intersol'2022

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

International Conference-Exhibition on Soils, Sediments and Water

21e Edition

Le sol dans tous ses états

• Génie écologique et biodiversité
• Enjeux et risques sanitaires, environnementaux et socio-économiques
• Quels traitements pour quels usages ? • Suivi et gestion numériques des sols
• Sols et enjeux climatiques

The soil in all its states

• Ecological engineering and biodiversity
• Health, environmental and socio-economic issues and risks
• What treatments for what uses ? • Digital soil monitoring and management
• Soils and climatic issues

www.intersol.fr

21, 22 & 23 juin 2022 – Lyon, France

En partenariat avec :
In partnership with:

CLUSTER eaumilieuxsols

axeLERA ENSEMBLE, CATALYSONS LES REUSSITES | Auvergne Rhône - Alpes

En collaboration avec / In collaboration with:

Entreprises / Companies

Institutionnels / Institutionals

Brézillon

SPÉCIALISTE EN DÉPOLLUTION DES SOLS ET RECONVERSION DE FRICHES INDUSTRIELLES



25
ANS
D'EXPERIENCE



4
PROCÉDÉS BREVETÉS POUR LE TRAITEMENT IN-SITU ET ON-SITE DE LA POLLUTION

L'ENTREPRISE DU GROUPE BOUYGUES CONSTRUCTION SPÉCIALISÉE DANS :

LA REMÉDIATION DES SITES ET SOLS POLLUÉS
LES AMÉNAGEMENTS DE PLATEFORMES
LES ÉCOCENTRES ET MATÉRIAUX RECYCLÉS

WWW.BREZILLON.FR

Mardi 21 juin 2022 / Tuesday June 21, 2022

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

09h20
Discours de bienvenue / Welcoming speach

Suivi et gestion numérique des sols / Digital soil monitoring and management
Modérateur : Benjamin Pauget, Responsable R&D – Tesora

09h30
Etablissement de la cartographie des valeurs de fond des sols du Grand Lyon selon la méthodologie nationale / Establishment of the mapping of the geochemical background values of the soils of Grand Lyon according to the national methodology
Baptiste Sauvaget, Collaborateur scientifique – eOde (Suisse)

09h50
Modélisation de la disponibilité de la ressource en terre pour la construction en terre allégée à l'aide d'une base de données pédologique en Bretagne (France) / Modelling the availability of earth resource for light earth building using a soil geodatabase in Brittany (France)
Loris Verron, Doctorant - Université Gustave Eiffel

10h10
^{19}F-IRM et modélisation numérique comme méthode combinée pour la mesure et la prédiction du transport de substances fluorées (par exemple les PFAS) dans les milieux poreux / ^{19}F-MRI and numerical modeling as a combined method for the measurement and prediction of fluorinated substances (e.g. PFASs) transport in porous media
Elisabeth Fries, Doctorante – Université Gustave Eiffel

10h30
Pause café / Coffee break

11h00
Exemples d'application de l'intelligence artificielle pour les sites et sols pollués / Examples of the application of artificial intelligence for polluted sites and soils
Aurélien Triger, Président - EvalDépol

11h20
Suivi dynamique de divers milieux et présentation des résultats sur un dashboard Power BI / Digital and dynamic environmental monitoring and result's presentation on a Power BI dashboard
- *Laura de Lorenzo, Ingénieure sites et sols pollués - Ramboll*
- *Pierre Schindler, Ingénieur environnement, Analyste des données - Ramboll*

11h40
Caractérisation des sols pour une meilleure compréhension de la migration des polluants / Soil characterization for a better understanding of pollutants' migration
Théo De Clercq, Chargé de missions Géophysique - Valgo

12h00
Méthode de reconstruction du panache pour identifier les sources de solvants chlorés / Plume reconstruction method for identifying sources of chlorinated solvents
Jacques Martelain, Senior managing scientist in environmental forensics and litigation support – Terraquatron & Directeur et Géologue cantonal – République et Canton de Genève

12h20
Cartographie SIG des sols potentiellement pollués : un outil d'aