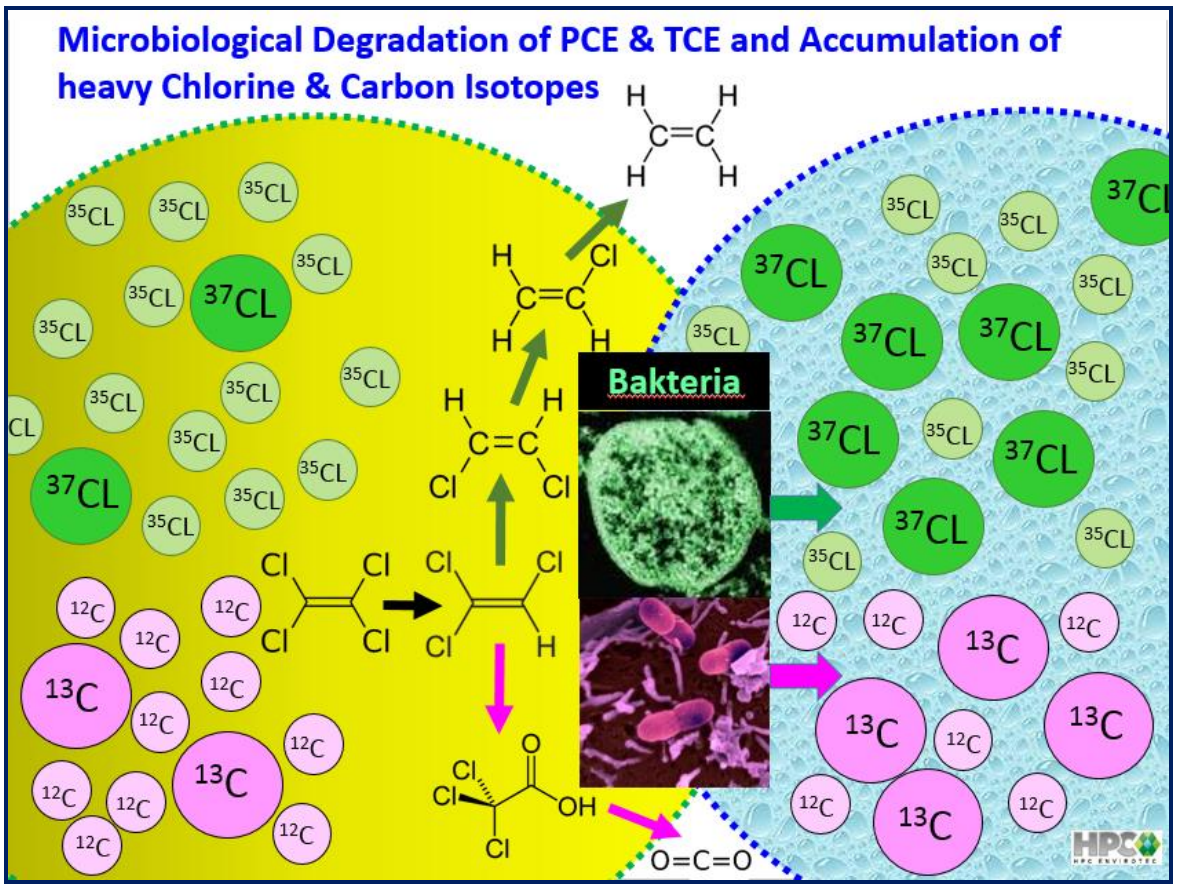


Fig 10: Microbiological degradation of PCE and TCE and trapping of heavy carbon- and chlorine-isotopes

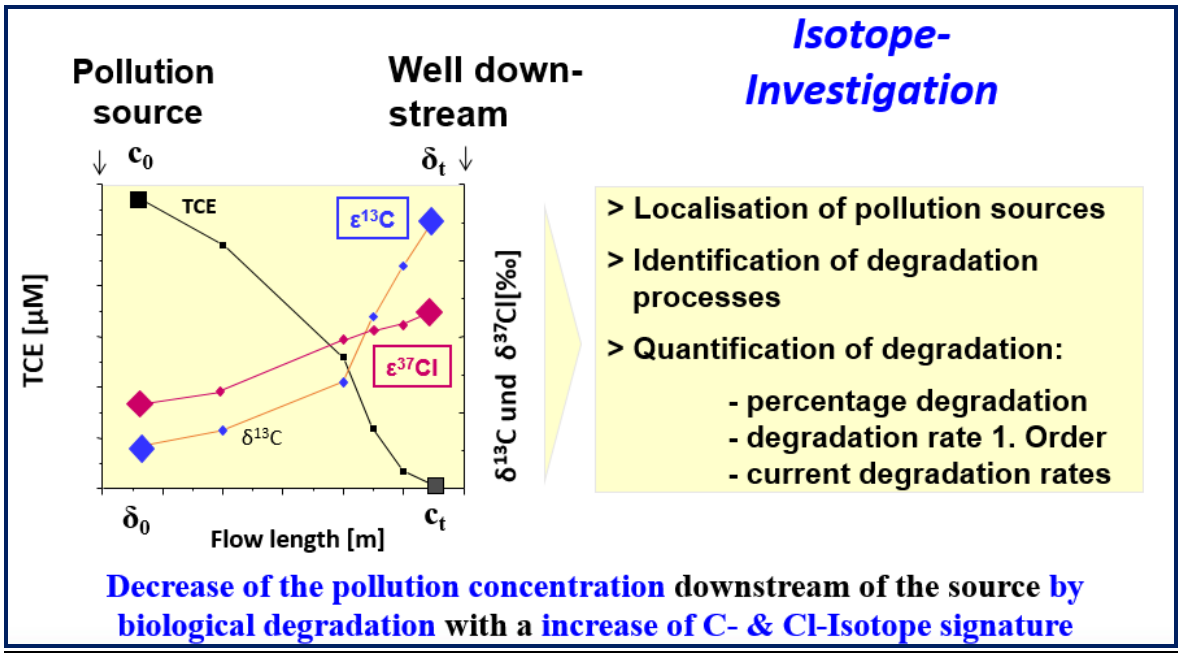


Fig. 11: Application of isotope fractionation (enrichment of ^{13}C-carbon and ^{37}Cl-chloride) for the determination of in situ degradation rates, degradation types, shares and pollution sources of organic chlorine compounds such as TCE and PCE (Project confidential: Armament Industry / France).

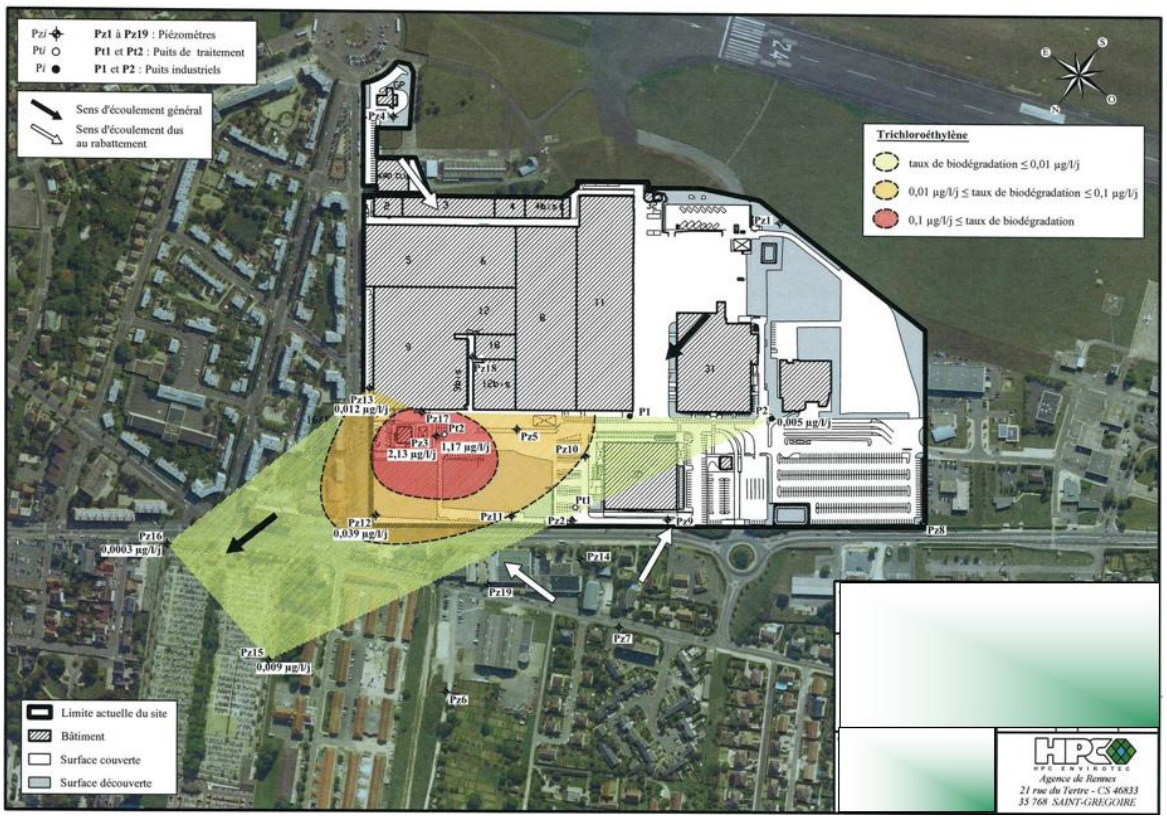


Fig. 12: Mapping of iso-degradation rates (in-situ) of TCE (max: 2.13 µg/l/day TCE), determined by isotope studies on TCE and PCE-contaminated site "B" (Confidential Project).

Determination of the general microbiological activity (aerobic and anaerobic), **the achievable rates of degradation** (aerobic and anaerobic) and the **maximum degradable pollutant concentrations**: implementation of **respiration- and challenge-tests** under anaerobic and aerobic conditions and by micro-organism and challenge-tests. The **Respiration-test** gives information about the dynamics of the metabolism of pollutants to CO_2, CH_4 or ethene. This test is used to determine the correct parameterization of the simplified control of degradation of the natural bio-reactor at the site.

The **Challenge test** is used to identify the highest level of concentration of pollutants which are compatible for the microorganisms and by which the degradation activity remains. The **Mineralization tests** are performed to quantify the actual metabolism and maximum achievable degradation rates (in µg/l/day and microbiological half-lives) by micro-organisms. There is a complete mineralization, if all organic pollutants are converted into CO_2 (in aerobic medium), CH_4 or C_2H_4 (in anaerobic medium) are converted.

From these test results, samples are selected, which provided the best test results. They will be used for subsequent laboratory tests. The combination of two methods for microbial biodegradation dynamization is planned. Firstly, by usage of a vegetable oil-nutrient emulsion pollutants should be adsorbed on soil grain, to extend the time for microbial degradation and to serve the bacteria as nutrients and to set the necessary redox potential. This vegetal oil-nutrient emulsion are applied under the trade-name ONE®. The corresponding safety data sheet is attached. Secondly, the addition of specific site conditions adapted micro-organisms (by creating a site-specific bacterial consortium for "self-vaccination" of the aquifer and groundwater) is planned. Therefore local micro-organisms will be taken from the site and from the area of the plume and grown under optimal conditions. The optimally to the local conditions adapted micro-organisms can

degrade the pollutants, which are sticking to the soil grain. The procedure was developed under the name **BioClean®**. A more detailed explanation is attached as appendix 7. To create this combined solution laboratory tests are provided to optimize the adsorption of ONE® (on the soil grain) or FROG-samples and ecotoxicity tests with BioClean and ONE® at FROG-samples or soil samples. The FROG or soil samples should be collected in areas eligible for remediation measures, respectively DNBA application are feasible. The target of **microbiological ecotoxicity tests** is to evaluate the parameters that prohibit the microbiological degradation.

The experimental procedure of ecotoxicity tests with ONE® and BioClean® should therefore be used subsequent to optimize the use at different pollutant concentrations and possibly high ecotoxicities, e.g. at contamination hot spots. In addition supportive measures, such as dechlorination by zero-valent (micrometric) iron can be tested and applied:

Reduction / hydrolysis

$Fe^0 + 2H_2O = Fe^{2+} + H_2 + 2OH^-$

TCE-degradation

$3Fe^0 + C_2HCl_3 + 3H^+ = 3Fe^{2+} + C_2H_4 + 3Cl^-$

Acceleration by catalyser:
Pd, Ni

Fig. 13: Dechlorination of TCE with zero-valent iron

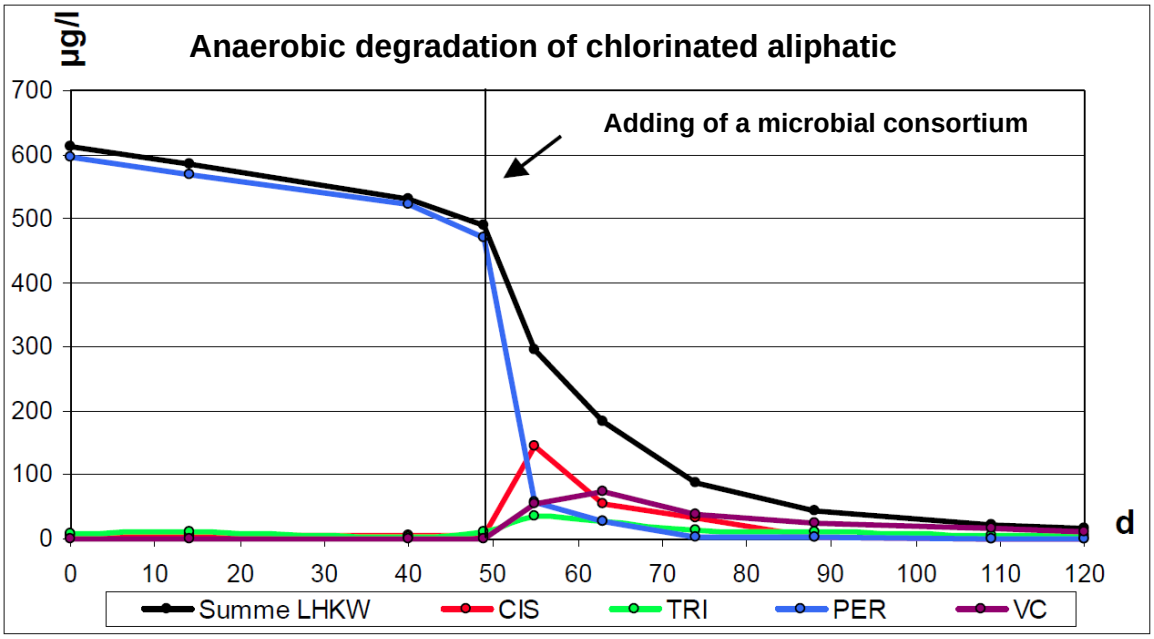


Fig. 14: VOC-emission reduction (PCE etc.) of about 600 µg/l to below 10 µg/l in 120 days by adding ONE® of site-adapted bacteria consortium (BioClean®-KB1) = "self- vaccination". **Example: HPC-project: Frankfurt-Enkheim / Germany**

- **Substratum similar to ONE® (but adapted to the site's hydrochemistry) to recruit anaerobic - reductive conditions:** Eh of about -200 mV: rapeseed oil particles in emulsion from 2.5 to 7 microns, lactates (location specific), bio-available degradable surfactants for stabilization, special nutrients & additives and trace elements which enhance the microbial in-situ degradation (site specificly):

➔ For reductive, anaerobic dehalogenation of VOC and

- **<u>Bacterium Consortium similar to BioClean® and KB1®: microbial consortium from:</u>**

  Dehalococcoides restrictus, Dehalococcoides multivorans, Dehalococcoides ethenogenes, etc.:

  ➔ For anaerobic degradation of PCE, TCE to cis-DCE (BioClean KB1®)
  ➔ For aerobic degradation of cis-DCE to ethene/CO (BioClean 162®).

(Dehalococcoides ethenogenes can degrade up to 60,000 µg/l TCE in groundwater.)

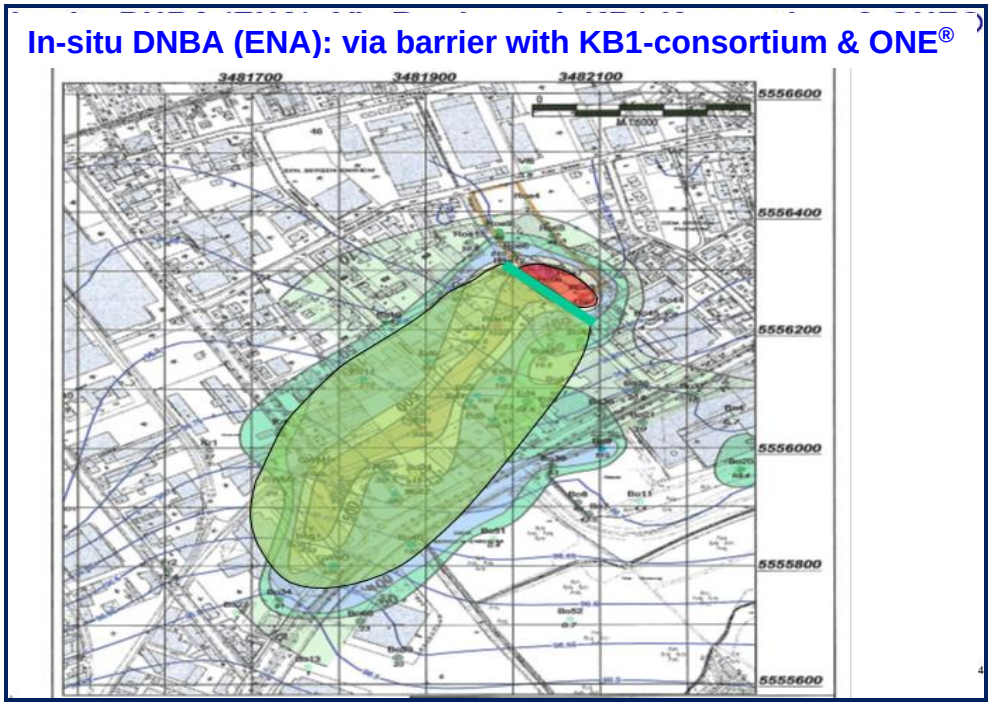


Fig. 15: DNBA remediation of the site Frankfurt-Enkheim / Germany with a BioClean-KB1 similar Barrier

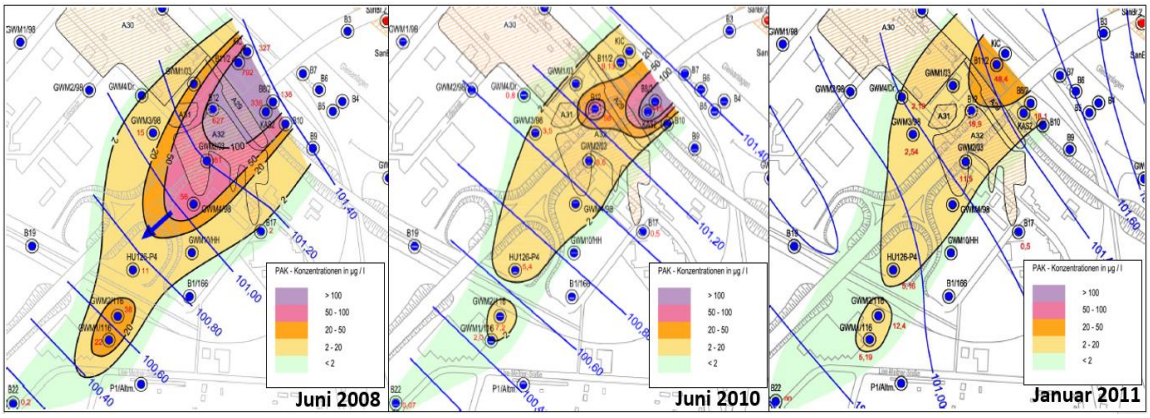


Fig. 16: DNBA remediation by HPC: **example HPC-project Hanau/R. Chemicals/Germany**: Strong reduction of pollutants (PAH) after 2.5 years of microbiological in-situ remediation at a plume of 1.2 km maximum length.

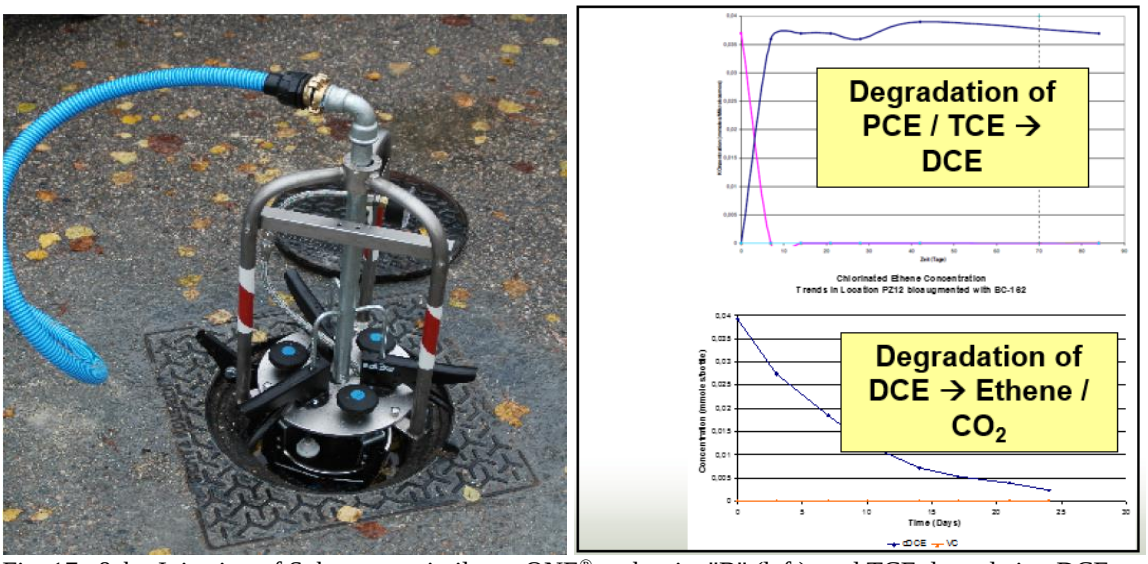


Fig. 17a & b: Injection of Substratum similar to ONE® at the site "B" (left) and TCE degradation DCE to 8 day after injection of the Substratum; DCE degradation without vinyl chloride formation 24 days after injection of ONE® on location "B" (right) (Confidential Project: Defense Industry).

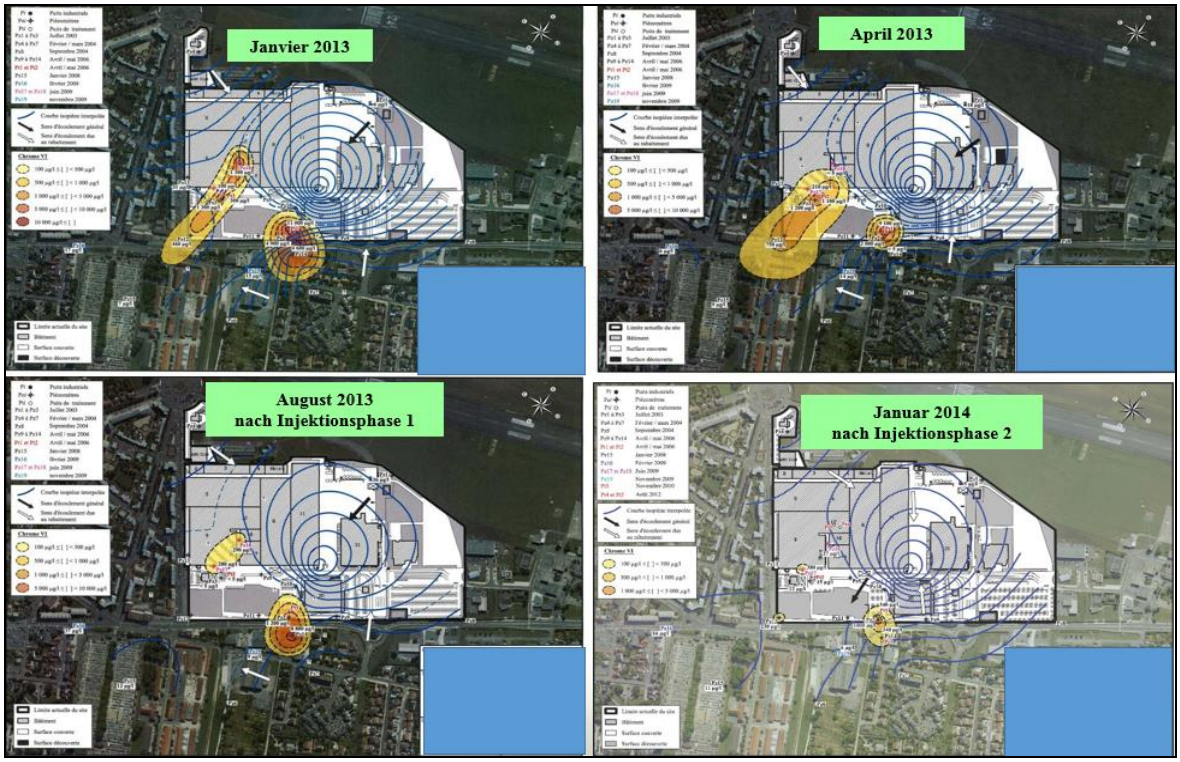


Fig. 18: TCE degradation within one year of DNBA remediation by ONE® + BioClean KB1® (location "B"). Maximum initial concentration: 15.000 µg/l trichloroethene (Confidential Project).

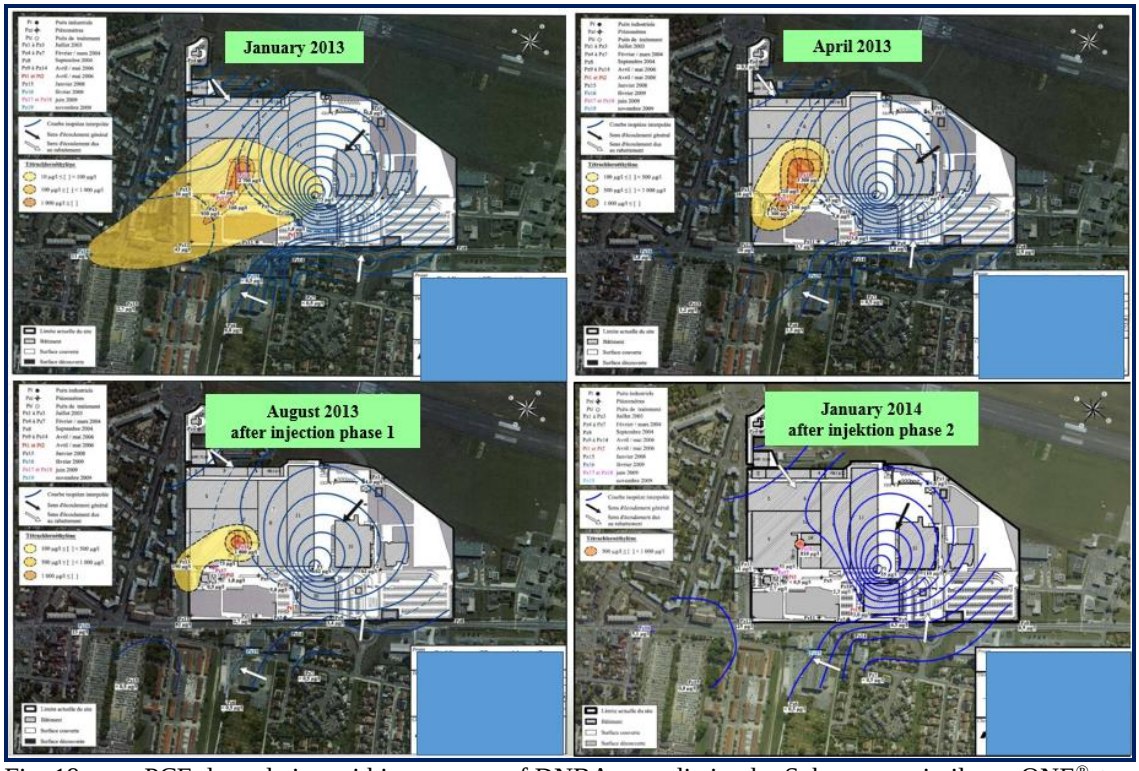
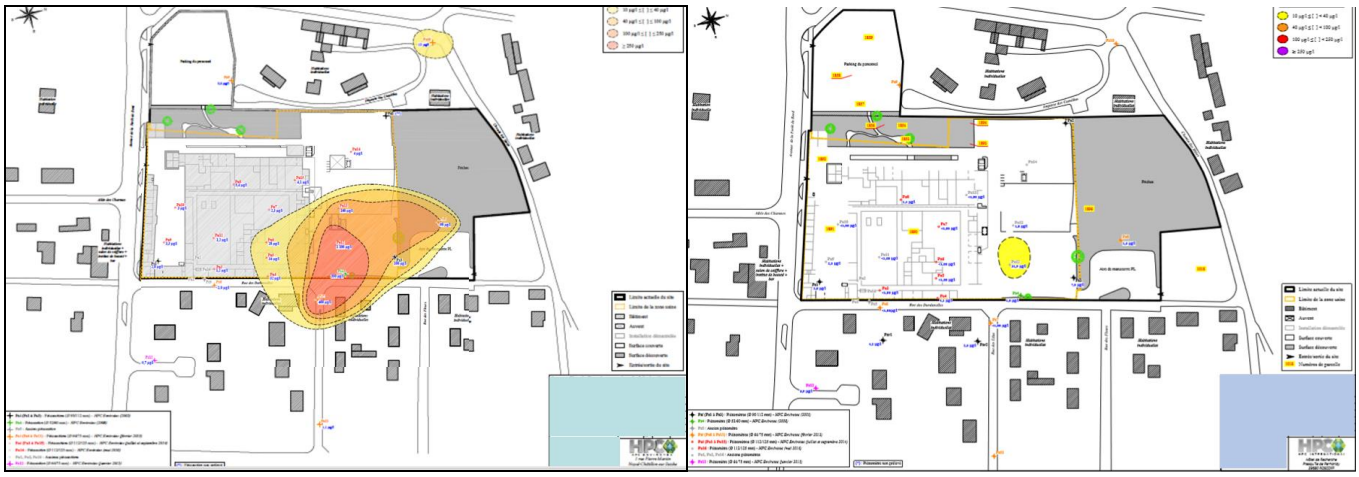


Fig. 19: PCE degradation within one year of DNBA remediation by Substratum similar to ONE® + Bacteria Consortium similar to Bioclean KB1® (location "B"). Maximum initial concentration: 3.300 µg/l tetrachloroethene (Confidential Project: Defense Industry).



December 2017: PCE max: 6 800 µg/l **October 2019: PCE max: 26 µg/l**

Fig. 20 a & B: PCE degradation in less than 2 years of DNBA remediation by Substratum similar to ONE® + Bacteria Consortium similar to Bioclean KB1® (location "B"). Maximum initial concentration: 6 800 µg/l Tetrachloroethene in 12/2017 and 26 µg/l in 10/2019 (Confidential Site in Normandy /France).

1.2.1. PCR Gene Test to Determine Degrading Microorganisms

As part of an investigation into the feasibility for application of natural attenuation or enhanced natural attenuation, the polymerase chain reaction PCR gene test can be used to determine whether microorganisms with the appropriate genetic systems (genetic potential) for degradation of the contaminants are present.

The genetic potential is evaluated by analysing the DNA of the indigenous micro-organisms for the presence of genes that encode key enzymes required for the degradation of the contaminants of concern. In the following figure 8, the biological degradation of toluene is shown.

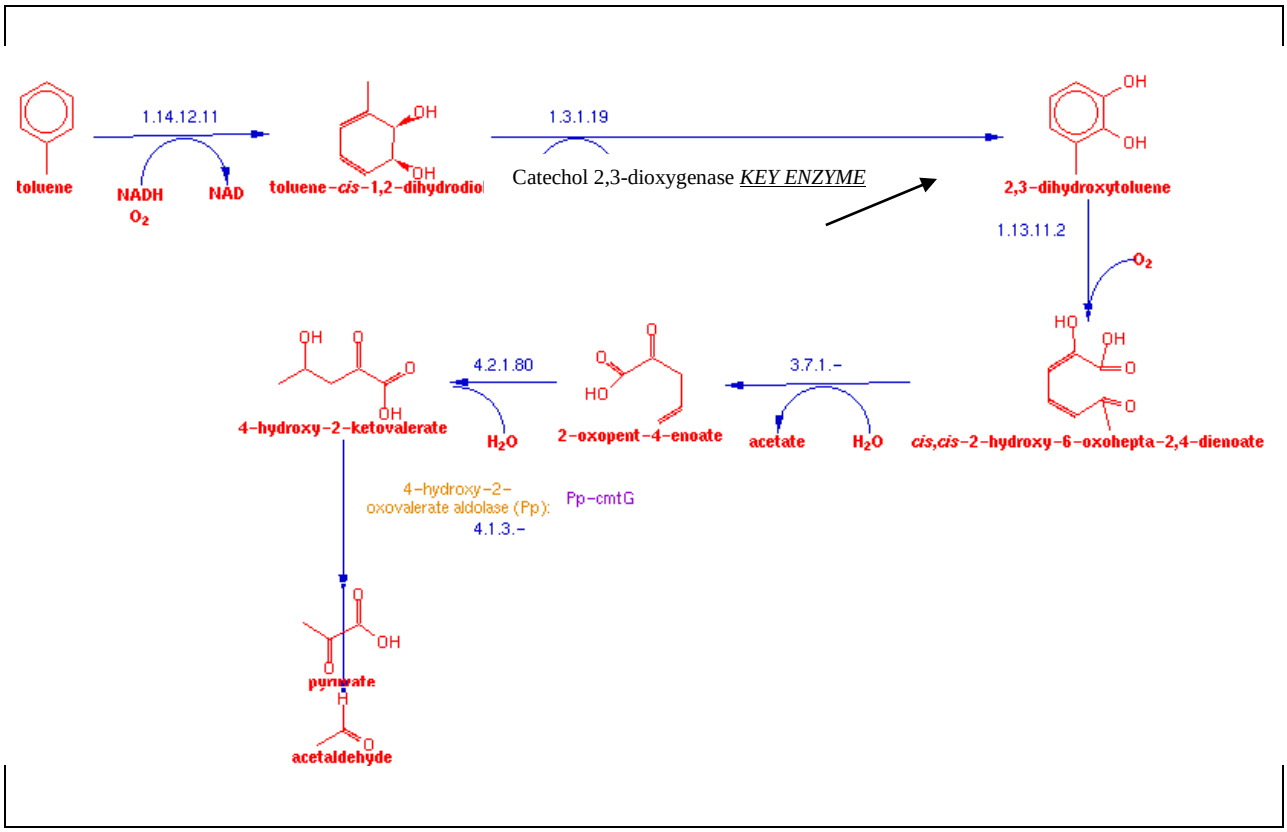


Figure 21: Pathways for the degradation of toluene

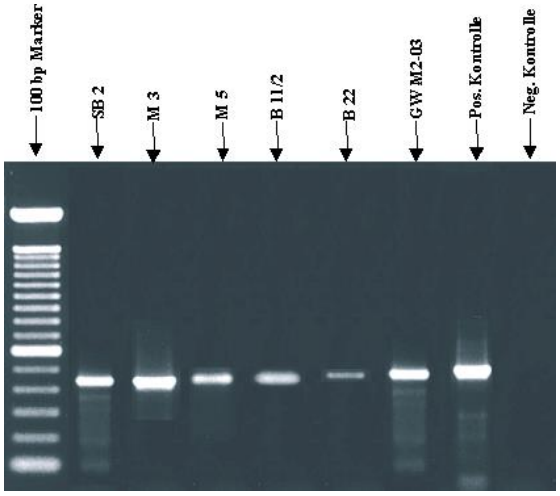


Fig. 22: Example of results from a PCR reaction identifying the presence of DNA of a specific key-enzyme

1.2.2. Respiration Tests RIO

The presence of a microbial population that actively degrades organic contaminants can be confirmed in the laboratory by respiration tests.

Fig. 23: Respiration test with on-line data collection

The respiration test can be used to determine the mineralisation of the contaminants directly. By gas analysis the concentrations of oxygen, ammonia, hydrogen sulphide and volatile contaminants can be determined. A quantitative estimation of mineralisation rates can be performed by "dose-response" curves, adding contaminants in known concentrations.

The current microbial activity can be determined in soil as well as with groundwater captured by the FROG passive sampler technology.

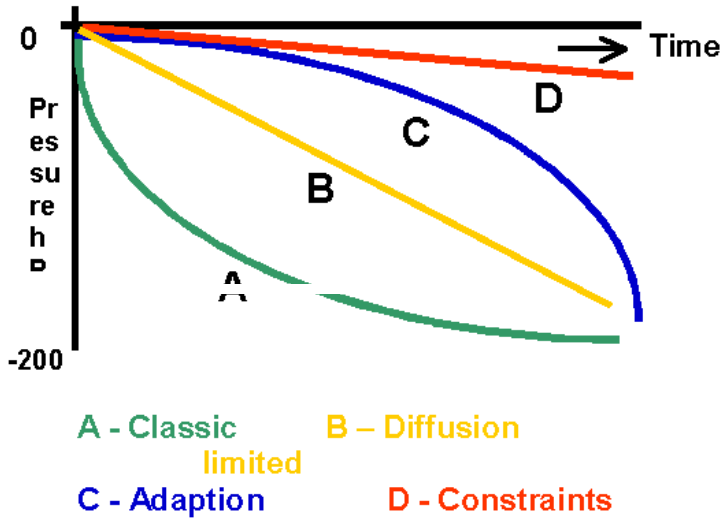


Fig. 23: Typical respiration curves

The interpretation is based on kinetic considerations for the microbiological reactions. From the course of the respiration curves, the half-life and the velocity constant can be determined.

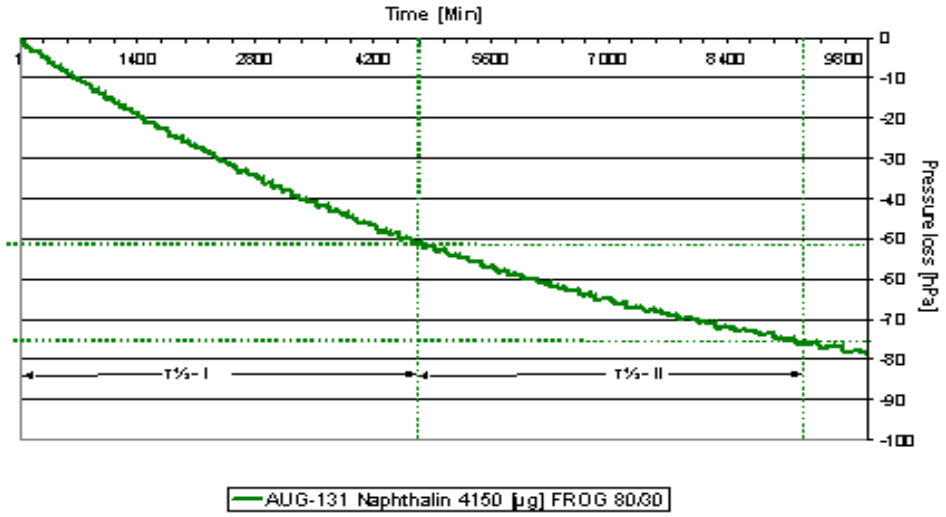


Fig. 24: Change of contaminant concentration as a function of time

1.2.3. Software to Determine the Kinetics of Biological Reactions.

It is essential to be able to assess the biodegradation potential and biodegradation rate over a broad range of concentrations. The use of initial contaminant concentrations for the remediation design can lead to excessive costs if the reaction rates diminish rapidly with decreasing concentrations. The process selected may not be optimal at lower concentrations. It is essential that the biological degradation potential is assessed over a broad range of concentrations, including those expected in the field over the course of remediation campaign.

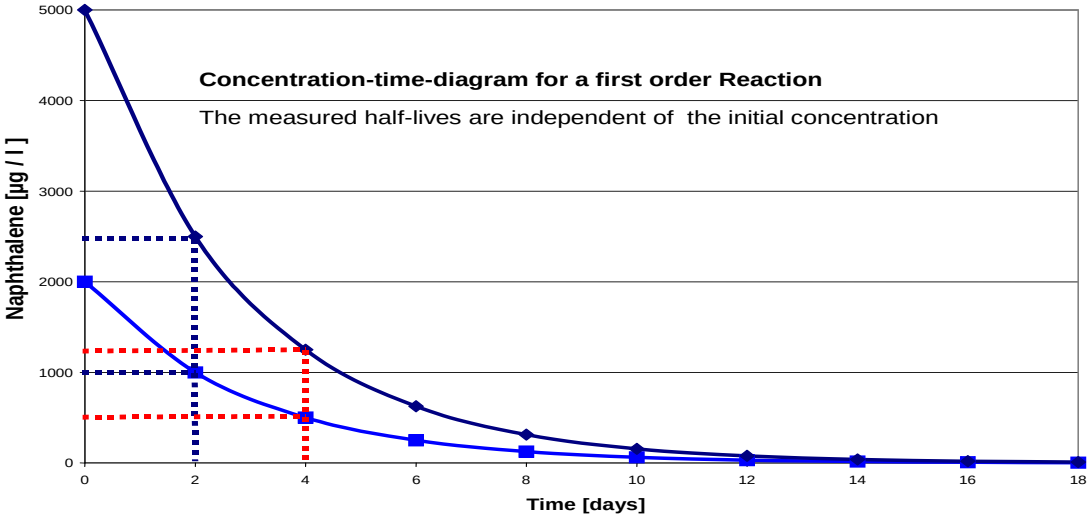


Fig. 25: Typical concentration changes over time

The kinetic data allow for the informed selection of remediation processes and also define the end-point when active remediation measures are no longer economical or sustainable. At this point it is appropriate to initiate natural attenuation for the residual diffuse contamination and to assess the time necessary to achieve the final target concentrations.

2.1.4. Eco-toxicity Test AvaTox

The eco-toxicity test is using an adapted consortium of microorganisms from the site under investigation. The local microorganisms are presented with samples of contaminated groundwater from the site in different dilutions under local conditions (aerobic or anaerobic), and the biological activity is measured as a respiration rate.

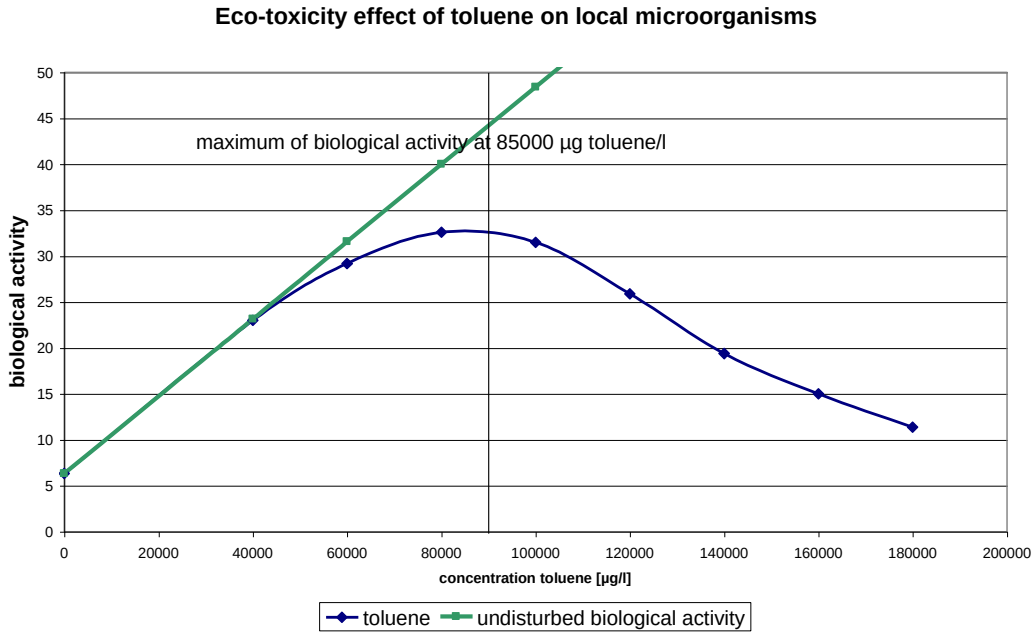


Fig. 26: Determination of biological activity of site-specific microorganisms towards toluene over a range of initial concentrations.

For ex. it can be seen in this example that increasing contaminant concentrations are associated with a linear increase in biological activity until approximately 40000 µg toluene/l. At higher concentrations inhibition can be observed, and becomes more pronounced with increasing contaminant concentrations. The maximum concentration at which biological activity is observed is 85000 µg toluene/l. From these results, the EC20 und EC50 values can be deducted.

The eco-toxicity test thus allows for a realistic assessment of the current biological activity at the site under investigation and allows for a biokinetic evaluation to determine the half-lives for degradation of the contaminant mixture.

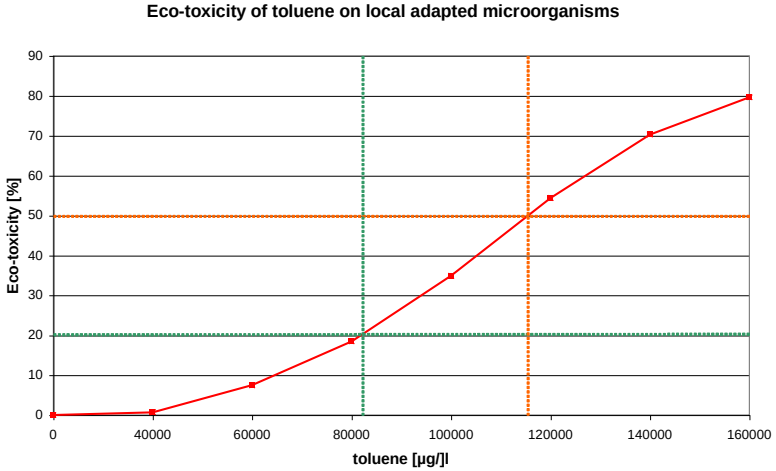


Fig. 27: Microbiological Eco-toxicity EC20 and EC50 of toluene towards local adapted microorganisms at the site under investigation.

2.2. Aims of the Feasibility Test

The combination of the various laboratory tools described above allows an assessment of the potential viability of biological soil and groundwater remediation options:

The following aspects are addressed:

- Identification of current microbial activity in soil and groundwater
- Identification of existing and possible constraints for bioremediation
- Assessment of technical options to remove remediation constraints
- Determination of biological kinetics
- Determination of maximum achievable biodegradation rates
- Evaluation of bioremediation options including "natural attenuation"
- Definition of end-point scenario
- Optimization of Cost-effective Remediation Approach

3. Conclusion

Several Case Studies of DNBA (Dynamized Natural Bio-Attenuation) Project Realizations in France, Germany, Austria, Hungary, Italy, etc. shows, that the applied combined chemical & microbiological Technology is the most suitable and successfully, if the DNBA-Feasibility Studies are realized before.

The Approach of DNBA (Dynamized Natural Bio-Attenuation) Remediation and it's associated Feasibility Studies, ensures:

- **the use and enhancement / dynamization of natural microbiological Pollutant degradation forces,**
- **to ensure the cheapest and fastest Groundwater Decontamination Technology for organic Pollutants as polar & chlorinated Solvents, BTEX and certain PAH.**
- **To ensure the most Cost-effective Groundwater Remediation Technology.**
- **To enable to give guaranties for reaching Remediation Gooals during a maximum Treatment Time and Costs.**

4. References

1. Karg, F., Henkler R.D.,& Anderson B.N. (1999): Feasibility study - Optimisation and control of in-situ bioremediation systems - End point scenario for natural attenuation. Minutes of the Symposium BIODEPOL, Rennes, France, 26-27 October 1999.

2. Karg, F. (1999): Sites contaminated with chlorinated solvents: Technical approaches associated with toxic metabolites. Environnement et Technique (Environment and Technology), 12/1999, n°.192, p. 42 – 46.

3. Henkler, C. & Karg, F. (2002): Microbial & Molecular Techniques to Evaluate in-situ Biodegradation and Activity at Sites Contaminated with Aromatic and Chlorinated Hydrocarbons. Poster at DECHEMA-Congress "Natural Attenuation" 06/2002 in Heidelberg / Germany.

4. Karg, F. (2002) : Microbial & biochemical techniques to evaluate and to implement in-situ biodegradation potential and activity at sites contaminated with aromatic and chlorinated hydrocarbons. Book of Abstracts: EMEC3 European Meeting on Environmental Chemistry, Association of Chemistry and the Environment, Geneva / Switzerland, 11 – 14/12/2002.

5. Karg, F. (2003) : Application de l'Atténuation Naturelle Dynamisée dans le Cadre de la Pollution de Solvants chlorés (utilisation de la PCR) **(Use of Dynamized Natural Attenuation in case of contaminations by chlorinated Solvents)**. INTERCHIMIE-United Nations : Séminaire sur l'Analyse, les Méthodologies de Traitement et la Réhabilitation des Sols et Eaux Souterraines Pollués : Minutes d'INTERSOL 2003, Palais de Congrès, Paris 03/04/2003.

6. Karg, F. (2003): Microbial & Molecular Techniques to Evaluate and to Implement in-situ Biodegradation Potential and Activity at Sites Contaminated with Aromatic and Chlorinated Hydrocarbons. Poster ConSoil 2003, FZK/TNO International Conference on Contaminated Land, 12-16 May, 2003, Gent / Belgium.

7. Karg, F. (2003) : Possibilités de l'application de l'Atténuation Naturelle Dynamisé comme Alternative économique de la Dépollution des Sites Pollués **(Possibilities of application of Dynamized Natural Attenuation as Option for Microbiological Decontamination of Contaminated Sites)** . Environnement & Technique, 2003. n° 223, p. 24 - 28.

8. Karg. F. (2004): Sites et Eaux Souterraines Polluées : des Traitements Economiques par Bio-Attenuation Naturelle Dynamisée (**Contaminated Groundwater : Economic Remediation by Use of Dynamized Natutral Bio-Attenuation**). Environnement & Technique, 2004. n° 242. p. 30- 34.

9. Karg, F. (2005): Sites pollués : Méthodologie de la prise en compte des critères de choix pour les démarches de réhabilitation **(Methodology for the management of Criteria concerning Contaminated Site Remediation**). Environnement & Technique, 2005. n° 244. p. 31- 37.

10. Karg, F. (2005): Quelles techniques de réhabilitation pour les sites pollués ? **(Which Technology for Site Remediation)** Hexagone Environnement, 55, Septembre 2005, p. 38 – 42.

11. Karg, F. Hintzen, U., Portune, T. & Domalski, R. (2007): Feldtesterfahrungen zur Anwendung der DNBA (Dynamisierte Natural Bio-Attenuation) zur Prozessoptimierung: Standort RÜTGERS Chemicals AG, Hanau: **(Case Study of DNBA : Dynamized Natural Bio-Attenuation on the Rutgers-Chemicals-Site in Hanau)**- Altlastenspektrum: 2/2007, S. 61-67.

12. Widman, S., Karg, F., Hintzen, U. & Portune, T. (2008). Fallbeispiel "PAK-Schadensfall". (**Case Study PAH-Contaminations treatment by MNA & DNBA – ENA**) In HLUG (Ed.): *Altlasten Annual 2007* (pp.153-163). Wiesbaden: HLUG.

13. Karg, F. (2009) : Biotechnologies d'investigation des bio-réacteurs naturels et dépollution économique par BANS (Bio-Atténuation Naturelle Surveillée) / **Biotechnological investigations of natural bio-reactors and economic remediation by MNBA (Monitored Natural Bio-Attenuation).** Minutes of Congres Intersol 2009 Paris – Ivry sur Seine, 24/03/2009.

14. Karg, F. (2009): Réhabilitation des sites : Retour sur les bonnes pratiques (**Best Pratiques concerning Contaminated Site Remediation**). Environnement & Technique, n° 287, Juin 2009, p. 43 – 47.

15. Karg, F. (2009): Interventions sur des sites pollués : Les bonnes pratiques en matière de prévention, hygiène et sécurité. (**Interventions on Contaminated Sites: Good practices concerning Prevention, Safety and Health**): Environnement & Technique, n° 288, Juillet 2009, p. 38 – 40.

16. Karg, F. (2009) : Les bonnes pratiques en matière de gestion de l'incertitude (**Best Practices of Uncertainty Management on Contaminated Sites**). Environnement & Technique, n° 289, Septembre 2009, p. 45 - 46.

17. Karg, F. (2010) : Optimisation de la sécurité budgétaire via la gestion et la réduction des incertitudes. Optimization of budget safety by uncertainty. Minutes of INTERSOL 2010, Paris-Ivry-sur-Seine: 16-19/03/2010.

18. Karg, F. (2010) : La réhabilitation verte et durable par dynamisation des bio-réacteurs naturels pour la dégradation des HAP, BTEX, HHC et solvants chlorés. Green Remediation by Dynamization of Natural Bio-reactors for Degradation of PAH, BTEX, Heterocyclic Hydrocarbons and chlorinated Solvents. Minutes of INTERSOL 2010, Paris-Ivry-sur-Seine: 16-19/03/2010.

19. Karg, F. (2010): Green Remediation by Dynamization of Natural Bio-Reactors for Degradation of PAH, BTEX, HCH and chlorinated Solvents: Case Studies in France and Germany. SARCLE: Sustainable Approaches in Remediation of Contaminated Land in Europe (SARCLE-2010), Minutes of Congress Ghent / Belgium 08-10/06/2010.

20. **Karg, F.,** Grauf, T., Hintzen, U. (2010): Machbarkeitsstrategie zu ENA- bzw. DNBA-Sanierungskonzepten für einen komplexen LCKW-kontaminierten Standort **(Feasibility Strategy for ENA & DNBA-Remediation Concepts concerning a Site contaminated with Chlorinated Hydrocarbons**). Minutes of Isotopen im Grundwasserschutz / Anwendung und Forschung – **Isotopes in Groundwater Management – Advances in Science and Implementation**. HelmholtzZentrum München, 20-21/10/2010.

21. **Karg, F.** & Legendre, L. (2011): Case study of Sustainable Development: microbiological in-situ groundwater remediation (chlorinated solvents & Cr VI) via application of isotopefractioning and PCR for dynamization investigations of natural bio-reactors -. Minutes INTERSOL, Lyon le 30/03/2011.

22. Limmer, M., A., Balouet, J.,C., Karg, F., Vroblesky, D.A.. & Burken, J., G. (2011): Phytoscreening for Chlorinated Solvents Using Rapid in Vitro SPME Sampling: Application to Urban Plume in Verl, Germany. Environmental Science & Technology, 2011, 45, p. 8276–8282.

23. Karg. F. (2011): Dépollution microbiologique des par le TCE & PCE via la BAND (Bio-Atténuation Naturelle Dynamisée) **Microbiological Decontamination of Aquifers polluted by TCE & PCE via DNBA : Dynamized Natural Bio-Attenuation.** Minutes du Congrès : Maîtrise des risques des sites contaminés par des hydrocarbures chlorés. ChloroNet Solothurn / Switzerland 03/11/2011.

24. Portune. T. **& Karg. F**. (2011) : Dynamisierung eines aeroben und anaeroben mikrobiellen Abbaus von im Grundwasser gelösten Teerölinhaltsstoffen durch Bio-Air Sparging an einem teerölverarbeitendenStandort in Hanau (**Enhancing of aerobic and anaerobic microbial degradation of dissolved tar oil ingredients in the groundwater by bio-air sparging on a tar oil-processing site in Hanau**) : Altlastenspektrum 6/2011, p. 251-256.

25. Karg, F. (2015): Traitement in situ des polluants hétérocycliques NSO dans les eaux Souterraines par DNBA aérobique (In situ remediation of heterocyclic NSO pollutants in groundwater by aerobic DNBA). Minutes of INTERSOL Paris 25 March 2015.

26. Karg, F., Grauf. T. & Hintzen,U. (2015): Bio-chemische in-situ-Sanierung von LHKW- & CrVI in einem Karst-Grundwasserleiter: Praxisbeispiel aus 2015. **(Bio-chemical in-situ Restoration**

& Remediation of Chlorinated Solvent and Chromium VI Contaminations in a carstic Groundwater Acquifer: Case Study from 2015): Minutes of Congress. DECHEMA Symposium Strategien zur Boden- und Grundwassersanierung. (Minutes of Congress for Strategies of Soil and Groundwater Remediation). Francfort 30 November 2015.

27. Karg, F., Grauf. T. & Hintzen, U. (2016): **Practical example of a microbiological and chemical in situ remediation of a TCE, PCE, DCE, VC & CrVI contamination in a fractured aquifer (DNBA).** [Exemple concret de la décontamination microbiologique et chimique in situ d'un aquifère karstique contenant des TCE, PCE, DCE, VC et CrVI (BAND)]. Intersol Congres Minutes, Lille 17th of March 2016.

5. Contact

Dr. Frank P. M. KARG
President CEO of HPC INTERNATIONAL (France, Germany, Hungria, Kosovo, Algeria, etc.)
Scientific Director and member of Board of Shareholders of HPC-Group / International
Court Expert in France (Supreme Court of Rennes / France)

HPC INTERNATIONAL S.A.S.
H. de Recherche,
Centre de Perharidy **Tel: +33 607 346 916 (cell) / +33 298 681 313 (office)**
29680 Roscoff / France **Email : frank.karg@hpc-international.com**

Phytostabilisation de déblais miniers par des plantes métallicoles : une utilisation raisonnée de la flore autochtone pour une revalorisation foncière et écologique d'un ancien site minier

SOUSSOU S.[(1)*], GEOFFROY A.[(1)], FINCK J.[(1)], ARGUILLAT M.[(2)], JACQUEMIN P.[(2)], CLEYET-MAREL JC.[(1)]

[(1)] Fertil'Innov Environnement ; 460 Rue Louis Pasteur ; 34790 Grabels

[(2)] ADEME ; 20 Avenue du Grésillé – BP 90406 – 49004 ANGERS Cédex 01

Mots clés : Biodiversité, ingénierie écologique, sédiments miniers, réhabilitation, végétaux métallicoles

Objectif : L'objectif de l'opération est de préserver et valoriser la flore autochtone, une clé pour réussir l'opération de la phytostabilisation des stériles miniers du site des Avinières sur environ 2 hectares.

L'exploitation intensive des gisements de minerais métallifères au XIX^{e} et XX^{e} siècles a généré d'importantes quantités de stériles et de résidus à fortes teneurs en métaux lourds toxiques entrainant des problèmes sanitaires et une forte dépréciation du foncier touché par la dispersion des sédiments miniers. De nombreux sites sont ainsi impactés sur toute la bordure sud du Massif Central dans le Gard. C'est notamment le cas du site des Avinières à Saint Laurent le Minier (Gard) qui a constitué une zone d'exploitation de plomb et zinc de France. A proximité de ce site, les anciennes installations industrielles ont été progressivement remplacées par des habitations qui sont exposées à l'envol de poussières chargées en plomb, zinc et cadmium.

L'ADEME, suivant les prescriptions de l'arrêté préfectoral de travaux d'office n° 2019-04-010 du 8 avril 2019, a été mandatée pour réaliser des travaux de mise en sécurité. Les travaux consistent, entre autres opérations, à la végétalisation de la verse de stériles des Avinières afin de réduire l'émission de poussières chargées en Eléments Traces Métalliques (ETMs) et notamment en plomb qui présente un danger pour la population habitant le hameau de la Papèterie.

La réhabilitation des anciens sites miniers par des méthodes physico-chimiques avec des approches conventionnelles de Génie Civil sont à la fois très délicates et extrêmement coûteuses (Berti & Cunningham 2000). Une alternative respectueuse de l'environnement est d'associer des stratégies de Génie Civil et de l'ingénierie écologique afin de créer une couverture végétale capable de prévenir l'érosion des sols (Jacquemin *et al.*, 2006). Plusieurs études ont montré que le succès de la végétalisation est favorisé par l'utilisation de plantes autochtones car elles sont les mieux adaptées aux conditions locales (Joshi *et al.* 2001 ; Frérot *et al.*, 2006, Soussou *et al.*, 2013).

L'utilisation de végétaux est ainsi de plus en plus fréquemment envisagée pour finaliser des opérations de réaménagement de sites impactés par la présence des ETMs. Il convient toutefois, avant de pouvoir installer durablement une couverture végétale, de bien contrôler les conditions dans lesquelles les plantes devront se développer (Bert *et al.*, 2017). Parmi les multiples facteurs à considérer, les teneurs en ETMs et en matières organiques dans le substrat sont impérativement à prendre en compte car ils conditionnent la réussite d'un réaménagement et une bonne gestion de la biodiversité.

L'opération de réhabilitation engagée sur le site des Avinières s'inscrit dans la durée et comprend plusieurs étapes :

- Plan de gestion (Eau Géo & TESORA, 2014**) :** cette mission a permis d'identifier l'origine des poussières identifiées au hameau de la Papèterie (Navel *et al.*, 2015). S'inspirant des travaux de recherche structurés autour du projet SyMetal financé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR SyMetal, 2010 - 2015), les responsables du plan de gestion ont recommandé d'orienter le contrôle de la source de pollution en installant une couverture végétale sur les stériles de l'ancienne mine des Avinières.

- Contrôle et amélioration de la qualité du substrat minier : Outre la forte charge et ETMs (5% de plomb, 10% de zinc), le substrat a une faible teneur en matières organiques et en éléments majeurs indispensables à la croissance des plantes. Une stratégie particulière a été développée pour apporter des amendements disponibles en grandes quantités.

- Caractérisation de la biodiversité végétale et microbienne : Un premier inventaire avait permis d'identifier une douzaine de végétaux capables de se développer en présence de concentrations élevées en ETMs (Escarré *et al.*, 2011) et de microorganismes essentiels au cycle géochimique de l'azote.

- Essais en laboratoire : Des semences de toutes les espèces autochtones ont été récoltées puis testées en laboratoire afin de déterminer leur niveau de résistance aux ETMs. Nous disposons maintenant de 18 espèces végétales adaptées aux conditions du site et de tout un ensemble de microorganismes.

- Essais *in situ* : Avant de procéder à la réhabilitation de l'ancienne mine, des essais *in situ* sont réalisés afin de confirmer l'apport de matières organiques spécifique et de déterminer le mélange d'espèces optimum permettant de couvrir rapidement les stériles miniers et de limiter l'envol de poussières.

- Mise en place d'une pépinière *in situ* pour multiplier les espèces autochtones : Le but est de produire des semences en quantités suffisantes pour phytostabiliser les stériles miniers.

- Reprofilage du site, aménagements hydrauliques, phytostabilisation et suivi.

L'ensemble des résultats acquis montre qu'il est aujourd'hui possible, en tenant compte des contraintes inhérentes à la présence de fortes teneurs en ETMs et du potentiel biologique des végétaux et de microorganismes, de proposer des solutions innovantes et rationnelles d'Ingénierie Ecologique pour une gestion durable des anciens sites miniers ou industriels.

Références bibliographiques

Bert, V., Douay , F., Faure, O., Cadière, F., 2017. Les phytotechnologies appliquées aux sites et sols pollués ; nouveaux résultats de recherche et démonstration. ADEME, INERIS, ISA-Lille, Mines Saint-Etienne

Berti, W R., Cunningham, S D., 2000. Phytostabilization of metals. *In Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean-up the environment*, Eds I Raskin and B D Ensley. pp 71-88. John Wiley & Sons, Inc., New York.

Eau Géo & TESORA , 2014. Plan de Gestion ; Rapport final Anciens sites miniers à Saint Laurent Le Minier (30). Affaire N°A12.444.C du 17 janvier 2014

Escarré J., Lefèbvre C., Raboyeau S., Dossantos A., Gruber W., Cleyet-Marel J.C., Frérot H., Noret N., Mahieu S., Collin C., van Oort F. 2011. Heavy metal concentration survey in soils and plants of the Les Malines mining district (Southern France): implications for soil restoration. *Water air and soil pollution* 216, 485-504

Frérot, H., Lefèbvre, C., Gruber, W., Collin, C., Dos Santos, A., Escarré, J., 2006. Specific interactions between local metallicolous plants improve the phytostabilization of mine soils. *Plant and Soil* 282: 53–65.

Hong, S., Candelone, JP., Soutif, M., Boutron, CF., 1996. A reconstruction of changes in copper production and copper emissions to the atmosphere during the past 7000 years. *Science of the Total Environment*, 188:183-193.

Jacquemin, P., Arguillat M., Tuphé R., Le Guen S., Boisson J., Pottecher G., Ruttens A., Vangronsveld J., Saunal B., 2006. Une combinaison combinaison du confinement des déchets et de la phytostabilisation des sols. *Travaux* 831 : 56-66

Joshi, J., Schmid, B., Caldeira, M. C., Dimitrakopoulos, P. G., Good, J., Harris, R., Hector A., Huss Danell K., Jumpponen A., Minns A., Mulder C. P. H., Pereira J. S., Prinz A., Scherer Lorenzen M., Terry A. C., Troumbis A. Y., Lawton, J. H., 2001. Local adaptation enhances performance of common plant species. *Ecology Letters* 4:536-544.

Navel, A., Uzu, G., Spadini, L., Sobanska, S., Martins, J.M.F., 2015. Combining microscopy with spectroscopic and chemical methods for tracing the origin of atmospheric fallouts from mining sites. *Journal of Hazardous Materials* 300, 538-545

Soussou, S., Mahieu, S., Brunel, B., Escarré, J., Lebrun, M., Banni, M., Boussetta, H., Cleyet-Marel, JC., 2013. Zinc accumulation patterns in four *Anthyllis vulneraria* subspecies supplemented with mineral nitrogen or grown in the presence of their symbiotic bacteria. *Plant and Soil* 371: 423-434

SyMetal, (2010 –2015). Rhizostabilisation de déblais miniers à fortes teneurs en métaux par des plantes METALlicoles associées à leurs microorganismes SYMbiotiques. Projet ANR-CES (Contaminants, Environnement, Santé) n°2010 CESA 006 01.

Produire de la biomasse sur les sols délaissés et dégradés avec des Taillis à Courte Rotation (TCR) Projet VALTER BIOMASSE – Grand Lyon

Jean-Yves RICHARD[1*], Xavier HEDEVIN et Chloé LESOURD[2]

[1] : SUEZ IWS MINERALS, 3 allée de Toscane – 69800 SAINT PRIEST, jean-yves.richard@suez.com
[2] : VALTERRA DR, 330 chemin des Noyers – 38690 COLOMBE, x.hedevin@valterra.fr, c.lesourd@valterra.fr

Introduction

Le projet VALTER BIOMASSE, réalisé en partenariat par SUEZ, Société Forestière de la CDC et VALTERRA-DR, vise à démontrer un nouveau modèle économique de valorisation, par la production de biomasse énergie, de friches urbaines délaissées. Le projet consiste à construire un sol fertile sur une friche délaissée au sud de Lyon, pour y produire du « bois énergie ». Le sol dégradé est reconstruit à partir de terres excavées en région lyonnaise qui, au lieu d'être envoyées en installation de stockage, sont traitées et rendues fertiles par amendement. Tout en permettant la valorisation de terres excavées, de matières organiques délaissées et la valorisation de fonciers inoccupés ou fortement contraints, cette nouvelle filière de production durable de bois permettra d'alimenter les chaudières biomasse de l'agglomération Lyonnaise. Ce projet innovant est mené dans le cadre de l'appel à projet « Appel des 30 ! » (volet paysages productifs) de la métropole de Lyon.

Enjeux

- Redonner un usage à des fonciers urbains contraints et délaissés. Les fonciers urbains inoccupés sont coûteux pour les collectivités (débroussaillage, nettoyage…) et source de nuisances (visuelles, sécurité…).
- Économiser les ressources naturelles (terres végétales et bois énergie). L'approvisionnement en terre végétale des grandes agglomérations pour leur aménagement paysager devient de plus en plus compliqué en raison de l'éloignement croissant des sources de matériaux et leur disponibilité de plus en plus réduite.
- Développer des filières de réemploi des terres excavées pour limiter l'envoi de terres et matériaux valorisables en installation de stockage de déchets. Aujourd'hui, la majorité des terres excavées envoyées en ISD pourraient être avantageusement réutilisées dans le cadre d'un aménagement paysager productif.
- Faciliter la reconversion des friches urbaines en diminuant le coût des projets en favorisant la valorisation des terres excavées sur le territoire.
- Valorisation de matières organiques délaissées et utilisation comme amendement afin de produire des terres fertiles.

Objectifs

- Produire du bois utilisable dans les chaudières biomasse régionales
- Construire des sols fertiles à partir de terres excavées et de matières organiques délaissées valorisées
- Valider un nouveau modèle économique pour l'ensemble de la filière permettant le financement des différents acteurs sans contribution financière du propriétaire du foncier délaissé

Descriptif du projet

Le site démonstrateur est une friche frappée par le PPRT (plan de prévention des risques technologiques) d'une usine chimique du sud de Lyon. Le boisement sera réalisé sur près de 5 ha dont environ la moitié sera reconstruit.
La construction de sol débute par la préparation de terres fertiles à partir de différentes matières premières secondaires, ici des terres excavées localement et des sous-produits de l'industrie papetière (Figure 1). Les terres sont ensuite agencées en couches ou horizons ayant chacun une fonction propre (Figure 2).

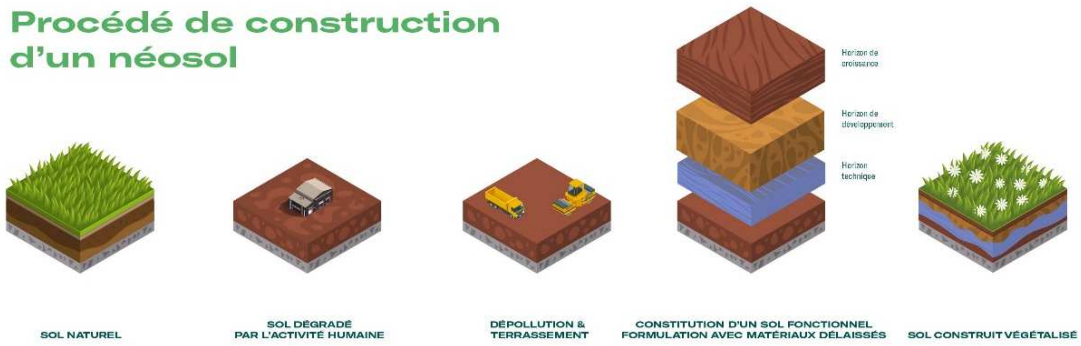
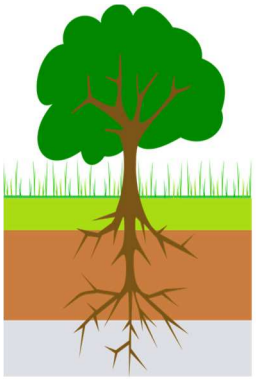


Figure 1 : Procédé de construction d'un néosol

La formulation est réalisée pour chaque horizon sur des critères agronomiques selon un formulateur développé par Valterra DR. Il permet de prédire les paramètres de texture, teneur en matière organique, azote, rapport C/N, phosphore, potassium afin de répondre à l'usage final recherché, ici une culture ligneuse.

Au niveau réglementaire, certains matériaux utilisés pour la construction de sol ont le statut de déchet. Ce statut impose plusieurs contraintes dont l'obligation de préparer les terres fertiles sur une plateforme ICPE autorisée à les recevoir et l'obligation de maitriser les risques environnementaux et sanitaires liés à leur utilisation. Pour répondre à ces exigences réglementaires, la construction de

sol a été réalisée conformément au guide de valorisation hors site des terres excavées du ministère [1]. Ce guide ne prévoyant que la réutilisation en usage recouvert (30cm de terre végétale), les terres de surface ont été préparées conformément à la norme NFU44-551 « supports de culture ».



HORIZON	MATERIAUX CONSTITUTIFS	ROLE PRINCIPAL
Horizon de croissance	Terre criblée compost normé	Apport des nutriments Reprise des plants
Horizon de développement	Terre excavée Boue de papeterie	Réserve de nutriments Ancrage des racines
Horizon technique	Terre excavée Refus fibreux	Réserve en eau

Figure 2 : Rôle et composition des différents horizons

Ainsi, la construction de sol comprend 4 grandes étapes :

- Formulation et préparation de terres fertiles à partir de terres excavées et d'amendements organiques délaissés sur une plateforme ICPE de SUEZ basée à Ternay
- Transport des terres sur la friche avec une traçabilité complète entre la plateforme ICPE et le site de valorisation (BSTV)
- Mise en place de terre par horizon sur les zones stériles par l'entreprise Valterra DR
- Plantation de plants qui seront conduits sous forme de Taillis à Courte Rotation (TCR) par la Société Forestière de la CDC

A ce jour, 19250 T (ou 21000 m^3) des terres fertiles ont été produites et livrées sur site pour la reconstruction de sol. Une première zone « test » de 0,2 ha a été plantée au printemps 2020. Trois espèces végétales ont été plantées le peuplier en TCR et en bois d'œuvre, le saule et le robinier (Figure 3). Les plantations tardives à cause du confinement national lié au Covid-19 couplé à un été très sec ont abouti à un taux de survie quasiment nul. Toutefois, aucune conclusion ne peut être tirée puisque durant cette période, les plantations du même type présentent une mortalité très élevée dans les départements frappés de sécheresse comme le Rhône. D'autre part, sur le même site et les mêmes néosols, des semis de luzerne se sont parfaitement implantés à la même période. Le suivi agronomique et environnemental du sol construit est réalisé tel qu'il était prévu initialement et une nouvelle plantation sera réalisée au printemps. Une réflexion devra également être menée sur le choix des espèces végétales. Dans un contexte de réchauffement climatique, l'utilisation de variétés plus tolérantes à la sécheresse doit être réfléchie.

Figure 3 : Vues de la friche avant et après construction de sol et plantation

Le bilan économique de cette première partie du projet est globalement positif et montre, qu'il peut être possible de reconstruire un sol fertile sans participation financière du propriétaire de la friche. L'équilibre financier global de l'opération ne pourra toutefois pas être validé avant de connaitre le rendement réel de la production végétale qui doit permettre la prise en charge de la végétalisation du site.
Toutefois, il apparaît que l'équilibre économique est fortement dépendant de nombreux facteurs locaux (présence de gisements minéraux et organiques, distance entre les sites, futur usage…) et une étude au cas par cas sera nécessaire. Dans tous les cas, la valorisation de matériaux délaissés aboutira toujours à une solution plus économique que l'utilisation de matériaux nobles (terre végétale, compost, tourbe…).

Remerciements
Le démonstrateur de boisements en TCR bénéficie du soutien de la Banque des Territoires.
Une partie du démonstrateur de la lône de Pierre-Bénite est subventionnée dans le cadre du projet AGREGE (FUI 24) labellisé par le pôle Chimie-Environnement AXELERA, et aidé par l'état, la Région Auvergne-Rhône-Alpes et la Métropole de Lyon.

[1] Guide de valorisation hors site des terres excavées issues de sites et sols potentiellement pollués dans des projets d'aménagement ; MTES/DGPR, novembre 2017 (révisé en avril 2020)

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
j.martelain@orange.fr

Directeur et géologue cantonal

République et canton de Genève
Service de géologie, sols et déchets
Quai du Rhône 12
CH-1205 Genève

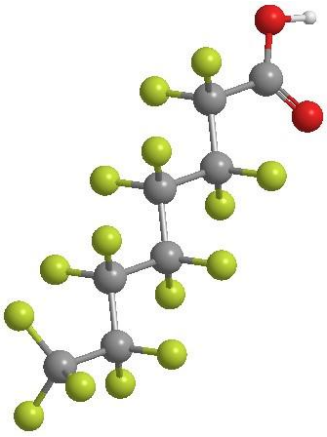
Tel. + 41 (0) 78 842 34 11
jacques.martelain@etat.ge.ch

What you should know about Per- and Polyfluoroalkyl substances (PFAS)

(Ce que vous devez savoir à propos des PFAS)

Regulatory activity related to per- and poly-fluoroalkyl substances (PFAS) has increased substantially in the last several years.

PFAS are persistent and widespread in the environment due to usage in myriad industries and products, low degradation and sorption rates, and low environmental regulatory standards (in the parts per trillion range).



However, PFAS differ from other recalcitrant contaminants in that the term encompasses thousands of chemicals, many of which degrade to one of dozens of "terminal compounds" (such as PFOS and PFOA) that are the focus of recent regulatory attention.

Recognized PFAS sources include fire-fighting foams, industrial and manufacturing facilities (e.g., electronics, semi-conductors, metal plating), oil and gas production, pesticides / herbicides, and mining. PFAS are present in ski wax, and studies have even indicated PFAS impacts in ski-area snowmelt

Due to the use of PFAS in consumer products, PFAS sources also include landfills, wastewater treatment discharge, biosolids associated with wastewater treatment, and septic systems.

This talk will present

- ✓ Concentration limit values of PFAS in Europe and outside

- ✓ The relative concentration of PFAS in each of these various sources and the "fingerprint" associated with each (i.e., the relative contribution of various perfluorocarboxylates, perfluorosulfonates, and PFAS precursors). The presence of PFAS from so many potential sources must be accounted for site investigations, and this talk will explore forensic techniques used to differentiate releases from different sources

- ✓ Remediation technologies and methods for PFAS

Soil microbial diversity and functional groups under pesticides in conventional and organic farms

Past and present traces

Esperanza Huerta Lwanga, Nicolas Beirot, Paula Harkes, Zhaoqi Bin, Raúl Zornoza, Flavia Pinzari, Luigi Orru, Margarita Ros, Onurcan özbolat, Eva Lloret Sevilla, Raúl Ortega, Isabel Miralles, Michel Riksen, Henny Gertsen, Piet Peters, Coen Ritsema, Violette Geissen.

Dr. Esperanza Huerta Lwanga[1,2]

[1]Senior Researcher, Soil Physics and Land Management Group, Wageningen University & Research, P.O. Box 47, 6700AA Wageningen, The Netherlands

[2]Investigadora Titular C, El Colegio de la Frontera Sur, Agroecología, El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Campeche, Campeche, Mexico

Abstract

Diverfarming is a H2020 European project who promotes soil quality conditions through plant diversification. Within the framework of the project, we investigated what is the state of the art of different agricultural soils under organic and conventional management. We aimed at assessing the content of pesticide residues in soils of the long term diverfarming farms; and identifying relationships between pesticide residues/ microbiome abundance/diversity, and pathogens /beneficial. The study was carried out in 12 farms at Groningen, The Netherlands. From those studied farms 2 were with fodder crop production and 10 with potatoes. From them 2 organic and 10 conventional farms. The sampling took place before the application of agrochemicals in April 2018. Seventeen pesticides residues were found in the whole study, from where DDT, prosulforcab and AMPA (first metabolite of glyphosate) were detected in all soil samples. Microbial biomass was inversely proportional to the number and concentration of pesticides, and the highest bacterial diversity was obtained in those farms with high manure application and less pesticides number. Organic farms had less or no pathogen microorganisms, and those farms had the highest content of beneficial microorganisms.

Mercredi 4 novembre 2020 / Wednesday November 4, 2020

09h00
Accueil et inscription des participants / Welcome and participant's registration

SESSION B
Modératrice : Coline Eychene, Administratrice de Soltracing

Terres et Sédiments : site émetteur et site receveur dans l'économie circulaire
Lands and sediments: emitter and receiver sites in circular economy

09h20
PFAS, L'impact de l'incertitude technique et réglementaire sur la réalisation des due diligence / PFAS, The impact of technical and regulatory uncertainty on the performance of due diligence
Anaëlle Descans, Chef de projet Environnement - Golder Associates

09h40
Avec le 0 artificialisation, les friches deviennent-elles précieuses ? quel(s) moyen(s) pour identifier le potentiel des friches ? / With 0 artificialization, are brownfields turning precious? which mean(s) to identify the potential of brownfields?
Yann Milton, Président - Modaal

10h00
Estimation des concentrations de fond en métaux dans les sols urbains à Liège / Estimation of background metal concentrations in urban soils in Liège
Benoit Pereira, Chercheur - Université Catholique de Louvain (Belgique)

10h20
Reconstitution et amélioration des sols : le retour à la terre des sédiments fluviatiles (projet VASC) / Reconstitution and improvement of soils: back to earth of fluvial sediments (VASC project)
Laurent Eisenlohr, Responsable d'unité - Cerema

10h40
Pause café / Coffee break

11h00
Prendre en compte l'économie circulaire dans la gestion du chantier de reconversion / Taking into account the circular economy in the management of the conversion works
Marie-Léonie Vergnerie, Avocate associée - Fieldfisher

11h20
Le projet d'arrêté sur la sortie du statut de déchet des terres excavées polluées dans les opérations de construction / The draft decree upon the removal of the waste status of polluted excavated soils during construction operations
Laurence Lanoy, Avocate associée - Laurence Lanoy Avocats

11h40
Valorisation des terres traitées, en route vers l'économie circulaire / Development of treated soils, on the way to the circular economy
Laurent Jay, Responsable Commercial de Valo Terra et Responsable activités internationales - GRS Valtech

12h00
Projet SPL2 Rives - une réhabilitation de friche industrielle au long cours, centrée autour de l'économie circulaire et la préservation des ressources / SPL2 Rives project - a long-term brownfield rehabilitation, centered around the circular economy and the ressources preservation
• *Thibault Blonde, Chef de secteur Est - Ortec Générale de Dépollution*
• *Etienne Heissat, Chef de projet Environnement, Hydrogéologue - Archimed Environnement*

12h20
Dépollution raisonnée d'une ancienne friche industrielle / Reasoned remediation of an old brownfield site
Jonathan Sénéchaud, Développement d'activité - Colas Environnement

12h40
Discussions - Pitch exposants / Exhibitors pitches

13h00
Déjeuner / Lunch

14h00
Biorestauration innovante des MTBE et des matières organiques : développement d'un bioréacteur MTBE à haut rendement et bio-sparging *in-situ* / Innovation bioremediation of MTBE and organic matter: development of a high-yield MTBE bioreactor and *in-situ* bio-sparging
Rogier De Waele, Sales & Account Manager - Greensoil Group (Belgique)

14h20
Combinaison de technologies d'assainissement. Extraction améliorée via tensioactifs Surfactant Enhanced Extraction (SEE) suivie d'une oxydation chimique *in-situ*
(ISCO) ou d'une réduction chimique in-situ (ISCR) - Cas d'études européens / Combination of sanitation technologies. Enhanced extraction via surfactants, Surfactant Enhanced Extraction (SEE) followed by *in-situ* chemical oxidation (ISCO) or *in-situ* chemical reduction (ISCR) - European case studies
Glenn Heernaert, Director - TerraCorrect (Belgique)

14h40

TABLE RONDE / ROUND TABLE
Responsable du programme et animateur : Lionel Roche, Avocat associé - Aklea

Gestion raisonnée des ressources : quelle innovation au service du développement des territoires ? / Rational management of resources: what innovation to serve territories development?

15h40
Pause café / Coffee break

SESSION C - Part. 1
Modérateur : Frédéric Bossert, Chef de projet - Züblin Umwelttechnik

Transdisciplinarité - Transferts technologiques - Innovations – Formations
Transdisciplinarity - Technological Transfers - Innovations - Training

16h00
La technologie d'injection innovante SPIN® augmente les possibilités de dépolluer *in situ* : Retours d'expérience / The innovative SPIN® injection technology increases the possibilities of *in situ* cleaning: Feedbacks
Jeroen Vandenbruwane, Directeur général - Injectis (Belgique)

16h20
La magnétite, une innovation pour le traitement de matrices contaminées / Magnetite, an innovation for the treatment of contaminated matrices
Céline Bonnaud, Directrice R&D - Hymag'In

16h40
Substrat cristallin fracturé - Le thermique est-il une option ou avons-nous tort ? / Fractured crystalline bedrock - Is thermal an option or are we wrong?
Niels Ploug, Sales & Product Manager - Krüger A/S (Danemark)

17h00
Discussions - Pitch exposants / Exhibitors pitches

17h30
Fin de la deuxième journée / End of Day Two

PFAS: The Impact of Technical and Regulatory Uncertainty on the Regulated Community and the Transactional Due Diligence Practice

Jean Pierre Davit (*jpdavit@golder.com*), Anne Faeth-Boyd, Stefano Marconetto - Golder Associates

Environmental assessments for property transactions have not included checking for Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) contamination until recently in most jurisdictions. PFAS are a family of compounds considered to be contaminants of emerging concern with quickly evolving technical and regulatory considerations. Site managers and environmental practitioners should determine how PFAS will be considered within the scope of due diligence assessments to determine potential liabilities even in regions when no regulatory standards are already present.

PFAS have been manufactured since the 1940-50s and used in a variety of consumer products and industrial processes. They have been widely used in many manufacturing applications as mist suppressants, surfactants and coating of materials for waterproofing as well as oil and stain protection. Typical industries with PFAS use include metal plating, chemical, textile, pulp and paper, electronic, semiconductor, automotive and others. PFAS are one of the key components in firefighting foams primarily used to extinguish and prevent liquid hydrocarbon fires (Class B foams) and therefore are found at military bases, airports, firefighting training areas, historic fires, fire stations, refineries, fuel/oil bulk storage terminals, large rail yards, manufacturing plants and mines. Other sources of PFAS to the environment include landfills (primarily via leachate), wastewater treatment plants (industrial and municipal) as well as areas with biosolids application. Because of the high solubility, ubiquitous use and recalcitrant nature of many of these compounds, PFAS can also be found in the environment at large distances from identified sources.

Because of the recalcitrant nature of these compounds, sources can be active for decades after their last use or release. Due to the potential toxicity, even small amounts of PFAS can create issues. Identifying the potential current or historical use of PFAS and development of PFAS-free or low-impact operational practices are fundamental steps to reduce potential environmental liabilities.

PFAS are different from other contaminants encountered in a transaction and pose a number of challenges and questions:

- Thousands of compounds and ubiquitous: which ones should we focus on?
- High water solubility: how many properties are affected?
- Diverse properties and recalcitrant: what sustainable treatment is effective?
- Uncertainty on health effects: what levels are safe?
- Environmental criteria in parts per trillion: which property is clean?
- Evolving regulatory framework: is today's liability different tomorrow?
- Lack of databases: what records should we check?

When buyers and sellers shall include potential PFAS impacts in the scope of a due diligence? If this is a relatively straightforward proposition in jurisdiction where PFAS environmental standards are present, where they are not some considerations are needed. As a reference, ASTM standards do not currently specifically require assessing PFAS as part of a Phase I Environmental Due Diligence and Recognized Environmental Conditions (RECs) – means the presence or likely presence of "hazardous substances or petroleum products in, on or at a property…" but in US PFAS are not listed "hazardous substances" under CERCLA, or as "hazardous wastes" under RCRA.

As many of the players involved in the transaction (buyer vs. seller; plant engineer vs. investor) have never heard about PFAS before, awareness building is typically required, and a training on the topic in the due-diligence period shall be considered. Being effectively prepared for a transaction can minimize liabilities but also risk of delays due to changes in scope.

The standard tools used in liability identification are inadequate because of a general lack of owner knowledge and record keeping and lack of environmental professional knowledge. Use of PFAS-containing products in industries such as manufacturing and resource extraction have not been tracked until recently and PFAS are used in several industrial processes without awareness. In addition to the above, the typical electronic database searches are unlikely to reveal PFAS related concerns: PFAS use alone would not result in a facility being a waste Generator, PFAS leaks/spills records will not show up and PFAS storage is typically not registered. Also remediation sites just beginning to show up in some contaminated land registers.

For liability estimation, due to the lack of historical precedent, it is very difficult to define costs to assess sites, also due to the evolving state of knowledge regarding release mechanisms, fate and transport. The costs to remediate sites, sometimes except simple cases, may be even more uncertain, as often it is unknown what concentrations will require cleanup, if they can be remediated and how. While in some cases environmental insurance shall be considered an option, their feasibility needs to be assessed on a case by case. Some costs starts now to be available from some cases with third-party claims and class actions that led to publications, but often these are only related to prevention measures, such as drinking water treatment, and not to remediation yet.

Based on Golder experience, here below is the course of action for the inclusion of PFAS technical and regulatory uncertainty in our Due Diligence Practice:

1. Brief client's staff on PFAS (facts and risks/uncertainties).
2. Be open and transparent on what we know and what we don't know.
3. Adapt the approach to the client's risk tolerance.
4. Based on jurisdiction and client's input, determine if and what level of PFAS assessment should be conducted and documented, including the possibility to carry out intrusive testing, the inclusion of only regulated PFAS or broader, etc.
5. Carry out an identification of all the significant potential uses and sources of PFAS at the property and in its vicinity.
6. Review process/product review (SDSs): considering carefully the phase out of PFOS/PFOA and potential PFAS residue in storage tanks, pipes and equipment
7. Review waste transportation and waste/wastewater disposal practices
8. If PFAS are present, assess role of historical remediation for other contaminants.
9. Always consider upgradient/background concentrations.

L'open-data est-il utile pour identifier et qualifier les friches ?

Les friches constituent un problème qui peut prendre plusieurs formes : environnemental du fait de leur pollution, financier pour leur propriétaire qui continue de payer des taxes, des charges pour de l'immobilier inexploité, ou urbain pour les collectivités territoriales soucieuses de proposer un cadre de vie agréable.

Elles deviennent également une ressource rare au moment où les principes d'utilisation économe du foncier, du « zéro artificialisation nette » progressent dans les textes et dans l'opinion publique, faisant ainsi des friches le réservoir privilégié – et presque unique - de l'urbanisation.

Si les démarches permettant de dépolluer, requalifier et transformer les friches ne sont pas nouvelles, elles butent encore souvent sur un coût de remédiation élevé (dépollution, démolition) mais les méthodes s'industrialisent à la fois en termes de diagnostics préalables et de travaux.

Pour favoriser la transformation des friches, il est nécessaire avant de déclencher les travaux de :

- Mieux recenser les friches pour évaluer le « vivier » d'urbanisation qu'elles représentent
- Prioriser leur transformation en disposant d'une vision d'ensemble sur un territoire donné
- Evaluer leur potentiel de requalification au regard de leur environnement, de la dynamique socio-économique et immobilière.

Sur ces aspects, l'ouverture des données numériques est particulièrement utile et leur exploitation permet notamment de gagner du temps pour :

- Le recensement des sites pollués, des friches à l'échelle d'un territoire donné : le choix des sites à reconvertir peut ainsi être opéré sur la base d'une vision plus complète du potentiel « friches »,
- L'identification des contraintes qui sont désormais pour nombre d'entre elles disponibles en open-data,
- L'évaluation du potentiel de marché au regard des prix immobiliers pratiqués, de l'urbanisation autour des friches.

Si les relevés terrain restent indispensables, de nouvelles possibilités sont offertes par l'exploitation de données et peuvent être utiles pour l'ensembles des acteurs concernés :

- Les industriels qui veulent mieux appréhender la réversibilité de leurs sites
- Les collectivités locales qui souhaitent mieux évaluer le potentiel « friches » de leur territoire, arbitrer sur les investissements au regard des impacts attendus
- Les opérateurs, investisseurs qui veulent sérier le potentiel de reconversion, de valorisation des friches
- Les bureaux d'étude qui ont besoin de documenter, historiser leurs rendus

Intervenants :

Yann Milton, Associé fondateur

Fixe : +33 (0)4 28 38 36 06
Mail : yann.milton@modaal.fr

Edouard Mougin, Manager Associé

Fixe : +33 (0)4 26 63 92 22
Mail : edouard.mougin@modaal.fr

Fabien Marty,

Ingénieur d'études et développement SIG

Fixe : +33 (0)4 26 63 92 22
Mail : fabien.marty@modaal.fr

MODAAL, l'approche globale du « foncier et ce que l'on en fait ».

MODAAL intervient au service des acteurs publics (collectivités territoriales, aménageurs publics…) et des opérateurs privés (foncières, promoteurs, aménageurs, industriels) pour les accompagner sur les dimensions stratégiques, économiques et pré-opérationnelles de leurs projets.

Nos domaines d'intervention

Stratégie foncière territoriale. Nous accompagnons les territoires vers une gestion maîtrisée et responsable de la ressource foncière, qui intègre les différents usages du foncier (habitat, activité, commerce, équipements…) et les différentes échelles d'intervention (du SCOT à la déclinaison locale).

Offre d'accueil et attractivité économique. Nous aidons les territoires à planifier, optimiser et valoriser leurs offres d'accueil à destination des entreprises. Nous réalisons les études de marché, diagnostics territoriaux, stratégies, schémas et plans d'actions relatifs au foncier économique, à l'immobilier d'entreprise.

Transformation de sites, faisabilité. Nous intervenons sur des projets d'aménagement, de requalification ou de réhabilitation, pour aider les maîtres d'ouvrage à définir, positionner et sécuriser leurs projets. Nous réalisons les études d'opportunité, de programmation, de pré-faisabilité et de montage.

Valorisation foncière et patrimoniale. Nous accompagnons les grands propriétaires fonciers dans la valorisation et l'optimisation de leurs actifs. Nous réalisons notamment des études de valorisation et des missions d'appui à la transaction.

Modaal développe des outils numériques, notamment :

- **Géofriche, plateforme de repérage, qualification, conduite de la reconversion des friches**

  Lauréat RD Booster – 250 K€ de financement par la Région AURA et BPI, développement avec Tesora

- **SynRJ – outil de valorisation de l'économie circulaire sur les pôles d'activités**

  Prix de l'innovation technologique 2018 – secrétariat d'Etat à la Transition Ecologique

Estimation des concentrations de fond en métaux dans les sols urbains à Liège (Belgique)

Benoît Pereira[1], Maud Lebel[2], Philippe Tomsin[2], Marie Jailler[2], Aubry Vandeuren[1] et Pierre Delmelle[1]

(1) Université catholique de Louvain, Earth and Life Institute - Environmental sciences (ELIE)
Croix du Sud 2/10, 1348 Louvain-la-Neuve, BELGIUM
(2)SPAQuE sa, Boulevard d'Avroy 38/1 - 4000 Liège

Caractère innovant du sujet proposé : Nous proposons une méthodologie adaptée pour répondre aux enjeux de la cartographie des concentrations de fond des sols urbains fortement anthropisés. Dans ce travail, les concentrations de fond en métaux ont été cartographiées dans une région urbaine de 310 hectares à l'aide de 121 prélèvements de sols de surface.

Mots-clés : métaux lourds, sols urbains, concentrations de fond, Wallonie

Résumé :

Les concentrations de fond des sols des zones urbaines et péri-industrielles sont généralement affectées par les retombées de fumées et de poussières, et perturbées par les remaniements et l'apport de matériaux technogéniques ou exogènes. Les bureaux d'étude, administrations et agences gouvernementales ont besoin d'une connaissance précise des concentrations de fond locales en polluants dans le sol pour pouvoir appliquer les politiques de protection de l'environnement. Cependant, dans les zones péri-industrielles, les concentrations de polluants présentent souvent une grande variabilité spatiale qui nécessite une méthodologie d'investigation appropriée.

Dans ce travail, nous décrivons les principaux résultats d'une étude sur les concentrations de fond en métaux dans les sols de Bressoux (Liège, Belgique). Le périmètre étudié de 310 hectares comprend deux entités : la plaine alluviale de la Meuse au nord, et le versant qui occupe les terrains de pente variable au sud du périmètre. Le périmètre a fait l'objet d'une recherche historique approfondie : les informations récoltées à diverses sources (archives publiques, media, riverains, bibliothèques et centres de recherches) ont fait l'objet d'un examen afin de recenser les activités industrielles ayant pu affecter les concentrations en métaux des sols. Le périmètre se trouve dans un tissu industriel historique particulièrement dense, actif de la fin du XVIIIe siècle aux années 1970-1980, où étaient présentes de nombreuses infrastructures fumigènes liées à l'exploitation houillère, à l'industrie sidérurgique, à la métallurgie des non-ferreux (cuivre, zinc et aluminium), à la construction mécanique et à la carbochimie, ainsi que des centrales électriques et usines à gaz. Cette recherche historique était indispensable pour distinguer les sols dont les concentrations pourraient relever de la contamination locale (apports massifs de contaminants associés à une exploitation industrielle identifiée) de ceux relevant des contaminations diffuses (affectant tous les sols, plus ou moins faiblement, mais de manière généralisée). Seules ces dernières font l'objet de cette étude. En effet, en Wallonie, la concentration de fond est définie dans le décret wallon relatif à la gestion et à l'assainissement des sols (M.B. 22.03.2018) comme étant la concentration ambiante d'un polluant dans le sol ; *les concentrations ambiantes peuvent indiquer des variations géologiques naturelles ou l'influence d'une activité agricole, industrielle ou urbaine généralisée (article 2).*

Les points d'échantillonnage (121) sont bien répartis spatialement dans ce périmètre, et comprennent différentes occupations du sol : sols agricoles, forestiers, parcs, potager et jardins privés. Pour chaque point échantillonné, un échantillon de sol a été prélevé à la tarière dans l'horizon de surface (0-20 cm). Les concentrations en éléments majeurs (Al, Ca, Fe, Mg et Mn) et en éléments traces (Ba, Be, Cd, Co, Cr, Hg, Mo, Sb, Se, Sn, V, Ti et Tl) ont été extraites par digestion « eau régale » (conforme NEN 6961) et dosées par spectrométrie de masse (ICP-MS, conforme à ISO 17294-2). Afin de contrôler la qualité des procédures analytiques du projet, un protocole a été mis en place comprenant la prise de trois réplicats sur huit points d'échantillonnage envoyé en aveugle au laboratoire en charge des analyses. Les résultats du contrôle de qualité ont permis de valider tant la stratégie de prélèvement des échantillons que la fidélité des résultats analytiques.

Dans les sols faisant l'objet de cette étude, les concentrations en métaux (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sn et Zn) sont fréquemment fortement positivement corrélées corrélées (*r* de 0.8 à 0.9). Pour Cd, Cu, Pb et Zn, on associe généralement leur présence dans les sols wallons à l'impact des retombées atmosphériques en polluants émis par des industries de la métallurgie des métaux non-ferreux (pollutions historiques). Pour ces quatre métaux, les concentrations médianes dans les sols de Bressoux (Cd : 3.8 ppm ; Cu : 140 ppm ; Pb : 360 ppm ; Zn : 1100 ppm) correspondent à environ 10 fois les concentrations médianes retrouvées dans les sols de Wallonie.

Dans les contextes urbains, il est fréquent de retrouver des situations particulières qui donnent lieu à des teneurs en métaux non représentatives des teneurs qui prévalent localement. Il s'agit par exemple d'un apport de terres « saines » dans un parc présentant des teneurs en métaux extrêmement basses pour la région. À l'inverse, l'étude historique n'a pu recenser toutes les industries susceptibles d'avoir été à la source d'une pollution locale, et des teneurs comparables à celles trouvées dans un site industriel pollué ont été trouvées dans un parterre de fleurs à proximité d'un garage recyclant des batteries au plomb. Ces situations particulières ponctuelles ont été écartées (8 sur 121) afin de constituer un jeu de données jugé représentatif des concentrations de fond qui prévalent localement. Ce jeu de données a été interpolé par krigeage ordinaire sur une maille de 20m × 20m sur l'ensemble du périmètre étudié afin de cartographier les teneurs en métaux. Les cartes obtenues montrent de fortes variations dans les teneurs en métaux sur de courtes distances. En général, la partie nord-est du périmètre étudié présente des valeurs plus faibles en métaux. Ceci s'explique vraisemblablement par la topographie induisant des dépôts de polluants atmosphériques moins importants dans cette partie du périmètre. Contrairement à ce qui était attendu, la partie du périmètre localisée dans la vallée de la Meuse ne présente pas des teneurs plus élevées en métaux que la partie localisée sur le versant, plus éloignée des sites industriels.

Cette étude de cartographie des concentrations de fond en milieu urbain a rendu possible la réalisation des cartes de concentrations de fond pour un périmètre urbain de 310 ha à l'aide d'une méthodologie présentant un faible coût. Elle démontre la nécessité de la réalisation d'une étude historique préalable. De plus, l'abondance de situations particulières et la variation des teneurs sur de courtes distances font que l'interprétation des résultats n'est possible que si l'on réalise un plan d'échantillonnage suffisamment dense (ex : au minimum un point pour 5 hectares) ainsi que si l'on collecte un nombre de données suffisant (ex : plus de 100 points échantillonnés). Ces conditions sont indispensables pour identifier cartographiquement les sols constituant un risque potentiel pour l'environnement et la santé humaine.

Reconstitution et amélioration des sols :

le retour à la terre des sédiments fluviatiles (projet VASC)

Alexandra COYNEL[1], Sarah ROUGER-RISTORD[2], Laurent EISENLOHR[3], Eric MANEUX[4], Philippe CHERY[5], David JULLIEN[6]

[1] alexandra.coynel@u-bordeaux.fr, Maître de Conférences en géochimie Université de Bordeaux

[2] sarah.rouger-ristord@charente-maritime.fr, Chargée de mission, Conseil Départemental de Charente-Maritime

[3] laurent.eisenlohr@cerema.fr, Responsable U. Déchets-Sols Pollués-Eau souterraine

[4] eric.maneux@geotransfert.fr, manager GEO-Transfert

[5] philippe.chery@agro-bordeaux.fr, Maître de conférences Bordeaux Sciences Agro,

[6] David.jullien@charente-maritime.chambagri.fr, Chargé d'études en agronomie et recyclage

Mots clefs : sédiments de dragage, valorisation matière, agriculture, expérimentations, Approche pluridisciplinaire, Charente-Maritime, nouvelle filière.

Résumé :

L'accumulation des sédiments dans les cours d'eau naturel ou artificiel, ou encore dans les ouvrages hydro-électriques, perturbe leur bon fonctionnement. Pour assurer le transport fluvial mais également pour réaliser l'entretien des cours d'eau et des ouvrages hydrauliques, les gestionnaires doivent entreprendre des opérations de dragage. Sur le domaine fluvial, en moyenne 6 millions de m^3 de sédiments sont extraits des 525.000 kilomètres de cours d'eau et canaux nationaux, à l'occasion de travaux d'aménagement ou de maintenance. Compte tenu de l'importance des volumes produits chaque année, les sédiments de dragage constituent une véritable ressource naturelle de matériaux potentiellement valorisables. Par ailleurs, des études ont montré récemment l'intérêt de l'épandage de sédiments pour la restauration de milieux remarquables. Cependant, aucune étude complète n'a été réalisée avec l'objectif (1) de démontrer l'amélioration de la qualité des sols agricoles par l'épandage de sédiments de dragage et (2) de proposer une méthode autorisant le développement d'une filière.

Le projet VASC (2019-2022), soutenu par un financement FEDER de la Région Nouvelle-Aquitaine, a pour ambition de proposer sur la base d'expérimentations de terrain couplant différentes approches (agronomie, pédologie, pratique culturale et chimie) et d'expérimentations en laboratoire, un cadre opérationnel pour favoriser la reconstitution et l'amélioration des sols agricoles par l'apport de sédiments fluviatiles.

Ce projet, mis en œuvre en Charente-Maritime, à l'ambition de conduire au développement d'une nouvelle filière de valorisation des sédiments. Pour cela, il devra démontrer que :

- la reconstitution des sols, par la valorisation de sédiments, est une méthode innovante en agriculture,
- l'amélioration de la réserve en eau des sols facilite leur adaptation au changement climatique,
- l'amélioration de la réserve chimique entraine l'augmentation des rendements et la diminution des exportations de polluants et de fertilisants vers le milieu aquatique.

La Charente-Maritime présente de grandes superficies agricoles composées de sols très superficiels notamment pour les sols les plus calcaires. Les agriculteurs sont confrontés aux problématiques liées à ce manque de terre : des fortes charges en éléments grossiers (cailloux et pierres calcaires) qui gênent le développement des plantes, des besoins en eau plus important, des réserves en fertilisants plus faible et/ou bloquées par la présence de calcaire, un potentiel de rendement moins élevé. Les agriculteurs ont besoin de saisir toutes les opportunités potentielles à l'amélioration de leurs terres, et un apport de sédiments fluviaux peut y contribuer.

En 2012, sur la base d'approches expérimentales, la Chambre d'agriculture de la Charente-Maritime a constaté un fort potentiel à valoriser les sédiments du canal de Marans/La Rochelle pour améliorer des sols agricoles. Cependant, cette pratique ne bénéficie d'aucune référence ou méthodologie de gestion.

Actuellement, de nombreux acteurs sur le territoire national producteurs de sédiments (Ports, VNF, EDF, Conseils Départementaux, Conseils Régionaux), intéressés par la valorisation agricole, se heurtent à ce manque de savoir-faire et sont dans l'attente de données et de retour d'expériences.

Le projet VASC va permettre de démontrer l'intérêt de la valorisation agricole de sédiments de dragage et de dresser le cadre méthodologique, validé par l'ensemble des acteurs, pour autoriser le développement de cette filière.

fieldfisher

Marie-Léonie Vergnerie
Avocate Associée
Droit de l'Environnement

48 rue Cambon, 75001 Paris

Tel : +33 (0)1 70 37 81 00
mlv@fieldfisher.com

IMPACTS DE LA LOI SUR L'ECONOMIE CIRCULAIRE DANS LES CHANTIERS DE DEMOLITION ET DE CONSTRUCTION

THE IMPACTS OF THE CIRCULAR ECONOMY ACT ON DEMOLITION AND CONSTRUCTION PROJECTS

La loi sur l'Economie Circulaire, publiée en février 2020, contient plusieurs dispositifs visant à améliorer la gestion des déchets et des ressources dans les chantiers de démolition et de construction.

Parmi les mesures-phares, on compte notamment le renforcement du diagnostic préalable au chantier, la création d'une filière de responsabilité élargie du producteur, ou encore des spécificités sur la sortie du statut de déchets des terres excavées et sédiments.

Chacun de ces dispositifs offre des perspectives d'économie circulaire intéressantes, mais s'assortit également de contraintes d'ores et déjà âprement contestées, ainsi que d'incertitudes liées aux multiples renvois à des textes d'application (près d'une centaine pour l'ensemble de la loi).

La présentation a pour objet de clarifier les contours juridiques de ces dispositifs et de la responsabilité des divers acteurs du chantier.

The Circular Economy Act, published in February 2020, contains several provisions aimed at improving waste and resource management in demolition and construction projects.

Among the key measures are the strengthening of pre-project assessments, the creation of a system of extended producer responsibility, and specificities on the end-of-waste status for excavated soil and sediments.

Each of these measures offers interesting prospects for circular economy, but is also accompanied by constraints that are already fiercely contested, as well as uncertainties linked to the numerous references to application texts (nearly a hundred for the whole Act).

The aim of the presentation is to clarify the legal scope of these provisions and the responsibilities of those involved with these projects.

Laurence Lanoy
Docteur en droit
Avocat / Spécialiste en droit de l'environnement
3, rue Antoine Arnauld • 75016 PARIS
Tél. +33 (0)1 45 20 13 10 •
Fax : +33 (0)1 45 20 14 59 •
llanoy@laurencelanoy.com

Le projet d'arrêté sur la sortie du statut de déchet des terres excavées polluées dans les opérations de construction

The draft decree on the removal of the waste status of polluted excavated land from construction operations

Les terres excavées provenant des opérations de construction et d'aménagement sont juridiquement considérées comme des déchets lorsqu'elles sortent de leur site d'excavation. Elles doivent dès lors être envoyées dans une installation autorisée pour traitement afin d'être éliminées ou valorisées, ce qui rend leur réutilisation difficile et peut s'avérer particulièrement pénalisant pour d'importants chantiers tels que le Grand Paris ou la préparation des Jeux Olympiques de 2024.

Face à cet enjeu, un projet d'arrêté est en cours d'adoption afin de prévoir la sortie du statut de déchet des terres excavées, ce qui permettra notamment la réutilisation de cette ressource lors d'une opération réalisée sur un site pollué.

Le projet d'arrêté vise les terres, cailloux et boues de dragage relevant de certaines rubriques de déchets prédéfinies du Code de l'environnement et destinées à une réutilisation en génie civil ou en aménagement et fixe les critères de leur sortie du statut de déchet. Ainsi, les terres excavées doivent respecter des exigences définies dans des guides préparés par le Ministère de l'Environnement et assurer le maintien de la qualité des sols du site receveur, la préservation de la ressource en eau et des écosystèmes qui y sont présents ainsi que leur compatibilité avec l'usage futur de ce site. Elles doivent également faire l'objet d'un contrat de cession passé entre le maître d'ouvrage du site d'excavation et un tiers. Lorsque ces conditions sont remplies, les terres ainsi cédées perdent leur statut de déchet et peuvent dès lors être directement valorisées par le tiers repreneur sur son site sans passer par une installation de traitement des déchets.

Afin d'assurer la traçabilité de ces terres, le projet d'arrêté impose la mise en place d'un numéro d'identification et le référencement de l'installation de valorisation pour chaque lot de terres excavées. Les contrats de cession doivent également inclure certaines mentions obligatoires relatives aux terres.

Le projet d'arrêté devra apporter des garanties suffisantes pour maintenir un contrôle efficace des terres excavées et prévenir toute atteinte à l'environnement.

Laurence Lanoy, avocat spécialiste en droit de l'environnement, fera le point sur les enjeux et les contours de ce projet. Elle présentera les modalités concrètes d'application de ce régime ainsi que les avantages attendus en termes de valorisation des sols pollués dans le cadre des grandes opérations de construction et d'aménagement.

* * *

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

GRS VALTECH
112, chemin de Mure
ZAC du Dauphiné
69780 St Pierre de Chandieu

Contact : Laurent JAY
Responsable Commercial Valo Terra
laurent.jay@grsvaltech.fr
tel. 06 15 30 90 19

Valorisation des terres traitées : en route vers l'économie circulaire

Alors que la gestion habituelle des matériaux pollués et des filières ne prend pas en compte les potentiels de recyclage ou de valorisation des matières, qui ne sont pas étudiés. GRS VALTECH a développé des solutions novatrices pour favoriser la valorisation des terres traitées. Nos solutions s'articulent autour de deux axes :

- Le développement d'un accompagnement global ou à la carte pour définir et optimiser les potentialités de recyclage ou de valorisation matière au cas par cas,
- Le développement d'un process de traitement favorisant la production de matières premières secondaires exemptes de pollution et ainsi conformes au réemploi.

Dans le cadre de Plans de Conception de Travaux (PCT), nos experts ont développé une approche spécifique pour favoriser des techniques orientées vers l'économie circulaire, avec :

- L'interprétation (ou l'assistance à l'interprétation) des données par une connaissance des matières et des matériaux,
- La réalisation d'essais préalables au traitement pour optimiser les possibilités de recyclage et de valorisation,
- L'étude de la conformité de l'opération de recyclage et de valorisation dans le cadre de la réglementation.

Pour aller encore plus loin dans cette démarche environnementale, nos équipes ont mis en oeuvre un process de traitement résolument tourné vers la valorisation maximale. Ainsi, ce process garantit la valorisation sous forme de matériaux calibrés pour des usages futurs multiples de 90% des matériaux.

Ce process novateur assure notamment :

- Le traitement de la problématique organique et métaux
- Le suivi analytique à toutes les étapes du traitement
- La traçabilité, non dilution et décontamination de la boucle de recyclage
- L'amélioration et la garantie de la qualité géotechnique des matériaux (type classe GTR D3)
- La consommation d'énergie limitée
- L'utilisation des eaux météoriques : absence de rejets aqueux

Les matériaux ainsi traités garantissent un approvisionnement durable à partir de matières 1ères secondaires :

- Réemploi/réutilisation (selon statut de déchets) :
    - Remblais,
    - Technique routière,
    - Aménagements.
- Recyclage/valorisation matière (transformation calibration produits) :
    - Terres fertiles "technosol"
    - Bétons (ciments et granulats)
    - VRD (granulats)
    - Enrobés/ballasts (granulats)

Projet SPL2 Rives –une réhabilitation de friche industrielle au long cours, centrée autour de l'économie circulaire et la préservation des ressources

Amélie ROGNON
Responsable Développement

Département Dépollution & Réhabilitation de sites
GROUPE ORTEC
Tél. + 33 (0)4 42 12 15 90 / Mob. +33 (0)6 14 02 02 27

Caractère innovant ***Innovative nature***	Il s'agit d'un démonstrateur de la ville durable avec une **vision croisée des métiers/compétences (aménagement –construction / dépollution)**. La gestion des sols dans le cadre de ce projet d'aménagement urbain met le **recyclage et l'économie circulaire au centre du processus**. Pour ce faire, des outils dédiés sont développés (essais laboratoire, essais pilotes, plateformes intégrées) et permettent la mise en œuvre des techniques de traitement, valorisation et réemploi alternatives, ambitieuses qu'elles soient connues ou expérimentales- avec un objectif : tendre vers le « ZERO EVACUATION ».
Mots clés ***Key words***	Economie circulaire, valorisation des terres excavées, Valorisation agro-économique, ville durable, traitement sur site (stabilisation, désorption thermique), plateforme intégrée de chantier

Résumé :

Avec le projet urbain des Deux-Rives, Strasbourg se révèle au travers du paysage et s'affirme comme ville-port en établissant un lien entre la France et l'Allemagne (dont l'impulsion est partie de la création d'une ligne de tramway reliant les 2 pays en 2017).

Le projet prévoit en effet la **reconversion d'un secteur industriel morcelé**, situé le long du Rhin et des bassins portuaires, en un ensemble cohérent avec de l'habitat, des bureaux, des commerces, des équipements publics et culturels, un vaste réseau de parcs et promenades toutes les activités qui font la ville.

Sur un territoire de 75 hectares (zone d'aménagement concerté des Deux Rives), 470 000 m² de surface de plancher, dont 4700 logements et 30% d'activités socio-économiques se développeront **sur les quinze prochaines années**. Des lieux de vies intenses et un habitat au bord de l'eau s'y dessineront au sein de 4 nouveaux quartiers (Citadelle, Starlette, Coop et Rives du Rhin), afin d'y accueillir à terme 20 000 habitants (9 000 nouveaux logements avec près de 1 000 logements développés par an).

Démonstrateur de la ville durable, le projet urbain des Deux Rives construit donc la ville sur la ville pour éviter l'étalement urbain et préserver les espaces naturels et agricoles. L'approche est à la fois délicate et engagée. Délicate parce qu'elle conserve le patrimoine et les sédiments de l'histoire, engagée parce qu'elle privilégie le réemploi et l'exemplarité environnementale.

Concernant plus spécifiquement le volet environnemental du projet et dans la mesure où les travaux d'aménagement et de construction seront réalisés sur une quinzaine d'années, le **maitre d'ouvrage**

SPL DEUX RIVES a souhaité recourir à des solutions innovantes, durables et économiquement intéressantes :

- **de « mise conformité » sanitaire des sols,**
- **de valorisation (agronomique)**
- **et de traitement des matériaux (géotechnique, thermique, biologique, chimique) pour leur réutilisation.**

La réalisation des travaux du volet environnemental se base sur le principe central de valorisation des matériaux du site da façon à tendre vers le « ZERO EVACUATION » et « ZERO APPORT ».

Outre la **place et de temps disponibles, l'un des avantages du projet est la connaissance environnementale du secteur** puisque ce dernier a fait l'objet de nombreuses études (caractérisations et diagnostics environnementaux) sur les 20 dernières années.

En complément des plans guides de maitrise d'œuvre urbaine, **un plan guide de valorisation des sols – VALOZAC-** a été réalisé et constitue le **fil conducteur de toute l'opération de reconversion des sols** car il présente dans un document unique la philosophie de **gestion des sols pour atteindre une compatibilité des usages futurs avec les sols en place, sur les sujets environnementaux, agro pédologiques et géotechniques.**

La démarche VALOZAC s'appuie d'une part sur une compréhension fine et typologique des sols, de leurs caractéristiques et d'autre part sur le dialogue avec le projet de maîtrise d'œuvre urbaine pour identifier les opportunités et optimiser les coûts de travaux.

Dans ce contexte, les sols ont été appréhendés selon une vision intégrée, typologique, et finalisée (logique « matériaux ») tenant compte de la répartition spatiale et verticale des sols selon les facteurs géologiques, pédologiques, historiques, chimiques pour pouvoir estimer au mieux les sols en place peu ou pas contraints et les matériaux potentiellement valorisables dans la perspective des terrassements.

Ces reconnaissances et leurs interprétations croisées ont conduit à :

- l'élaboration d'un catalogue de 22 horizons de référence (type de matériaux) identifiés sur la ZAC (12 faciès de remblais et 10 faciès de terrains naturels) qui ont ensuite été regroupés pour former 5 classes de matériaux pour la valorisation opérationnelle :
    - remblais à valoriser,
    - terre végétale à valoriser,
    - remblais à trier,
    - naturels à valoriser (limons et sables limoneux),
    - sables à valoriser.

  Leur qualité chimique au regard de la compatibilité sanitaire est traitée en parallèle.

- la rédaction du plan guide de valorisation des sols proprement permettant ainsi d'identifier :
    - les secteurs où les sols ont un potentiel de valorisation pour un usage géotechnique ou agropédologique ;
    - les secteurs où les sols doivent être améliorés (sanitaire ou géotechnique) eu égard au projet de reconversion ;
    - les secteurs nécessitant un apport de matériaux pour la création de voiries, d'espaces verts, d'espaces plantés, de parc ....

La connaissance actuelle du site et les orientations de projet ont mis en évidence plusieurs limites que la démarche de mise en état sanitaire et de valorisation s'est attachée à repousser :

- donner une **vision complète des sols et comprendre leur répartition**, afin de **quantifier les opportunités de réemploi** selon les caractéristiques géotechniques, environnementales et agro-pédologiques;

- **limiter les évacuations** en installation de stockage de terres excavées excédentaires, les coûts associés et les nuisances de transport ;
- **limiter les apports** de substrats et terre végétale extérieure pour le projet, afin de réduire les nuisances, limiter les coûts et les incertitudes sur la qualité de ces matériaux d'apport ;
- **adapter le projet en termes de nivellement et conception des ouvrages** pour limiter les mouvements de déblais-remblais et l'exposition aux sources de pollution ;
- **valoriser de manière sanitaire, structurelle et pédologique les sols en place :**
  - ✓ ***Par le traitement des sols non compatibles sanitairement (environ 20 000m3 à ce jour).***
    A cet effet, des essais en laboratoire et pilote sur site sont réalisés puis complétés par des opérations de traitement ***par voie in situ ou sur la ZAC DEUX RIVES via une plateforme intégrée de chantier (plateforme MEC)*** *– ce qui est possible considérant la nature des sols à traiter (remblais et alluvions) et les polluants en présence (composés HC majoritairement).*
    Les techniques in situ et sur site prévues à ce jour et qui sont pour la plupart matures sont :
    - *le traitement biologique par biotertre / biopile,*
    - *la désorption thermique (3 thermopiles en cours de traitement),*
    - *la stabilisation physico-chimique (travaux en cours).*

    Ces dispositions permettent de sécuriser les dimensionnement et donc les couts et délais associés.

  - ✓ ***Par leur traitement en vue de créer*** *des terres fertiles et des matériaux support de constructions/voiries via deux plateformes techniques, appelées plateformes TECH (géotechnique) et AGRO (agronomique)*

- **améliorer le bilan écologique** du site tout en assurant sa mutation :
  - ✓ *En* ***restituant également des emprises de sols fertiles végétalisés en prairie****, favorables au niveau agronomique et écologique, et* ***supports transitoires*** *pour les futurs aménagements paysagers de la ZAC qui seront progressivement réalisés ;*
  - ✓ *En* ***limitant la prolifération des plantes invasives.***

<u>Acteurs du projet :</u>

Client : SLP Deux Rives (Aménageur urbain)

Entreprise de travaux de dépollution (Plateforme MEC) : Ortec Générale de Dépollution

Moe volet environnemental : Archimed Environnement

Dépollution raisonnée d'une ancienne friche industrielle

Jonathan Sénéchaud, Développement d'activité - Colas Environnement

jonathan.senechaud@cer.colas.fr

Le renouvellement des friches en zone urbaine tendue prend tout son sens depuis maintenant plusieurs années avec l'objectif de Zéro Artificialisation Nette du Gouvernement.

C'est dans ce contexte et en collaboration avec un Bureau d'Etude spécialisé en Sites et Sols pollués, que les équipes de COLAS ENVIRONNEMENT ont su avoir une gestion responsable et raisonnée quant à la dépollution d'une ancienne friche industrielle.

Sur ce site, les études avaient mis en évidence plusieurs zones d'impacts en COHV et en HCT sur les sols ainsi qu'un impact limité en Chrome VI dans les eaux souterraines. Dans ce cadre, les enjeux principaux des opérations de réhabilitation étaient d'assurer la maîtrise : des risques sanitaires vis-à-vis des usages futurs, des impacts environnementaux, des délais, des coûts ainsi que la traçabilité des matériaux pollués du chantier.

Nos équipes sont intervenues en parallèle des travaux de déconstruction des anciens bâtiments d'usine sur un site en complète reconversion avec pour objectif final une nouvelle vie pour ce site historique et le recyclage d'un foncier anciennement dégradé qui a pu être revitalisé.

Les méthodologies chronologiquement engagées et qui vous seront présentées ont notamment été les suivantes :

- Excavation et traitement 'on site' de plus de 7 000 m^3 de sols impactés par des polluants volatils (solvants chlorés) par criblage ventilé avec filtration des effluents extraits. L'optimisation a débuté dès le stade de l'appel d'offre en proposant cette variante de traitement 'on site' éprouvée lors de précédents chantiers et dimensionnée dans notre laboratoire interne ;
- Traitement par pompage puis filtration des eaux impactées en hydrocarbures totaux ;
- Gestion d'anciennes cuves à fioul avec excavation et traitement en biocentre de plus de 2 000 tonnes de terres impactées en HCT non volatils ;
- Gestion en filière agréée de plus de 10 000 tonnes de bétons non inertes et non réutilisables directement sur site ;
- Traitement des eaux impactées en Chrome VI par injection de substrat carboné et réduction chimique in situ.

Durant l'ensemble des phases, COLAS ENVIRONNEMENT en partenariat avec le MOA et son MOE a cherché à amoindrir les volumes de matériaux à évacuer hors site en filière classique pour permettre au maximum la réutilisation par substitution des terres traitées.

Name: De Waele
SurName: Rogier
Title: Sales and Account Manager Greensoil Group

INNOVATIVE BIOREMEDIATION OF MTBE AND ORGANICS: IN SITU BIO-SPARGING AND HIGH YIELD MTBE BIOREACTOR DEVELOPMENT

R. De Waele, M. De Camillis*, J. Dijk*, L. Bastiaens **, M. Slooijer**

** GreenSoil Group*
*** VITO, organisme de recherche Flamand*

Corresponding author: r.dewaele@greensoilgroup.com

An industrial site in Belgium, is contaminated with a variety of contaminants. Most of the contamination is difficult to reach in ATEX zones due to the infrastructure and the presence of storage tanks. A field test was conducted to investigate the feasibility of treating the different contaminants in-situ with aerobic bioremediation. Due to the mobile character of MTBE and the size of the plume, also a specific MTBE-bioreactor was applied.

The field tests were performed at the site in different areas. Pilot 1 was conducted in an uncontaminated area to test the radius of influence of the biosparging system. Pilot 2 was conducted to test the feasibility of stimulated aerobic biodegradation in a contaminated area. Groundwater was recirculated continuously. In addition, a SVE system was installed in the vadose zone, mainly to prevent emissions due to the biosparging. A bioreactor was used to prove biological MTBE degradation. The MTBE bioreactor was fed from a groundwater extraction well and the effluent was infiltrated in an infiltration well.

In the first months, the redox conditions remained strongly reduced. Additional laboratory and field tests done by GreenSoil and Tauw confirmed that the natural oxygen demand of both soil and

groundwater, was extremely high. After slightly adapting the system, the redox conditions improved significantly. Hydrocarbons and monochlorobenzene were removed with an efficiency of >99%, while the in-situ MTBE removal efficiency was in the range of 56-76%. Despite these start-up issues, the radius of influence of the air infiltration system appeared to be around 6m.

In the first 9 months, the flow of the MTBE bioreactor was limited due to the high COD of the groundwater and the rather low influent concentrations (±. 1000µg/l). It was found that the high COD/BOD was caused by a formerly unknown organic acid. Both MTBE and TBA were degraded with >99% efficiency in the bioreactor to concentrations below detection limit. It was observed that in-situ MTBE degradation was significantly higher (93 %) closer to the infiltration well were the effluent from the MTBE reactor was infiltrated than in the wells further away, indicating the additional effect of bioaugmentation.
The outcomes of these feasibility tests demonstrated the active biological activity in these systems which promoted the strong reduction of contaminants.

VITO is the patent owner of the bioreactor, however GreenSoil has the exclusive license on this technology in Europe, and it is the preferred partner in the rest of the world. The team work of the parties involved allowed a noteworthy development of the application of the bioreactor as part of in-situ and on-site MTBE bioremediation. This feasibility study manifested the importance of collaboration among research institutes, consultants and contractors to further improve existing technologies. The fruitful collaboration results in the client request to develop a full-scale remediation system for this site which is planned to become operational in 2020-2021.

Combinaison de technologies d'assainissement

Extraction améliorée via tensioactifs (Surfactant Enhanced Extraction (SEE)) suivi d'une oxydation chimique in-situ (ISCO) ou d'une réduction chimique in-situ (ISCR)

Cas d'étude européens

Glenn Heernaert (glenn@terracorrect.be) [1]*
[1] TerraCorrect bvba, Ooigem 8710, Belgium
*Correspondant auteur: Glenn Heernaert (+3476204074),
E-mail: Glenn Heernaert (glenn@terracorrect.com)
(TerraCorrect bvba, Ooigem Belgium)

Contexte/objectifs :

ISCO et ISCR sont des techniques d'assainissement des sols et des eaux souterraines connues. Ces technologies sont limitées à des sites ayant des contaminations mesurables en liquides légers ou denses en phase non-aqueuse (NAPL) qui nécessiteraient stoechiométriquement de forts dosages de réactifs ISCO ou ISCR afin de traiter la masse de NAPL observée. Le traitement de NAPL est soit impossible soit non rentable comme stratégie de traitement autonome sur la majorité des sites avec ISCO et ISCR. Les effets limitant l'efficacité des ISCO et ISCR dans le traitement des NAPL sont principalement liés à deux facteurs hydrogéochimiques. Le premier étant la phase de partitionnement (phase de cloisonnement) des contaminants insolubles qui réduit leur « disponibilité » cinétique pour l'assainissement physique, biologique et/ou chimique. Le second étant la tension superficielle relativement élevée des réactifs ISCO et ISCR, ce qui retarde leur dispersion chimique lors de la mise en œuvre d'injections dans le sous-sol..

Approche/activités :

L'extraction améliorée via tensioactifs (SEE (surfactant enhanced extraction) a fourni une stratégie inédite, en combinant la SEE avec l' ISCO et ou l'ISCR , en augmentant la « disponibilité » des contaminants, en les désorbant des surfaces de sols et de roches sous-jacentes et en brisant les NAPL et les phases de globules, et au niveau moléculaire, augmentant leur miscibilité dans l'eau souterraine pour l'enlèvement de masses physiques. La SEE réduit aussi la tension de surface de l'eau et prévient la tension interfaciale entre la NAPL et l'eau à leur jonction. Ce faisant, cela réduit la masse résiduelle des contaminants NAPL et globules/ganglions, ce qui améliore la porosité des voies effectives, et le contact, au sein de la zone à traiter, l'amélioration de l'état du site pour une étape ultérieure, séparée, de traitement ISCO ou ISCR, de la masse des contaminants sorbés et/ou dissous, et réduit considérablement le risque de rebond des contaminants.

Résultats/Enseignements tirés :

Ce papier représente l'impact d'une nouvelle stratégie combinée , c'est à dire utiliser les tensioactifs dans les SEE in-situ pour dissoudre la NAPL, afin de minimiser les exigences stœchiométriques des réactifs ISCO ou ISCR pendant l' oxydation ou réduction. Ce faisant, cela permet de réaliser un accroissement significatif des performances d'assainissement mesurable en heurs, jours ,voir semaines, sans risque de rebond de contaminants, typique des ISCO et ISCR et donc aussi une amélioration économique. Cette approche confirme aussi qu'il ne faut pas mélanger le tensioactif avec l'ISCO ou l'ISCR afin d'améliorer les méthodes d'assainissement chimique.

Mots clés: tensioactifs, ISCO, ISCR

THE INNOVATIVE *SPIN*® INJECTION TECHNOLOGY PUSHES BOUNDARIES OF *IN SITU* SOIL REMEDIATION: CASE STUDIES

Vandenbruwane, Jeroen° (Director)
°Injectis SA, Achterstraat 35, B-8790 Waregem, Belgium

Background/Objectives.

For the remediation of soil and groundwater contaminations, *injection-based in situ* techniques are more and more used as a sustainable and cost-effective remediation alternative for *ex situ* techniques or pump&treat systems. Several injection techniques and strategies exist to deliver the reagents to the aquifer and bring the reagents in contact with the pollution. However, aquifers characterized by low permeability soil material or aquifers with a heterogeneous soil build-up remain difficult to treat by conventional injection techniques. Injection wells are not suited in these circumstances. Injection flow rates are rather limited in case of low permeability soils and injection fluids are injected in the most permeable soil layers in case of heterogeneous soils due to the longer well screens.

In these circumstances, *direct push* technology (DPT) injections is frequently been used as an alternative since the injection openings have a limited vertical dimension and injection should be able to focus on very small soil layers. However, DPT injections have several limitations, that narrows its applicability. Soil compaction and smearing at the point of injection reduce the porosity and thus permeability of the soil. This leads to the need of increased injection pressures, what may cause short-circuiting and daylighting of the injection product. Moreover, hammering is often used to drive the rods and injection point into the soil. These vibrations create a preferential channel along the injection rods, leading to blow-out of the injection solution along the rods.

Approach/Activities.

To overcome the above described problems and limitations observed with the conventional injection methods, Injectis has developed a direct injection technique where compaction and smearing at the injection openings is avoided and hammering is not necessary; the patented SPIN® injection technology. As a consequence, injection pressure can be decreased and effects like blow-out and daylighting of the injection product are avoided.

Results/Lessons Learned.

In this presentation we will present the experiences with the application of the SPIN® injection technology at different sites with challenging geologies. We will discuss the distribution of the injected reagent, problems encountered during the injections and how they were resolved and the effect on the degradation of the contamination. We will also show how the information gathered during the injections can be used to generate e.g. cross sections of the soil permeability.

HYMAG'IN
DES DÉCHETS INDUSTRIELS
AU SERVICE DE L'ENVIRONNEMENT

Magnetite, an innovation for the treatment of contaminated matrices

Céline BONNAUD, CTO HYMAG'IN, Grenoble – France
celine.bonnaud@hymagin.com

HYMAG'IN is a startup based in Grenoble specialized in the production of magnetite powder, an iron oxide, for a wide range of applications and particularly for water and soil treatment.

Well known in the literature for its adsorption[1,2] and reduction[3,4] capacities, magnetite suffers today from low industrial production. The use of waste and by-products from the steel industry as raw material for the production of its magnetite allows HYMAG'IN not only to claim large-scale production, but also to fit into a circular approach through material recovery. This particularity also allows HYMAG'IN to offer different grades of magnetite according to the type of waste or co-product used. The physico-chemical properties of magnetite can thus be optimized in order to meet customer needs.

The objective of this presentation is to present experimental results obtained to date for the qualification of magnetite for the treatment of contaminated matrices.
The results of adsorption of multiple TME (Cu, Zn, As, Cd, Co, Cr...) by magnetite on synthetic and real matrices will be presented. A comparison of the efficiency of various magnetite powders and iron(0) on the reduction of hexavalent chromium and VOC will follow. Finally, a presentation of results obtained for advanced oxidation will be presented and discussed.

A conclusion on the implementation of magnetite powder (filters, fluidized beds, permeable barriers, mixing...) for the treatment of liquid effluents or solid matrices will finally allow to open the discussion about our current search for partners.

1. Namdeo, M. Magnetite Nanoparticles as Effective Adsorbent for Water Purification-A Review. *Adv. Recycl. Waste Manag.* **2**, (2017).
2. Lasheen, M. R., El-Wakeel, S. T., El-Shahat, M. F., El-Sherif, I. Y. & Sabry, D. Y. Adsorption of heavy metals from aqueous solution by magnetite nanoparticles and magnetite-kaolinite nanocomposite: equilibrium, isotherm and kinetic study. *Desalin. Water Treat.* **57**, 17421–17429 (2015).
3. Lasheen, M. R., El-Sherif, I. Y., Sabry, D. Y., El-Wakeel, S. T. & El-Shahat, M. F. Removal and recovery of Cr (VI) by magnetite nanoparticles. *Desalin. Water Treat.* **52**, 6464–6473 (2014).
4. Minella, M. *et al.* Photo-Fenton oxidation of phenol with magnetite as iron source. *Appl. Catal. B Environ.* **154–155**, 102–109 (2014).

Fractured crystalline bedrock - Is thermal an option or are we wrong?

Niels Ploug (nip@kruger.dk, Jesper Holm,Krüger A/S, Søborg, Denmark and Steffen Griepke, Cascade Thermal Inc., Gardner, MA, USA)

Background. Investigating and remediating fractured rock is a lot more complex than treating a porous media like sand or clay. Thermal has previously been used with success in sedimentary bedrock but it has for a long time been evaluated unlikely to succeed in igneous and metamorphic bedrock settings e.g. according to ITRC's selection matrix table for Remediation in Fractured Rock. However with a thermal conductivity of granite in the range of 1,73 - 3,98 W/mK it is possible to transfer heat through the rock if the heating technology is based on Thermal Conductive Heating (TCH). Vapor extraction is critically in fractured rock and different from a porous media.

Activities. A 29.000 m^3 CVOC source zone was located on the small granite island of Kvarnholmen, Sweden. The source zone consisted of a 10 - 20 m deep unsaturated zone and a 12 m deep saturated zone. Water flow was primarily controlled by the tide which was modest. In order to safely extract the in situ created steam, all 105 heater wells were gravel packed. To keep pneumatic control, a screen was installed at each heater well with a grout plug above. In the crushed rock formation above the firm rock, a secondary ventilation system was installed to capture vapors not collected by the deeper system. The remedy was operated for 6 months at what point an average temperature of 140 °C was reached. The remediation achieved all remedial goals in the groundwater. Soil gas measurements reached all goals except for two minor exceedances. The use of Soil gas measurements/analysis as a remediation target in thermal remedies will be discussed further at the presentation.

In Trollhättan, Sweden a 20 m deep CVOC source zone was located. The 5 m topsoil was excavated exposing the surface of the bedrock. A gravel plenum was installed for extraction purposes before the topsoil was reestablished. Instead of individual extraction in the boreholes the heater wells were gravel packed up and into the gravel plenum where the in situ produced steam was extracted. By hydraulic testing each of the 60 heater well boreholes during well installation, it was clear that three wells had the potential to produce an uncontrolled amount of water/steam. To limit this, a screen was installed in the borehole and a grout plug was installed at the top of the firm rock. By operating the regulating valve a slight overpressure was held in the well reducing the inflow of water. During the 119 days of heating, the remedy reached an average temperature of 120 °C and met all remedial goals.

"The world's deepest thermal granite remedy" is now concluded successfully in Varberg Sweden. DNAPL was found down to 45 meter below (surface 8mbs) using Flute Liners. The site consisted of granite from 5 mbs and the target treatment zone was from surface down to 50 mbs. Water table was located at 2 mbs. Extraction on such depths is critical and has to be taken very seriously during engineering. The granite was low fractured with a total porosity of less than 0,5% equaling less than 200.000 l pore/fracture water in the target zone. A total of 3.000 kg of CVOC was removed from the source showing that DNAPL indeed was present at the site.

Lessons Learned. Several full scale remedies have shown that TCH as can definitely be used in igneous and metamorphic bedrock. By heating the entire rock using TCH technology all fractures above and below the water table will be treated and thereby overcome challenges like e.g. dead end fractures that cannot be targeted by remedies based on hydraulic conductivity.

It is mandatory to have experience in how to run the heater wells in such settings since they can overheat in certain areas with little water flow but on the same time it is important to have a heating system robust enough to deliver enough heat in higher water flowing areas. It is also extremely important to create a robust design especially related to how to extract vaporized contaminants. So the art is to be able to both vaporize contaminants and capture them but at the same time slow down high flowing areas. Mass balance off gas profiles at granite site is similar to those with porous media like sand however we do see slight different patterns depending on the extraction strategy. Site cool down will normally be slower due to the minimal amount of water flowing in the rock. 18 months after heating was terminated, one site still had a temperature of 70 °C.

Krüger Soil Remediation has proven that we are able to treat fractured rock and get a thorough clean up that would not be possible using technologies based on hydraulic conduction.

Jeudi 5 novembre 2020 / Thursday November 5, 2020

09h00
Accueil et inscription des participants / Welcome and participant's registration

SESSION C - Part. 2
Modérateur : Laurent Thannberger, Directeur scientifique - Valgo

Transdisciplinarité - Transferts technologiques - Innovations – Formations
Transdisciplinarity - Technological Transfers - Innovations - Training

09h20
Oxydation chimique *in situ* en zone saturée par une technologie électrochimique innovante : EBR® (Electro Biological Remediation). Retour d'expérience sur site / *In situ* Chemical Oxidation in saturated zone by an innovative electrochemical technology: EBR® (Electro Biological Remediation). On site Feedback
Philippe Oudin, Gérant - Semaco Environnement & Professeur à l'Ecole des Mines de Nancy

09h40
Mieux évaluer les temps de traitement, pour une meilleure intégration des projets de dépollution dans le redéveloppement des friches / Better evaluate processing times for better integration of remediation projects in brownfield redevelopment
Christophe Chêne, Directeur Technique - Soléo Services

10h00
Premiers retours d'expérience sur le dispositif tiers demandeur / First feedback regarding the applicant third party mechanism
Carine Le Roy-Gleizes & Pauline Leddet-Troadec, Avocats - Foley Hoag

10h20
Démarche d'acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en construction - application aux travaux maritimes et fluviaux / Approach the environmental acceptability of alternative materials under construction - application to maritime and river works
Guillaume Attard, Chef de projet - Cerema

10h40
Pause café / Coffee break

11h00
Développement de nouveaux outils de caractérisation des sites et sols pollués basés sur l'apprentissage automatique / Developing new tools for the characterization of polluted sites and soils, based upon automated learning
Aurélien Triger, Président - EvalDépol

11h20
Cartographie et bilan de masse des pollutions de type organique avec prise en compte des incertitudes / Mapping and mass balance of organic type pollution taking into account uncertainties
- *Juliette Chastanet, Directrice de projets R&D - Burgeap*
- *Jean-Baptiste Matthieu, Ingénieur - Kidova*

11h40
Caractérisation de la poly-exposition chimique des travailleurs en contact avec les terres polluées : Etude préliminaire / Characterization of the chemical poly-exposure of workers in contact with polluted soils: Preliminary study
Karine Gérardin, Responsable d'études - INRS

12h00
Valorisation agronomique *in situ* des sols d'une friche pour développer de l'agriculture urbaine à Pierre-Bénite (69) / Agronomic *in situ* valorization of brownfield soils to develop urban agriculture in Pierre-Bénite (Rhône-Alpes region, France)
Frédéric Dellinger, Gérant - Eranthis Paysagiste Urbaniste

12h20
ECOCIT'EMS : chemin de l'innovation eau-milieux-sols-biodiversité dans les opérations d'aménagement et de gestion des sols / ECOCIT'EMS : water-environment-soil-biodiversity innovation path in development operations and land management
Miléna Gimenez, Chef de projets - Cluster Eau-Milieux-Sols, Paris Ile-de-France

12h40
Discussions - Pitch exposants / Exhibitors pitches

13h00
Déjeuner / Lunch

14h00
Cas de pollutions au mercure multi-média : déconstruction des bâtiments imprégnés, dépollution des sols et pilote de bioprécipitation en nappe / Multi-media mercury pollution: deconstruction of impregnated buildings, soils remediation and bioprecipitation pilot
Sébastien Kaskassian, Responsable innovation - Tauw France

14h20
Déchloration complète des éthènes chlorés et du chloroforme en milieu saumâtre / Complete dechlorination of chlorinated ethens and chloroform in brackish environment
Rogier De Waele, Sales & Account Manager - Greensoil Group (Belgique)

14h40
Nouvelles modalités de gestion des goudrons acides / New ways to manage acid tars
- *Boris Devic-Bassaget, Directeur Technique - Suez Remediation France*
- *Odile Mesnil, Responsable de l'agence de Lille - AECOM Design and Consulting Services*

15h00
Pause café / Coffee break

15h20
Développement d'une technique de traitement *in situ* des PFAS : retours d'expérience des mises en œuvre sur plusieurs continents / Development of an *in situ* treatment for PFAS contamination: lessons learned from applications on several continents
Aurélien Triger, Représentant Technique France - Regenesis

15h40
Activités analytiques sur les contaminants émergents : PFAS / Analytical activities on emerging contaminants: PFAS
Paola Verza, Chef de projets spéciaux - Mérieux NutriSciences (Italie)

16h00
L'évaluation des risques liés aux eaux souterraines basée sur le flux et regard au-delà des lignes directrices réglementées / Groundwater risk assessments based on flows and looking beyond regulated guidelines
Erik Bosmans, Project Manager - iFLUX (Belgique)

16h20
Discussions - Pitch exposants / Exhibitors pitches

Fin du congrès / End of the congress

Oxydation Chimique In situ en zone saturée par une technologie électrochimique innovante : EBR® (Electro Biological Remediation) Retour d'expérience sur site après une année de traitement

OUDIN Philippe (SEMACO Environnement – Université de Lorraine) , ELGRESSY Elie (ELGRESSY Engineering Services Ltd),

Contact : Dr. Philippe OUDIN SEMACO Environnement 29 rue de la Commanderie 54000 Nancy Tel :+333 83 57 34 20 oudin@semaco.fr

Contexte / enjeux

Dans le cadre de la dépollution des sols, la technique d'oxydation chimique in situ (ISCO) est utilisée depuis de nombreuses années. Cependant sa mise en œuvre nécessite la manipulation de substances potentiellement dangereuses pour les opérateurs (oxydants chimiques ou nanoparticules), et l'injection de réactifs chimiques dans les sols peut poser des problèmes notamment en cas de présence de captages d'alimentation en eau potable.

De plus, une fois l'oxydation in situ classique réalisée, les sols ont perdus une grande partie de leur écosystème biologique ce qui peut poser des problèmes dans le cas de zones présentant en surface une biodiversité à conserver.

La technologie EBR® est une technologie innovante d'oxydation chimique in situ basée sur **un couplage entre la production d'espèces chimiques oxydantes directement dans la zone saturée (puits) et d'une simple oxygénation de l'aquifère pour favoriser la biodégradation.** Ainsi, dans certains cas, où seules les techniques In situ (hors pompage/traitement) peuvent être envisagées, la technologie EBR® peut représenter une alternative.

Un projet de recherche et développement est en cours d'élaboration avec l'Université de Lorraine pour, d'une part une meilleure compréhension des phénomènes électrochimiques, et d'autre part une étude de l'application de cette technique au traitement des sédiments.

Principes de la technologie EBR

La technologie EBR® brevetée aux états unis et en Europe a été développée par la société Elgressy et est basée sur l'utilisation de réacteurs électrochimiques hybrides couplant plusieurs types d'électrodes capables de produire in situ une série d'oxydants chimiques dont notamment : • O2 ; • H2O2 ; • OH. ; …

Cette production est obtenue par des mécanismes électrochimiques connus depuis des décennies (tels que la réaction d'électro-fenton) et qui ont fait l'objet d'applications par le passé dans les procédés de traitement des polluants récalcitrants des effluents industriels. Les principes de base de ces réactions sont très bien connus depuis plusieurs décennies.

En plus de ces oxydants chimiques capables d'oxyder les polluants organiques, la série d'électrodes permets la production **d'hydroxydes de Fer ainsi que de magnétite.**

Ces composés ayant la particularité d'être ferromagnétiques et d'engendrer des réactions d'oxydations, il est ainsi possible, par l'application d'un courant électrique entre plusieurs électrodes, de favoriser et même diriger la migration des réactifs dans la zone saturée. Ce principe à fait l'objet d'une communication scientifique au colloque CSME2018 (*Contaminated Sites Management*) à

l'Ecole Nationale Supérieure des Industries Chimiques à Nancy en octobre 2018, ainsi qu'à la conférence INTERSOL 2019

La principale innovation de cette technologie est de pouvoir générer des cycles **d'oxydation** (production et migration d'espèces chimiques oxydantes directement dans l'aquifère) et **d'oxygénation** (production d'Oxygène) par une simple électrolyse de l'eau afin de favoriser la **biodégradation**.

Ainsi l'écosystème biologique du sol peut être maintenu tout en permettant un traitement des polluants organiques, ce qui n'est pas possible avec des techniques d'ISCO classiques.

Avantages de la technologie EBR®

Comparée à une technique ISCO classique, le premier avantage de l'EBR® est l'absence d'injection de substances chimiques potentiellement toxiques dans la nappe.

De plus, les substances réactives n'étant pas injectées dans le sol mais diffusant de manière passive ou contrôlée (courant électrique) dans le sol, il est possible d'orienter la zone de traitement ce qui permets de gérer des modifications de sens d'écoulement en l'absence de tout « *effet piston »* lors du traitement.

Enfin, le principe d'un procédé électrochimique, de par sa nature, est beaucoup plus fiable en termes de mise en œuvre et de contrôle permanent à distance que des systèmes d'injection de fluides dans le sol.

Inconvénients de la technologie EBR®

Les phénomènes mis en œuvre étant basés sur l'électrochimie et sur une migration in situ des substances réactives, la technologie EBR® ne peut être envisagée qu'en zone saturée. Cette technique est également réservée aux milieux très perméables avec une conductivité élevée. En effet, selon la loi d'Ohm, en cas de milieu peu conducteur, l'obtention d'un courant électrique entre les électrodes nécessiterait une tension qui, au-delà d'une certaine valeur, peut présenter des risques électriques à la surface du sol.

Objectifs :

Le but de la présentation ne sera pas de réaliser un cours magistral d'électrochimie mais de présenter un retour d'expérience terrain sur la première implantation de cette technique en Europe et notamment :

Sur le plan fondamental

- Les principes de base de la technique ;
- Les cas où cette technique est adaptée
- Les cas où la technique n'est pas adaptée ;
- des cas concrets relatifs à deux voire trois chantiers en cours.

Sur le plan « Retour d'expérience » :

Le premier site en Europe utilisant cette technologie a été mis en fonctionnement courant 2019 sur un site en fonctionnement impacté par des solvants chlorés dans un sol alluvionnaire à forte perméabilité.

Les résultats après un an de fonctionnement montrent un effet notable du traitement sur les concentrations en solvants dans les eaux souterraines et seront présentés et analysés sous un angle critique notamment en ce qui concerne l'efficacité de la méthode et du rayon d'action envisageable pour chaque puits de traitement.

Sur le plan développement :

Une unité pilote a été mise en place en collaboration avec l'Université de Lorraine afin de pouvoir tester la « *traitabilité* » de plusieurs substances potentiellement polluantes. Des vidéos de présentation de cette technique est disponible aux liens suivants ;

- https://www.youtube.com/watch?v=DO3IP5gkgiM
- https://www.youtube.com/channel/UClIpdYNFfcVn05EPnAnYq1A

Acteurs

Les acteurs en présence sont :

- Le Bureau d'Etude **SEMACO Environnement**
  - Mise en œuvre de la technologie sur site
- **Un site industriel en activité** exploitant une activité de traitement de surface
- La société **ELGRESSY**
  - Concepteur et constructeur des réacteurs électrochimiques

Dépollution des sols et des nappes
Terrassement – Déconstruction
Travaux environnementaux

www.soleo-services.fr

Siège Social :
Zac des Chevries – 11, rue des Chevries
78410 Aubergenville

Mieux évaluer les temps de traitement, pour une meilleure intégration des projets de dépollution dans le redéveloppement des friches

Intervenant : Christophe Chêne
Directeur technique de Soléo Services
8ter, avenue du docteur Schweitzer
69 300 Meyzieu
cchene@soleo-services.fr
06 30 00 94 89

Caractère innovant : Optimisation et prévision des délais de dépollution in-situ

Auteurs : Pierre Giroux[1], Carole Marcon[1], Christophe Chene[1]

[1] : Soléo Services, 8 ter, avenue du Docteur Schweitzer, 69330 Meyzieu, France, cmarcon@soleo-services.fr, cchene@soleo-services.fr.

Mots clefs : Conception de travaux, essai pilote, modélisation, bilan de masse, venting, traitement biologique anaérobie, solvants chlorés.

Objectifs :

La découverte d'une pollution des sols sur une friche industrielle induit un frein à son redéveloppement. L'objectif de cette présentation est, en partant d'exemples précis, de démontrer qu'au stade de la conception de travaux il est important d'évaluer avec précision et réalisme les durées de dépollution. Les essais pilotes terrain, le bon usage du bilan de masse et des flux massiques, ainsi que des simulations simples permettent aujourd'hui de mieux prédire les durées de dépollution.

Résumé :

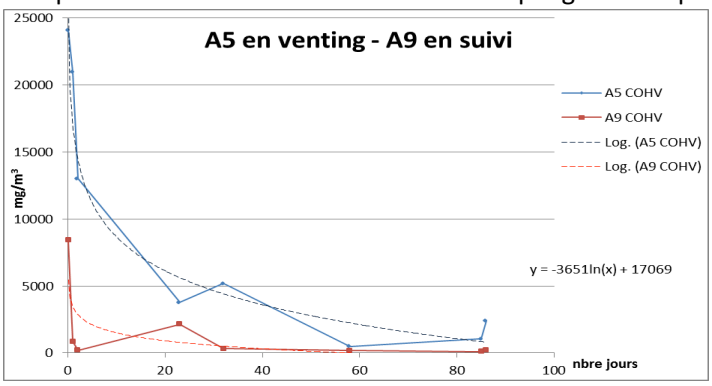
Les durées de dépollution de sols et encore plus des eaux souterraines sont souvent sous-évaluées, par manque de données de base, par sous-évaluation du bilan de masse, par méconnaissance des capacités des techniques mises en œuvre ou simplement par pression du projet de redéveloppement.
Une sous-estimation du temps de traitement est quasi-systématiquement catastrophique pour la gestion du planning et des finances du projet de réaménagement d'une friche.

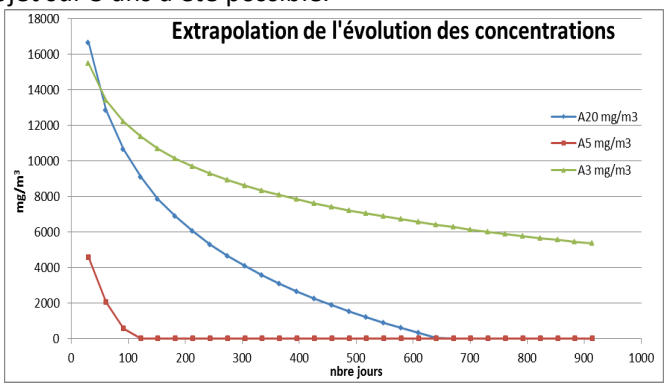
Pour les projets à base de pompage il est toujours important de se poser la question de la cinétique d'extraction et de la comparer au bilan de masse estimé. Lorsqu'il s'agit de traitement biologique ou chimique la cinétique de dégradation doit être connue et maitrisée pour prédire les durées de traitement.

Sur la base de deux exemples concrets, un de venting et un de biodégradation anaérobie de solvants chlorés, il est proposé deux approches méthodologiques différentes pour estimer une durée de dépollution.

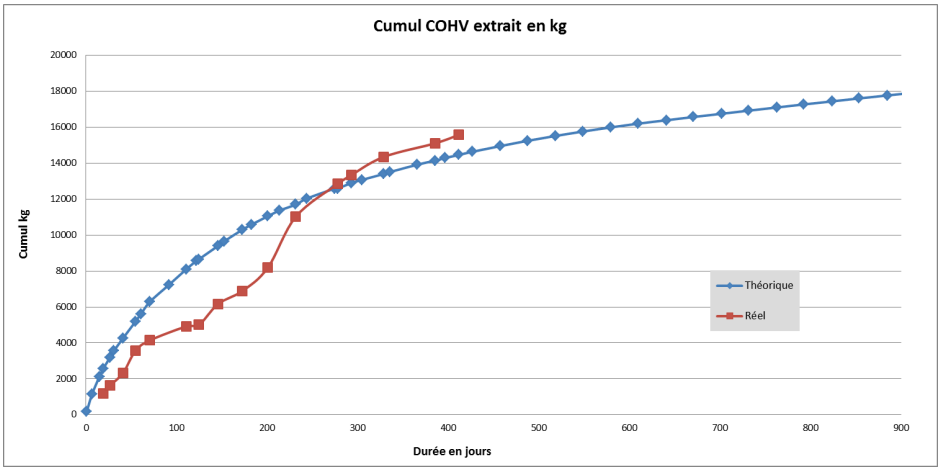
Venting :

Il s'agit d'un site de stockage de produits chimiques sur lequel une pollution importante de la zone non saturée, par des solvants chlorés a été mise en évidence, avec des concentrations à l'état initial, très importantes de l'ordre de 20 g/m^3. L'estimation de masse de solvants chlorés, présente dans les sols, réalisée par le consultant faisait état de 20 à 25 tonnes. Au regard des enjeux du traitement, notamment en termes de coût du traitement de gaz et durée de la dépollution il a été décidé de réaliser un essai pilote de venting sur 3 mois. Cet essai a été mené sur des ouvrages choisis pour leur représentativité vis-à-vis du traitement final. L'interprétation des données a permis de prédire pour chaque ouvrage l'évolution des concentrations extraites en fonction du temps sur 3 ans. En intégrant toutes ces données sur l'ensemble des aiguilles de venting en connaissant leurs concentrations initiales, une prédiction de l'évolution du flux massique global du projet sur 3 ans a été possible.





Ci-dessus sont présentés les résulats de l'essai pilote sur une aiguille et l'extrapolation qu'il a été possible d'en faire sur l'évolution des concentrations sur 900 jours sur les aiguilles de références. L'intégration de la cinétique de récupération sur les 23 aiguilles de venting du projet a permis de construire une bilan massique prévisionnel sur 3 ans d'une vingtaine de tonnes de COHV à extraire, soit dans l'ordre de grandeur des estimations faites sur la base de résultats d'analyses sols. La durée de dépollution a donc été validée à 3 ans. A mi-traitement, la cinétique de récupération est globalement respectée, validant ainsi la démarche de dimensionenment mise en œuvre et les consommations de charbon actif pour la filtration des gaz sont respectées.



Traitement biologique anaérobie :

Les traitements biologiques anaérobies appliqués aux solvants chlorés sont également des solutions techniques dont la durée de dépollution est largement sous-évaluée. De nombreux phénomènes physiques, chimiques et biologiques (dilution, sorption, volatilisation, …) interviennent lors d'un traitement biologique anaérobie de solvants chlorés réalisé in-situ. Néanmoins il est cohérent de considérer que l'action biologique lors d'un

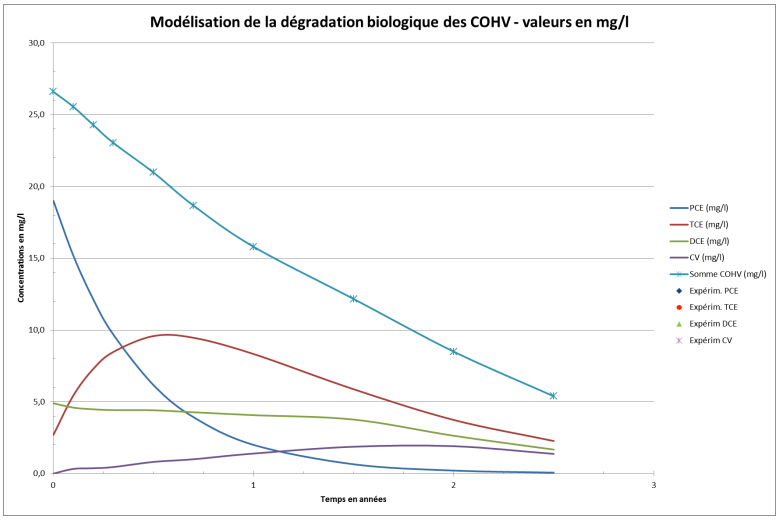
traitement est prépondérante et que celle-ci répond à une loi d'ordre 1 dont l'expression intégrée de la vitesse de réaction est : $C=C_0.e^{-kt,}$ où k est la constante de vitesse de la réaction. Il est donc possible de modéliser simplement la réaction suivante :

$$PCE \xrightarrow{k_1} TCE \xrightarrow{k_2} cDCE \xrightarrow{k_3} VC \xrightarrow{k_4} Ethene$$

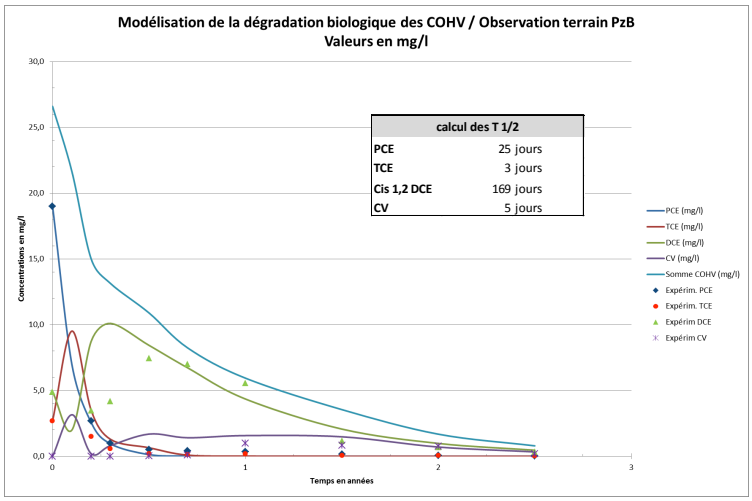
Avec :

PCE : perchloroéthylène ou tétrachloroéthylène,
TCE : trichloroéthylène,
c DCE : cis-1,2-dichloroéthylène,
VC : chlorure de vinyle,

De nombreuses données sont disponibles dans la littérature pour ces constantes de vitesse de réactions (k) et une première application de valeurs moyennes retrouvées dans la littérature, permet de prédire une durée de dépollution de plus de 2,5 ans pour les concentrations initiales suivantes : PCE = 19 mg/l / TCE = 2,7 mg/l / cis-DCE = 4,9 mg/l / CV = 0 mg/l.



Le même modèle peut être utilisé en faisant varier la constante de vitesse de chaque molécule pour essayer de représenter au mieux les conditions réelles observées sur le terrain. Voir figure suivante :



Il apparait alors que les temps de demi-vie entrés pour chaque molécule sont beaucoup plus favorables, que les données de la littérature et que la durée nécessaire pour atteindre des concentrations faibles est de moins de 2,5 ans. Il apparait également que contrairement à ce qui est communément admis sur ce type de traitement, un blocage de la dégradation est observé au stade du cis-DCE et non du CV.

Au-delà de la difficulté d'un modèle simple, à représenter toute la complexité des phénomènes de terrain, il est possible à l'aide de données d'essai pilote terrain, si la durée est suffisante, de calculer des temps de demi-vie, qui permettront d'extrapoler des cinétiques de dégradation et des durées de de dépollution.

En synthèse, il est important de ne pas être exagérément optimiste sur l'estimation des durées de dépollution en se basant sur « son expérience », « son jugement d'expert » ou en subissant une pression trop importante du donneur d'ordre. En appliquant une démarche rigoureuse, en acquérant les données nécessaires et en réalisant les tests de laboratoires et les essais pilotes terrain adaptés, il est toujours possible d'obtenir une estimation réaliste de la durée de dépollution, qui permettra une meilleure gestion des budgets et des plannings de redéveloppement de terrains industriels.

Premiers retours d'expérience sur le dispositif tiers demandeur

First feedback regarding the applicant third party mechanism

Carine Le Roy-Gleizes et Pauline Leddet-Troadec
Avocats au Barreau de Paris
Attorneys at the Paris Bar

Mots clés : *Friches industrielles – tiers demandeur – retour d'expériences – outils contractuels*

Objectif : *Tirer les enseignements des premières expériences de mise en œuvre du dispositif de tiers demandeur*

La loi ALUR a introduit dans le code de l'environnement un dispositif qui permet à un tiers de prendre en charge la responsabilité administrative de la réhabilitation d'un site sur lequel a été exploitée une ICPE, responsabilité qui incombait, jusqu'alors, au dernier exploitant. Ce dispositif tend à faciliter la reconversion des friches industrielles et ainsi encourager des opérations d'aménagement et de construction sur les anciens sites industriels.

Jusqu'à l'adoption de ce mécanisme de substitution par un tiers demandeur, il n'existait pas de possibilité de transférer la responsabilité administrative de dernier exploitant. C'est donc un verrou juridique que la loi ALUR a permis de faire sauter.

Pour autant, le dispositif présente des limites que les acteurs doivent prendre en compte dans la préparation de leur projet.

Il est ainsi essentiel pour l'exploitant et le tiers demandeur d'introduire dans leur convention des clauses relatives à la répartition des responsabilités (définition de l'usage futur, étendue de la remise en état prise en charge par le tiers demandeur, clause suspensive dans l'acte de vente prévoyant les conséquences de la réponse donnée par l'administration) et aux garanties financières.

Aujourd'hui, plusieurs arrêtés permettant la substitution par un tiers demandeur ont été délivrés par l'administration et de nombreux autres arrêtés devraient suivre en 2020.

La pratique (notamment sur la base des retours d'expériences de Carine Le Roy-Gleizes et Pauline Leddet-Troadec) montre que le mécanisme du tiers demandeur peut être envisagé dans des hypothèses diverses (vente simple d'un terrain, cession en bloc, changement d'usage ou non) mais que certaines conditions doivent toutefois toujours être réunies (ancienne ICPE, travaux de réhabilitation).

La présentation se propose de traiter ces différents points.

***

Key Words: *Brownfields - interested third party – experiences feedback – contractual tools*

Purpose: *Learn the lessons from the first implementations of the interested third party mechanism*

The ALUR law has introduced in the Environmental Code a mechanism which allows a third party to take administrative liability for the remediation of a site where has been operated a classified facility, liability which until then was devolved to the last operator. This mechanism tends to facilitate brownfields remediation and in this way to promote construction and planning on former industrial sites.

Until the introduction of this substitution mechanism by an interested third party, there was no possibility to transfer administrative liability to the last operator. It is therefore a legal barrier that the ALUR law has allowed to broke.

However, the mechanism shows some limits that stakeholders should take into account into their project preparation.

Thus, it is critical for the operator and the interested third party to introduce in their agreement some clauses relating to the allocation of liabilities (definition of the future use, range of the remediation to be performed by the interested third party, condition precedent clause in the promise to sale providing consequences of the answer given by the administration) and financial guarantees.

Since 2015, several prefectural orders allowing the substitution by an interested third party have been issued by the administration and other decisions should follow in 2020.

Practice (in particular on the basis of Carine Le-Roy Gleizes and Pauline Leddet-Troadec's experiences feedback) shows that the interested third party mechanism can be considered in various hypothesis (single land sale, portfolio sale, change of use or not) but that some conditions, however, must be met (former classified facility, remediation works).

The presentation proposes to address these various issues.

***

Carine Le Roy-Gleizes, avocate au Barreau de Paris, est associée du Cabinet Foley Hoag. Elle est spécialisée en droit de l'environnement industriel. (cleroygleizes@foleyhoag.com) / *Carine Le Roy-Gleizes, attorney at the Paris Bar, is partner at Foley Hoag. She focuses her practice on industrial environmental law. (cleroygleizes@foleyhoag.com)*

Pauline Leddet-Troadec, avocate au Barreau de Paris, est collaboratrice du Cabinet spécialisée en droit de l'environnement industriel. (pleddet@foleyhoag.com)

Pauline Leddet-Troadec, attorney at the Paris Bar, is associate at Foley Hoag. She focuses her practice on industrial environmental law. (pleddet@foleyhoag.com)

Démarche d'acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en construction
Application aux travaux maritimes et fluviaux

Auteurs et affiliations :
Guillaume ATTARD[1,*], Agathe DENOT[1], Patrick VAILLANT[2], Laurent EISENLOHR[1]

[1] Cerema, Département Environnement Territoires Climat, 46 rue Saint-Théobald, F-38081 L'Isle d'Abeau, France

[2] Cerema, Département Laboratoire d'Autun, boulevard Giberstein BP 141, 71400 Autun, France

[*]Contact : Guillaume Attard, Chef de Projets, Cerema
courriel : guillaume.attard@cerema.fr
tel. : 0474275372

Caractère innovant du sujet proposé :

- Cette communication porte sur un développement méthodologique nouveau relatif à la valorisation de matériaux alternatifs,
- Cette communication présente (1) une nouvelle conceptualisation hydrogéologique des travaux maritimes et fluviaux et (2) une démarche de modélisation permettant d'évaluer leur interaction avec les nappes.
- Cette communication s'appuie une caractérisation des faciès chimiques des eaux souterraines en contexte continental et maritime en France métropolitaine en s'appuyant sur plus de 30 000 points de mesures.

Mots-clés :
Economie Circulaire ; Matériaux alternatifs ; Eau souterraine ; Modélisation : Travaux maritimes et Fluviaux

Objectifs :
Cette communication présente une démarche d'acceptabilité environnementale des matériaux alternatifs appliquée aux travaux maritimes et fluviaux. L'objectif est de s'assurer que les émissions des matériaux alternatifs soient compatibles avec le milieu naturel récepteur et notamment avec la qualité des eaux souterraines.

Résumé :
Chaque année en France, les activités du BTP consomment environ 400 millions de tonnes de granulats. Dans le même temps, des quantités importantes de déchets non-dangereux minéraux sont générées par le secteur du BTP et de l'industrie offrant un gisement significatif pour l'élaboration de matériaux alternatifs. L'utilisation en génie civil de ces matériaux alternatifs dépend de leurs performances mécaniques et géotechniques. Également, les caractéristiques physico-chimiques de ces matériaux doivent être compatibles avec l'environnement des projets. Cette communication présente une démarche d'acceptabilité environnementale des matériaux alternatifs appliquée aux travaux maritimes et fluviaux. Cette démarche s'inscrit dans la continuité des études réalisées pour la valorisation de matériaux alternatifs en technique routière. Elles consistent en l'élaboration d'un référentiel afin de s'assurer que les émissions des matériaux alternatifs soient compatibles avec le milieu naturel récepteur et notamment avec la qualité des eaux souterraines. La première étape a consisté à dégager les deux faciès chimiques associés aux contextes maritimes et continentaux, au regard des concentrations en chlorures, sulfates, et ETMs des eaux souterraines observées en France

métropolitaine (données provenant de la base de données ADES - Portail national d'accès aux données sur les eaux souterraines). La deuxième étape a consisté à identifier les modes d'exposition auquel sont soumis les milieux dans le cadre de travaux maritimes et fluviaux. Deux modes d'expositions sont considérés : un mode d'exposition direct, pour lequel le matériau alternatif est en contact, en permanence ou par alternance, avec les milieux récepteurs (par exemple : ouvrage de lutte contre les submersions, polders, cordon dunaire) et un mode d'exposition indirect (par exemple : zone d'activité, terre-plein) où le milieu cible est éventuellement la nappe d'eau souterraine sous-jacente aux travaux. La troisième étape a consisté à modéliser des scénarios génériques tenant compte de la typologie des constructions (ouvrage ponctuel ou linéaire), du mode d'exposition (direct ou indirect) et milieu naturel cible (mer, fleuve, eau souterraine), afin de déterminer le référentiel des émissions acceptables. La distinction des faciès maritimes et continentaux a permis de définir un référentiel plus permissif pour la valorisation de matériaux alternatifs en travaux maritimes, vis-à-vis des émissions en chlorures et sulfates. Ce travail s'inscrit dans une démarche de promotion de l'utilisation de matériaux alternatifs dans des conditions environnementales maîtrisées. Actuellement, cette démarche d'acceptabilité environnementale est également déclinée pour favoriser la valorisation des sédiments de dragages en agriculture.

Cartographie et bilan de masse des pollutions de type organique avec prise en compte des incertitudes

Auteurs : Juliette Chastanet[1], Jean-Baptiste MATHIEU[2], Michel H. GARCIA[2], David PITAVAL[1] et Jean-Marie CÔME[1]

Orateurs : J. Chastanet & J.-B. Mathieu
([1]BURGEAP / [2]KIDOVA)

j.chastanet@groupeginger.com
BURGEA P
+33 (0)2 40 38 67 06
9 rue du chêne lassé, 44806 Saint-Herblain CEDEX, France
www.burgeap.fr

jb.mathieu@kidova.com
KIDOVA
+33 (0)1 47 09 09 49
155, avenue R. Salengro, 92370 Chaville, France
www.kidova.com

Mots clés
Caractérisation de pollution concentrée, pollution organique, approche géostatistique, détection de phase organique, quantification des incertitudes, aide à la décision, SROreos, SoilRemediation Suite

Caractère innovant
Des méthodes géostatistique et de détection de phase organique sont combinées dans un même outil logiciel (SROreos) récemment développé pour mieux caractériser les pollutions concentrées en prenant en compte les incertitudes spatiales ou globales sur les propriétés des milieux et sur l'état de pollution des sols.

Objectifs
Présentation de la démarche et de l'outil logiciel SROreos et démonstration de son application sur un exemple de site industriel

Résumé
Parmi les méthodes d'évaluation des pollutions de sols, la détection d'une phase organique (NAPL) et la géostatistique sont des méthodes utilisées de plus en plus fréquemment dans le cas de pollution organique. Une approche qui combine ces deux méthodes est proposée ici à travers un nouveau logiciel appelé SROreos. L'un des avantages de cette combinaison de méthodes est de pouvoir mener une analyse de sensibilité pour traduire des incertitudes spatiales, issues de modèles géostatistiques de la pollution des sols, associées à des incertitudes sur les propriétés des milieux, en des incertitudes sur les bilans de masse dont l'estimation est ainsi rendue plus fiable. La mise en œuvre de l'outil SROreos sur un site industriel impacté par des hydrocarbures a permis de déterminer le seuil d'apparition et le seuil de mobilité de la phase organique, d'évaluer la variabilité spatiale du stock de polluant ainsi que d'estimer les masses de polluants totale et récupérable en précisant les incertitudes associées. Ces éléments ont permis de guider les travaux de dépollution en cours sur le site.

Caractérisation de la poly-exposition chimique des travailleurs en contact avec les terres polluées : Etude préliminaire

Karine Gerardin, Philippe Duquenne
INRS, 1 rue du Morvan - 54500 Vandoeuvre
Email : karine.gerardin@inrs.fr
Tel. : 03 83 50 20 00

Les travailleurs impliqués dans la gestion des sites pollués sont présents sur des terrains dont les sols contiennent conjointement différents types de polluants organiques et inorganiques préoccupants pour la santé des travailleurs. Ces composés peuvent migrer des sols selon des mécanismes d'émission complexes et être émis simultanément dans l'atmosphère sous forme gazeuse et/ou particulaire qu'il est dû d'évaluer. Avant de conduire une étude de terrain ciblée, la présente étude d'instruction a permis de rassembler et d'analyser les éléments permettant de construire et de vérifier la faisabilité opérationnelle et technique d'une étude de terrain. La première phase de l'étude a permis de mettre en évidence 209 substances prioritaires et d'établir deux listes réduites de 60 et 77 substances d'intérêt à suivre dans le cadre de la caractérisation d'une poly-exposition des travailleurs sur ces sites. Trois secteurs d'activités industriels ayant généré des pollutions incluant ces substances ont été repérés. Une enquête « métier », des visites de chantiers et la création d'une matrice sur les procédés de dépollution a permis de mettre en évidence les activités les plus exposantes, préciser les besoins de la profession et a confirmé la nécessité d'améliorer les connaissances sur la poly-exposition des travailleurs en contact avec les terres polluées. La construction d'un cahier des charges a permis de définir la typologie d'un terrain d'investigation. Dans une seconde phase, l'inventaire des méthodes de mesure pour les substances prioritaires a permis de lister les méthodes à déployer sur les différentes matrices environnementales pour les métaux et métalloïdes. Le terrain identifié et le projet d'étude précisé, une démarche similaire sera conduite pour les autres substances. L'étude exhaustive apparait complexe en raison de la grande variété de polluants, de la diversité des sites, des nombreuses taches impliquant en co-activité les différents types de travailleurs. Les données collectées lors de l'étude d'instruction ont permis de proposer deux scénarios de mesure à mener conjointement pour la poursuite de travaux sur le sujet. Le premier scenario prévoit des mesures sur un seul site avec le suivi de toutes les activités de gestion d'un site et une étude de facteurs agissants sur l'exposition en relation avec les polluants présents dans le sol. Le second scenario prévoit des mesures d'exposition sur plusieurs groupes de travailleurs se déplaçant de site en site. Des contacts ont été établis et seront à réengager avec les acteurs de la profession et les experts scientifiques afin de créer un réseau sur lequel l'étude expérimentale pourra s'appuyer.

Valorisation agronomique in situ des sols d'une friche pour développer de l'agriculture urbaine à Pierre-Bénite (69)

Frédéric Dellinger
10, rue Terraille / 11, rue Désirée - 69001 Lyon

Téléphone : 04 78 27 23 63 / / 06 76 81 06 56

Auteurs : Chloé Milloz et Laurent Legendre (SCE), Anne-Cécile Romier et Frédéric Dellinger (Eranthis)

Caractère innovant du sujet proposé :

Développement et test d'une approche méthodologique pour valoriser une friche en PPRT, en site de production d'agriculture urbaine (création d'une ferme).

Travaille sur la fertilisation des sols en place, en vue d'atteindre les caractéristiques d'une terre de maraîchage.

Mots-clés :

Agriculture urbaine, création de sols fertiles, friches, PPRT

Objectifs :

Créer les conditions pour permettre le développement à faibles ressources d'une ferme urbaine d'environ 1ha sur une friche au sein du PPRT de Pierre Bénite. Valorisation des sols en place et création de la ferme (y compris avec bâtiment agricole nécessaire et serres tunnel).

Contenu :

La ville de Pierre-Bénite (69) souhaite développer une activité maraîchère en milieu urbain pour proposer aux habitants du quartier des légumes locaux bio et approvisionner des restaurations collectives (cantine scolaire et foyer sénior).

Après des études préalables, le site des Arcades a été sélectionné pour accueillir ce projet et le groupement de bureaux d'études ERANTHIS paysagiste-JASP architecte-SCE Aménagement & Environnement -Sintec BET fluides et structure, a été retenu, en septembre 2019, pour la MOE de la ferme urbaine et des espaces publics associés. Le site en friche urbaine est une ancienne parcelle de logements sociaux, partiellement dans le périmètre du PPRT du site Arkema de Pierre-Bénite.

Afin de mettre en culture les terrains pour accueillir le maraîchage, le scénario programmatique de la MOA proposait une excavation de la terre sur les 30 premiers centimètres pour mise en décharge comme déchets, et l'apport de terre végétale agricole sur la même épaisseur.

Notre équipe de maîtrise d'œuvre a été retenue pour son approche alternative à faible ressource et impact environnement. Notre méthodologie proposait deux scénarii alternatifs, à étudier :

- Maintien des terres en place et travail du sol par amendements successifs sur les premières saisons pour retrouver un sol aux caractéristiques agro-économiques compatibles avec l'usage de production maraîchère Bio
- Apport de terres pour une production "hors sol" - avec différentes solutions techniques possibles (sacs géotextiles, cultures en lasagne – ou planche butte, bacs potagers, etc.) – et conservation des terrains en place.

Pour départager les scénarii, nous avons mené des analyses et diagnostics complémentaires pour caractériser à la fois d'éventuels polluants (de 0 à 3 m de profondeur), mais aussi les caractéristiques agronomiques existantes des 30 premiers centimètres. Si des polluants s'avéraient présents, cela aurait éliminé de facto le premier scénario de valoriser les sols en place.

Ces analyses ont montré que les caractéristiques du site sont compatibles avec une activité agricole à destination de l'alimentation humaine.

La solution proposée est donc la valorisation des sols in situ. Cela passe, dans un premier temps, par le maintien des terres en place et l'instauration d'un travail du sol « dès que possible » afin de relancer l'activité biologique et d'améliorer leur fertilité, mais aussi, dans un second temps, par la proposition de recommandations pour accompagner et sensibiliser le futur maraicher dans le développement à long terme d'un sol de qualité pour de l'agriculture biologique.

Un volet de communication – sensibilisation basé sur des tests pour démontrer l'absence de bioaccumulation dans les productions maraichères (feuilles et racines) est aussi proposé.

Enfin, le projet se préoccupe également de la valorisation de la ressource en eau pour de l'irrigation, à la fois de l'eau de nappe et de l'eau pluviale (récupération des eaux de toitures) et devrait permettre d'atteindre une désartificialisation nette des surfaces localisées sur l'emprise du projet.

GAUDIN Morvan, Ingénieur de recherche
0647754604 - morvan.gaudin@clusterems.org

Le projet ECOCIT'EMS est cofinancé par le Fonds Européen de Développement Régional

CLUSTER EAU MILIEUX SOLS PARIS ILE-DE-FRANCE

INNOVATION EAU MILIEUX SOLS DANS LES PROJETS D'AMENAGEMENT ET GESTION DES SOLS

Le programme ECOCIT'EMS a pour objectif de contribuer à améliorer la qualité de l'eau, des milieux, des sols et de vie des habitants au sein du **territoire Seine Amont** par le développement et l'expérimentation des solutions innovantes au sein des projets d'aménagement. Le volet Sol du programme, co-financé par les financement européens FEDER a pour ambition de :

- D'anticiper des défis liés aux sols urbains,
- De favoriser le transfert de technologies, de connaissances et de compétences dans le domaine de la gestion et des usages du ***sol urbain***, entre acteurs publics et privés. Notamment entre les organismes de recherche et les entreprises innovantes.

Nous avons souhaité faire des contraintes liées aux problématiques des sols urbains une opportunité de développement, d'innovation, de production pour ce territoire et contribuer au développement de la filière Eau-Milieux-Sols en Ile-de- France.

Chiffres clés :

60 échanges et entretiens avec nos membres : collectivités, entreprises, établissement d'éducation supérieur et de recherche, dans le cadre **d'un espace innovation sols**.

350 membres mobilisés dans les différents forums et ateliers

40 contacts et liens entreprises et laboratoires

Figure 1 Parcours Atelier Création
au sein du projet de renouvellement urbain Gagarine-Truillot (Ivry-sur-Seine)

Partenaires financeurs

GAUDIN Morvan, Ingénieur de recherche
0647754604 - morvan.gaudin@clusterems.org

Le projet ECOCIT'EMS est cofinancé par le Fonds Européen de Développement Régional

L'obtention des financements européens FEDER ont été fléchés sur la gestion et usages innovants des sols au sein des projets d'aménagement urbain du territoire Seine Amont nous permet actuellement de réaliser :

Espace de partage d'innovation sols

Outils pour maitrise d'ouvrage pour mieux prendre en compte les expertises et les innovations dans la gestion durable des sols dans un projet d'aménagement urbain ? en lien avec nos partenaires : collectivités, entreprises et laboratoires de recherche du domaine.

Forum SOL Ile de France 2019

Faciliter les échanges entre recherche, collectivités et entreprise sur la gestion des sites et sols urbains pollués ou non, dans le cadre de l'innovation, de l'écologie urbaine et de la transition numérique

Ateliers d'échanges

Gestion des Sites et sols urbains dans le cadre de l'innovation numérique, de l'expérimentation et des marchés publics

Valorisation des déchets organiques et des digestats de méthanisation pour les amendements des sols

Groupes thématiques

Données Eau-Milieux-Sols. Principalement, le croisement de données sols (SIG) et la gestion numérique des sols à l'échelle du territoire.

Reconversion des friches industrielles et urbaines : nouveaux usages des sols et technosols

Développement et gestion locale d'une filière de valorisation des sols

Etude de cas sur la gestion d'un sol pollué (Vitry-sur-Seine)

Visite de site

Zac Petit Pré Sablière avec Valophis et Biogénie sur une gestion locale des déchets.

Atelier de sourcing

Création de sols fertiles à partir de résidus urbains au sein du projet de renouvellement urbain Gagarine-Truillot (Ivry-sur-Seine)

Partenariats

10 partenariats entre entreprises, laboratoires de recherche et collectivités autour de

Partenaires financeurs

Cas de pollutions au mercure multi-média : outils de mesure, déconstruction des bâtiments imprégnés et pilote de bioprécipitation in situ d'un panache en nappe

Case studies of multi-media mercury contamination: measurement tools, deconstruction of impregnated buildings, and in situ bioprecipitation pilot for groundwater plume remediation

Jean-Baptiste Guérin et Sébastien Kaskassian*, Tauw France, Jaap Steketee et Frank Volkering, Tauw bv, Herwig De Wilde et Dirk Paulus, Tauw België.
* Responsable Innovation, Tauw France, 120, avenue Jean Jaurès, 69007 Lyon,
s.kaskassian@tauw.com

Caractère innovant du sujet proposé : utilisation d'outils de diagnostic (XRF, caméra in-situ) dans des contextes de pollution transverse et multi-média (sols, bâtiment, nappe) et d'un procédé biologique de traitement d'un panache de mercure dissous en nappe.
Mots clés : mercure, XRF, caméra in-situ, bâtiments, déconstruction, pilotes de dépollution, bioprécipitation
Objectifs : partage du retour d'expérience sur des cas d'études de pollution au mercure multi-matrices, d'une part l'utilisation d'outils de mesure sur site (XRF, Jérôme, caméra in-situ) lors de la gestion du chantier de déconstruction et d'autre par la mise en œuvre d'un pilote innovant de bioprécipitation in situ du mercure dissous en nappe.

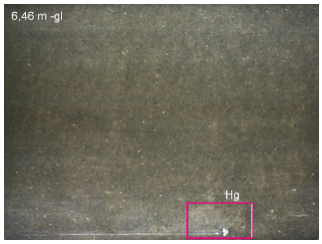
Compte-tenu des évolutions réglementaires de ces dernières années (convention Minamata, BREF…), de plus en plus de sites sont confrontés à la gestion des pollutions liées au mercure : électrolyse à mercure, préservation du bois, fabrication et recyclage des batteries, composés électriques, production de gaz …
Du fait de la longue histoire industrielle de ces sites, leur gestion nécessite une approche d'ensemble en termes de diagnostic, de déconstruction et de dépollution car d'une part les milieux impactés sont souvent multiples (bâtiment, sol, nappe, air) et d'autre part les chantiers nécessitent l'apport des différents corps de métier (expert bâtiment, pollution, déchets, …).

Fort de plusieurs dizaines de projets depuis le début des années 1990, Tauw souhaite partager ici trois exemple de stratégies transverses concernant les étapes allant du diagnostic au traitement des différents milieux impactés : le sol, la nappe, l'air et les infrastructures (surface au sol, bâtiment, réseaux, etc.).

Des **outils innovants de métrologie** sont utilisés dans les différents contextes de pollution au mercure :

- XRF pour la détection dans les sols, les enrobés et les matériaux de construction des bâtiments,
- Caméra installée sur un outil de type direct-push pour la détection de Mercure élémentaire in-situ,
- Jérôme et Lumex pour la détection du mercure gazeux lors des dépollutions et déconstructions.

Flaques et billes observées en fond de fouille



Billes observées in-situ (caméra montée sur sonde CPT)

D**es stratégies de déconstruction** (réseaux, bâtiments) **et de dépollution** (sols, ciment et autre matériaux) pour la gestion de ces grands ensemble à gérer. Les différentes phases sont à préparer en amont en termes de sécurité, de contrôle et d'exutoires.

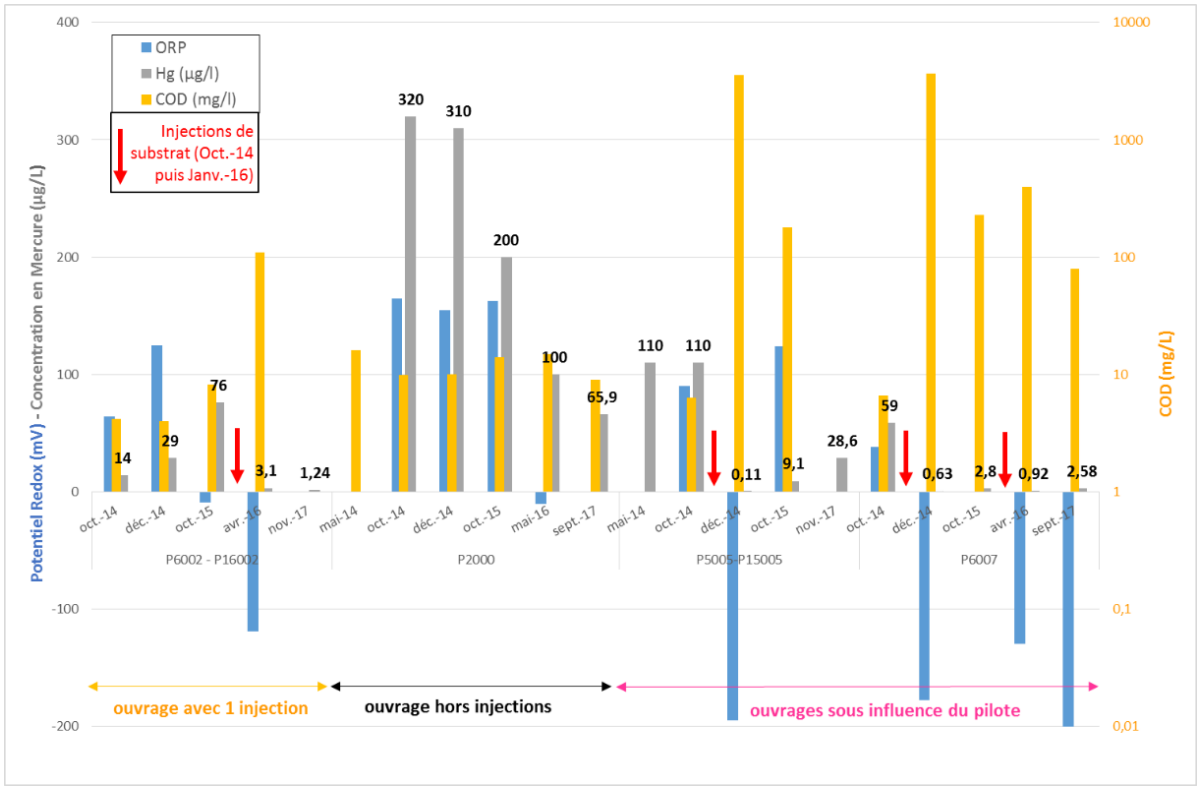
Pour le chantier de déconstruction de cette ancienne salle abritant une cellule à électrolyse, les missions confiées à TAUW sont les suivantes: diagnostic déchets (bâti, structure et process), identification des structures process encore actives et prise en compte de la contamination croisée (mercure, amiante, radioactivité), évaluation de la stabilité structurelle, évaluation du risque projet, assistance aux contrats et supervision des travaux de retrait / déconstruction / sécurisation, gestion du plan de sécurité et du suivi environnemental / sanitaire, suivi de l'évacuation des déchets vers les filières spécifiques.

Lors de suivi de chantier, le personnel est soumis à un suivi sanitaire régulier (analyses sanguines et urinaires). Par exemple, la mesure des formes volatiles (mercure élémentaire ou organique) permet d'une part de suivre les niveaux d'exposition et d'alerte lors des chantiers (diagnostics, terrassements, …) et d'autre part d'identifier la prépondérance de ces formes au sein de chaque échantillon.

Couplage des mesures Jerome / Lumex / PID

Une approche novatrice de traitement du mercure dissous en nappe a été mise en œuvre sur 3 ans par injection d'un substrat carboné. Au sein du panache naturellement riche en sulfates, les conditions réductrices induites permettent la précipitation des formes de mercure solubles (concentrations avant traitement entre 60 et 110 µg/L) en formes stables (cinabre notamment, abattement jusqu'à plus de 99% en Hg soluble). 18 à 24 mois après la première injection, les conditions favorables à la précipitation sont toujours présentes et de faibles concentrations en mercure sont toujours observées. Une seconde campagne d'injection a eu lieu en certaines zones non initialement traitées (zone P6002-P16002 par exemple, cf. illustration ci-dessous). En dehors du pilote, les conditions favorables (potentiel redox négatif) se déplacent lentement jusque dans la zone initialement hors influence (P2000, situé à 5m, dans le bâtiment non accessible aux injections).

Précipitation in-situ par injection d'un substrat carboné – résultats du suivi dans différentes zones


ORP
Hg (µg/l)
COD (mg/l)
Injections de substrat (Oct.-14 puis Janv.-16)
Potentiel Redox (mV) - Concentration en Mercure (µg/L)
COD (mg/L)
400
300
200
100
0
-100
-200
10000
1000
100
10
1
0,1
0,01
14
29
76
3,1
1,24
320
310
200
100
65,9
110
110
0,11
9,1
28,6
59
0,63
2,8
0,92
2,58
oct.-14
déc.-14
oct.-15
avr.-16
nov.-17
mai-14
oct.-14
déc.-14
oct.-15
mai-16
sept.-17
mai-14
oct.-14
déc.-14
oct.-15
nov.-17
oct.-14
déc.-14
oct.-15
avr.-16
sept.-17
P6002 - P16002
P2000
P5005-P15005
P6007
ouvrage avec 1 injection
ouvrage hors injections
ouvrages sous influence du pilote

Name: De Waele
SurName: Rogier
Title: Sales and Account Manager Greensoil Group

COMPLETE DECHLORINATION OF CHLORINATED ETHENES AND CHLOROFORM IN A BRACKISH ENVIRONMENT

AND

INCREASED MOBILIZATION AND BIODEGRADATION OF DNAPL BY THE USE BIOTENSIDES

R. De Waele, M. De Camillis, J. Dijk, M. Slooijer

Corresponding author: r.dewaele@greensoilgroup.com

Background/Objectives. An industrial site in the port of Tarragona (Spain) is contaminated with mainly chlorinated ethenes, chlorinated methanes and chlorinated ethanes. The contamination was caused by leakages of the sewer system in the past. High concentrations (DNAPL) of mainly tetrachloroethene (PCE) and chloroform are present as well as degradation products. The remediation goals are 37 µg/l and 6.5 mg/kg for PCE in groundwater and soil, respectively and 440 µg/l and 87 µg/l for Chloroform and Vinylchloride (VC), respectively.
In addition to the complete degradation of the chlorinated ethenes and chloroform that was realized, the effect of a biosurfactant to enhance the mobilization of the residual DNAPL was tested. The focus of this case study was on the residual DNAPL that remains probably in the form of small droplets which might be trapped in the pore space. The main goals were to demonstrate1) a decreasing trend in PCE concentrations in the source zone and 2) minimalize the possible influx of PCE from outside the remediation area (tank pits / loading dock) as much as possible.

Approach/Activities. Given the nature of the contamination and aquifer, anaerobic reductive dichlorination was identified as the most promising in-situ bioremedation solution. To test the feasibility of enhanced reductive dechlorination (ERD) to remediate the site both laboratory tests and a field test were conducted in the past. Based on the successful results of these tests, a full scale remediation is being carried out. Since the site is situated close to the sea, the groundwater is brackish to salt with an electrical conductivity (EC) up to 25,000 µS/cm and sulphate concentrations up to 1600 mg/l.
The remediation consists of circulation of groundwater via extraction and infiltration wells, and adding electron donor to stimulate the process of ERD. DNAPL was removed from the extracted water above ground. By circulating groundwater, the electron donor and dechlorinating microorganisms are distributed and the contamination is being mobilized as well. Besides regular monitoring of geochemical parameters and the concentrations of contaminants also molecular analyses (qPCR and NGS) were performed to have a better understanding of the microorganisms and degradation pathways involved under these specific conditions.
At the site, two surfactant tests were performed: 1) Push-pull test; 2) Field in-situ test.
A push-pull test with a surfactant was first performed to test whether the mobilization and subsequentially extraction of residual DNAPL could be enhanced.
The test was performed according to the following procedure: a) 1 m3 of groundwater is extracted from the well and stored in an IBC; b) Analytical and molecular analysis were performed; c) Surfactant was added to the IBC; d) The solution was injected in the well; e) Analytical and molecular analysis were performed.
This procedure was repeated 4 times to stimulate a washing effect and simulate the full scale operating circulation system.

Based on the promising results obtained during the push and pull test, the field test was performed in a second stage after the push-pull test. The surfactant was added to the groundwater circulation system in the area with higher concentration levels (Fig. 2.1). A solution made of 5% surfactant was injected in 6 individual wells in order to supply the same amount of solution in each well of them. One extraction well and two monitoring wells were selected for the field test and monitored for about 6 months. Monitoring wells just outside the test area were selected to control the potential spread and mobilization of the contamination. Sampling was performed after 6, 8, 10, 12, 17 and 19 weeks.

Results/Lessons learned. Concentrations as high as 100,000 µg/l of PCE, 41,000 µg/l of VC and 340,000 µg/l of Chloroform were found on site. After about six months, degradation products had increased in concentrations significantly and after about 12 months, ethene increased dramatically from below detection limit up to 26,000 µg/l. Molecular analyses of groundwater from several wells were performed and confirmed that there is a strong increase in the amount of bacteria and enzymes involved in dichlorination. For example the VC reductive dehalogenase vcrA increased up to 3.8E+11 copies/l. *Dehalobacter*, *Geobacter, Dehalogenimonas* and *Dehalococcoides* were all present in high numbers and increased in time. Also the gene encoding for chloroform reductive dehalogenase (cfrA) increased dramatically from below detection limit up to 8.9E+7 copies/l. The DNA from the well with the highest number of both vcrA and etnE was partially sequenced (ORVIdecode). It appeared that the dominant genus of the bacterial community consisted of *Dehalococcoides (27%)* of which 70% was closely related to *Dehalococcoides mccartyi*.
These results so far demonstrated the enhanced biological degradation capacity on site and the complete dichlorination of the various contaminants, despite the high concentrations of PCE and chloroform and the brackish to salt environment.

In addition to the complete degradation of the chlorinated ethenes and chloroform that was realized, the present study was also designed to determine the effect of surfactant addition to the soil permeability, DNAPL mobilization and enhanced biodegradation.
This case-study approach was adopted to assess the effectiveness and added value of surfactant solution within the settings of the ongoing bioremediation at the site.
In general, the results of the push/pull tests showed that surfactant addition is able to improve infiltration rate, thus soil permeability. Enhanced conditions remained stable for about 2 weeks. Based on the push/pull test the long term efficiency of the surfactant solution could not be further assessed.
The second major finding was that a clear DNAPL mobilization and enhanced biodegradation was observed. Molecular analysis also demonstrated an increase of viable cells, indicating that microbial activity increased after surfactant addition.
In addition, the results obtained suggested that the infiltration of the extracted water did not spread outside of the infiltration area.
These findings indicate that in general a surfactant solution can be used to improve the recirculation rate within a continuous bioremediation system and increase DNAPL mobilization to further deplete strongly absorbed cVOC sources.

Recyclage et valorisation - Europe
Remediation sites et sols pollués

Investigation, Réhabilitation et Démantèlement
Sites et sols pollués

SUEZ REMEDIATION FRANCE *Boris DEVIC-BASSAGET,* *Directeur Technique* Mail : boris.devic-bassaget@suez.com Téléphone : +33 4-72-45-02-22 Portable : +33 6-07-52-78-81 Adresse : SUEZ REMEDIATION, 17 rue du Périgord 69330 MEYZIEU	**AECOM France** *Odile MESNIL,* *Responsable de l'équipe de Lille* Mail : odile.mesnil@aecom.com Téléphone : +33 6 07 45 80 44 Adresse : AECOM France, équipe de Lille, 45 boulevard de la République, 59 100 - Roubaix

Thème de la communication : Nouvelles modalités de gestion des goudrons acides

Titre : Stabilisation avancée sur site de goudrons acides

Mots Clés : Goudrons acides, essais pilotes, stabilisation-solidification de goudrons acides, acide sulfurique, métaux lourds, traitement géotechnique, réutilisation, confinement

Résumé :

Ancien site pétrochimique de traitement et de clarification des huiles, des goudrons acides (jusqu'à 17% d'acide sulfurique) étaient stockés dans une lagune confinée sous un parking. Les affleurements de goudrons acides ont vu le jour dans le temps et nécessitaient une stabilisation géotechnique et chimique.

Une phase d'étude en laboratoire de 1 an, durée prévue dans le phasage de passation du marché, a été nécessaire pour prévoir le comportement en cours de travaux et sur le long terme des goudrons :

- Exothermicité de la réaction de neutralisation
- Cinétique de réaction et du gonflement de cristallisation
- Prévision du comportement rhéologique des matériaux et adaptation de la technique de traitement en fonction de la teneur en eau
- Prévision du volume final
- Prévision de la portance des matériaux stabilisés.

- Performance de stabilisation sur les sulfates et les métaux

Retours d'expérience phase chantier : HSE / Modes opératoire / accroissement volumétrique.
Confinement et reconversion du site

Summary :

A former petrochemical processing and clarification site for oils, acid tars (up to 17% sulfuric acid) were stored in a lagoon confined under a parking lot. The outcrops of acid tars originated over time and required geotechnical and chemical stabilization.

A 1-year laboratory study phase, duration foreseen in the procurement phase, was necessary to predict the long-term behavior of tars
- Exothermicity of the neutralization reaction
- Kinetics of reaction and swelling of crystallization
- Forecast of the rheological behavior of the materials and adaptation of the treatment technique according to the water content
- Forecast of the final volume
- Forecast of the bearing capacity of stabilized materials.
- Stabilization performance on sulfates and metals

Site phase experience feedback: HSE / Operating modes / volumetric increase.
Containment and reconversion of the site

Remediation sites et sols pollués

FICHE REFERENCE – CONFIDENTIEL

Client	Localisation	Période
CONFIDENTIEL	**France (Nord)**	**2015-2018**

Type de pollution	Technique(s) de dépollution
Goudrons acides. pH = 1 à 1,2 % H_2SO_4 : 17%	Neutralisation in situ voie humide sous couche de chaux Stabilisation sur site avec liants hydrauliques Excavation Confinement horizontal par capping

Quantités	Budget	Durée
17000 m3 de terres à gérer 12000 m3 de goudrons acides 6000m² de capping	Confidentiel	Tranche ferme (Pilote laboratoire) : 1 an Tranche conditionnelle (Chantier) : 1,5 an

Objectifs

Sur lixiviats L/S=10 :
Sulfates : 1500 mg/l sur lixiviats soit > 95% d'abattements
Phénol : < 500 µg/l
pH >5
Stabilisation des métaux Pb As Cd
HCT < 33 mg/l
HAP < 80 mg/l

Géotechnique après confinement : EV2 > 20 MPa sur matériaux en cours de compactage, 50 MPa couche finale

Données techniques détaillées

Neutralisation in situ :
Soil mixing voie humique au coulis de chaux.
Prémix : ROTOMIXER, pelle mécanique et Rotalis selon dureté des goudrons acides, puis ROTALIS (mélange fin général)
Gestion des émissions de SO2 par couverture de lait de chaux + brumisation directionnelle

Stabilisation :
Soil mixing voie sèche des goudrons neutralisés au ROTALIS. Compactage

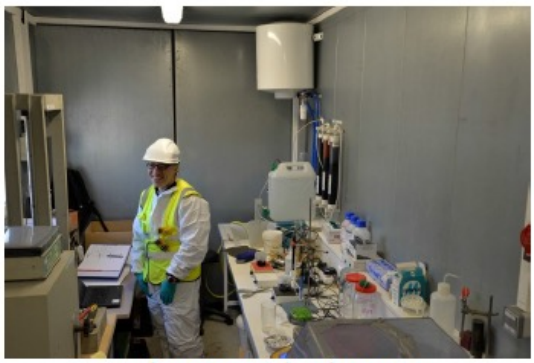
Remediation sites et sols pollués

Rotomixer

Centrale à coulis

Réaction exothermique

Soil mixing à la pelle + brumisation



Laboratoire de chantier

Rotalis phase neutralisation (mélange fin)

Remediation sites et sols pollués

Excavation des goudrons neutralisés

Mise en cure (hydratation du gypse)

Stabilisation finale (phase stockage)

Soil mixing de stabilisation

Essai de plaque Ev2 sur compactage

Mesure teneurs en eau (GTR)

Remediation sites et sols pollués

Pose de le membrane (capping final)

Pose des drains (gestion des eaux météoriques

Quantités traitées

16 750 m3 de goudrons acides purs, de sables et d'argiles imprégnés
2 000 t de chaux hydratée
1 600 t de liants hydrauliques

Teneurs résiduelles	Rendements & observations
1) Phase Pilote	
Paramètres lixiviables :	
Sulfates 17000 mg/l ➔ < 800 mg/l	95-98%
pH entre <1,2 ➔ entre 8 et 12	
As = 0,05-0,2 mg/l ➔ < 0,01 mg/l	Abattement > 80 %
Cd = 0,1 – 0,4 mg/l ➔ < 0,01 mg/l	Abattement > 95 %
Pb = 2 à 4 mg/l ➔ < 0,3 mg/l	Abattement > 95%
Phénols < 500 mg/l	Maitrise des phénols lixiviables générés à pH alcalin lors de la stabilisation finale
Paramètres géotechniques : Gonflement < 0,5%	Possible avec minimum de 21 jours de cure sans compactage
Rc 90 > 0,5 MPa	Atteinte pour Ev2 > 20 MPa
2) Phase chantier :	100% du cahier des charges
Analyses chimiques sur lixiviations (pH ; SO4, As, Cd ; Pb, Phénols, HCT ; HAP) :	100% des valeurs atteintes
Géotechnique : Ev2> 20 MPa	100% atteint : Moyenne de 49,3 MPa (entre 35,7 et 75 MPa)

Development of an *in situ* treatment for PFAS contamination: lessons learned from applications on several continents

Ir. Kris Maerten, Technical Manager Europe, REGENESIS (kmaerten@regenesis.com)
Ing. Mariangela Donati, District Manager, REGENESIS (mdonati@regenesis.com)
Aurélien Triger, PhD., Technical Representative France, REGENESIS (atriger@regenesis.com)

Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) have been identified by many regulatory agencies across the globe as being 'emerging contaminants' of concern within the environment. Subsurface studies suggest that the compounds are widespread in the environment, recalcitrant and bioaccumulating. In recent years some regulatory authorities have established stringent regulatory values for groundwater typically in the range of 50 nanograms per litre (ng/L). Destructive methods are still in early developmental stages and may be inefficient in the treatment of widespread, dilute, diffuse plumes. Presently, this means that when treatment of PFAS impacted groundwater is required, hydraulic containment systems are often installed. These physical systems require ongoing operation costs, produce waste and may not be able to reach low PFAS targets, resulting in them being operated in perpetuity.

As an alternative, colloidal activated carbon (CAC) is now being used as an *in situ* method to eliminate the risk associated with PFAS compounds in groundwater. By coating the geologic media within an aquifer with colloidal activated carbon, a permeable sorption zone is created *in situ*, treating groundwater as it passively migrates. PFAS constituents from up-gradient source zones are rapidly sorbed to the activated carbon and removed from the mobile dissolved phase. By removing PFAS from the mobile phase, the route of exposure to down-gradient receptors is eliminated, thereby eliminating the down-gradient public health risk associated with PFAS. The PFAS is not permanently attached to the CAC; instead the PFAS is retarded from further progression. A typical Retardation Factor (Rf = groundwater velocity/contaminant velocity) for PFAS in a natural aquifer would be 3-20. A CAC-coated aquifer can achieve a retardation factor of around 10,000 – meaning that the contamination can be sequestered for decades from a single application.

This approach has been completed on fourteen sites across the USA, Canada, Scandinavia and the Middle East and examples from these sites will be used to illustrate the design, application and validation of the remedial process. Key hydrogeological and geochemical parameters and sampling methodologies to be completed prior to application will be discussed. Injection approaches will be demonstrated and confirmation of subsurface distribution through colourimetric testing and detailed examination of aquifer cores taken post injection with be explained. Treatment longevity and competitive sorption will be discussed, ongoing project validation data will be shared, as well as long term (48 month) validation data from the world's first full-scale *in situ* remediation project to treat PFAS compounds at a site in Canada. Third-party published laboratory testing and modelling of the sorption and projected longevity will also be presented.

Analytical activities on emerging contaminants: PFAS

Speaker: Paola Verza, Technical Account Manager, Water and Environment

paola.verza@mxns.com

According to data from the World Health Organization (WHO), water pollution is the most crucial environmental issue for human health, even before air pollution or climate change. In industrialized countries the greatest risk is chemical contamination, especially for long-term effects: contaminants of emerging concern are considered one of the most relevant environmental problems.

These contaminants include per and polyfluoroalkyl substances - PFAS: interest in these compounds has increased in recent years due to their widespread use and their high persistence in the environment. Although scientific studies confirm their hazardousness for human health, these substances are not specifically regulated by legislation: for PFAS there is no regulatory harmonisation at European level.

In our discussion we will highlight the importance of accurate analysis of these emerging pollutants and the challenges that the laboratory faces having to deal with different potentially polluted matrices (first of all water, but also waste, soil and leachates). It is necessary to distinguish a long and varied list of molecules belonging to this family, without possibility to rely on harmonised guidelines at European level, but with the support of analytical instrumentation that today allows to reach high resolutions.

L'évaluation des risques liés aux eaux souterraines basée sur les flux et regard au-delà des lignes directrices réglementées

G. VERREYDT[1], T. OP 'T EYNDT[1], E. BOSMANS*[1]

[1]iFLUX SA; Galileilaan 15, 2845 Niel, Belgium
www.ifluxsampling.com
* Erik Bosmans (Project Manager) ; email : erik@ifluxsampling.com ; M : +32 (0)471 90 41 12

La plupart des approches d'évaluation des risques et des décisions de gestion sont dictées par les concentrations en contaminants. On peut optimiser ces décisions en considérant également les flux de masse des contaminants (masse de contaminants passant par unité de temps par unité de surface) et les débits massiques de contaminants (somme de toutes les mesures de flux de masse dans un panache entier). En effet, c'est la masse de contaminants qui atteint effectivement un récepteur à l'aval qui détermine les risques réels pour le récepteur. De plus, dans des conditions dynamiques plus complexes, une approche basée sur les flux permet une bien meilleure compréhension de la situation.

La technologie iFLUX est un outil approprié d'évaluation basée sur les flux. Elle permet de déterminer simultanément, in situ, le flux massique d'un composé cible moyenné dans le temps et le flux de l'eau souterraine. L'échantillonneur iFLUX est généralement installé dans un piézomètre où il intercepte le flux d'eau souterraine et capte les composés ciblés. Un réseau de piézomètres et de points de mesure iFLUX peut constituer la base d'une gestion des risques à long terme.

Tout récemment, dans deux études de cas avec iFLUX, les mesures et l'échantillonnage ont été poussés au-delà des conditions de mesure standard. Les deux cas ont montré la robustesse de la technologie mais soulèvent en même temps des questions quant à l'application d'une telle mesure dynamique, au sens plus large, en tant qu'outil de gestion des risques. Alors que la mesure de flux est exposée à des conditions fluctuantes et rend les résultats de ces circonstances changeantes, les données de référence sont des ensembles de données de concentration normalisées. Cette comparaison de données dynamiques avec des ensembles de données statiques pourrait amorcer une discussion sur le sujet ou même un changement de paradigme. Le changement de paradigme consisterait à considérer la gestion et l'évaluation des risques dans un système plus large de processus complexes qui interagissent les uns avec les autres.

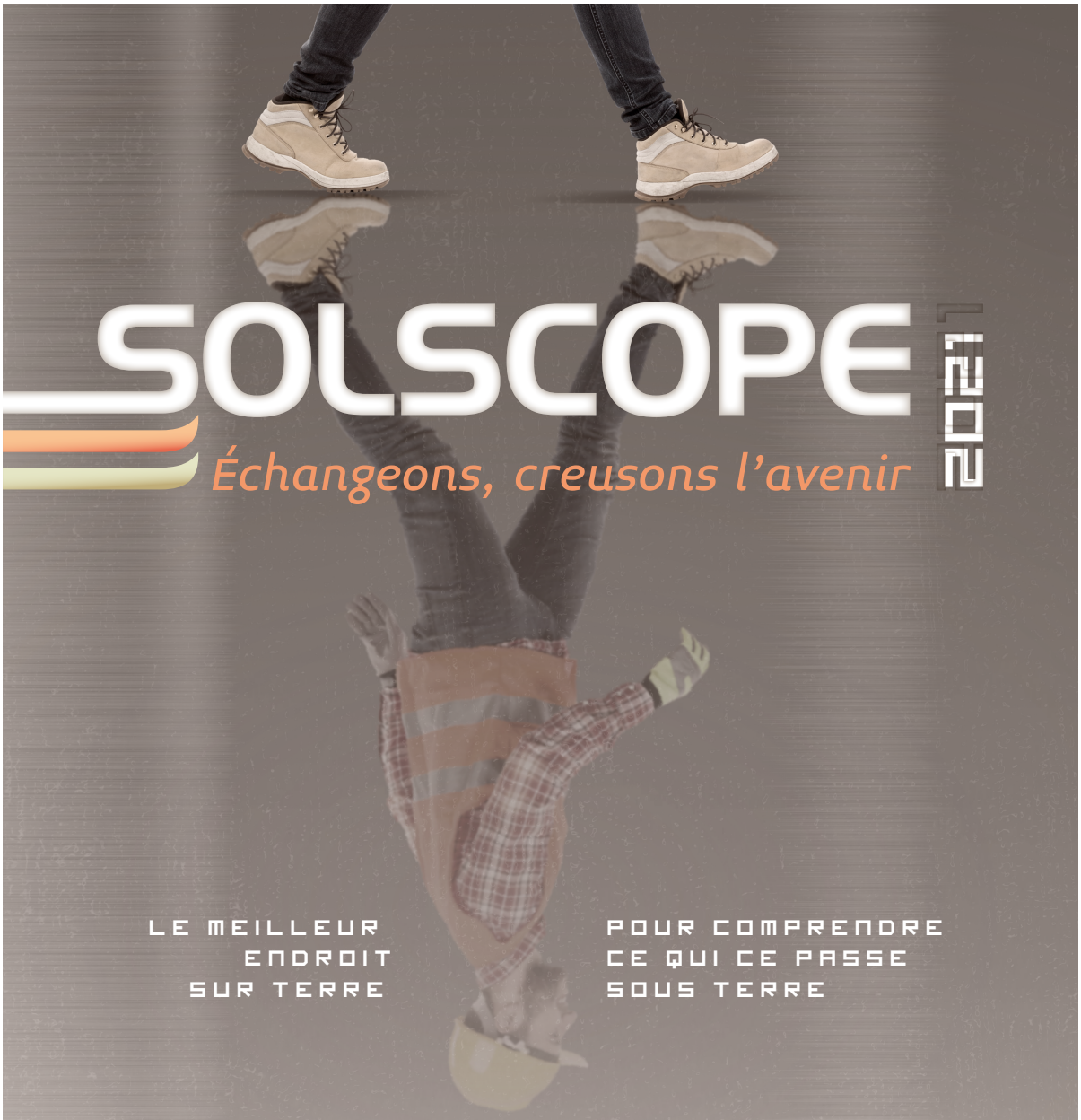
Cela soulève les questions suivantes :

Est-ce que la normalisation, comme celle des codes de bonnes pratiques et des lignes directrices, a érigé un mur autour de notre interprétation de la façon dont nous considérons les mesures relatives aux terrains contaminés ? Est-ce que la transposition de ces pratiques dans des conditions où elles ne sont pas si pertinentes est une chose intelligente à faire ?

Nous présenterons les deux études de cas et introduirons la discussion, ainsi que notre vision de la gestion des risques basée sur les flux et aussi quelques enseignements du passé en matière de risques.

Deux études des années '90 montrent déjà comment la créativité peut aller au-delà de l'approche standard des terrains contaminés. Une première étude a examiné les concentrations en arsenic par rapport à l'arsenic biodisponible pour l'ingestion humaine. Une deuxième référence suggère d'examiner le pourcentage de sodium échangeable (ESP) et le ratio d'adsorption du sodium (SAR) comme précurseur de la restauration des habitats naturels et du potentiel de dégradation des hydrocarbures dans les milieux de production pétrolière.

APintersol2020.indd 1 09/04/20 17:16



SOLSCOPE 2021

Échangeons, creusons l'avenir

LE MEILLEUR ENDROIT SUR TERRE

POUR COMPRENDRE CE QUI CE PASSE SOUS TERRE

14e SALON INTERNATIONAL DE LA GÉOTECHNIQUE, DU FORAGE ET DES FONDATIONS SPÉCIALES

2 ET 3 JUIN 2021

LYON EUREXPO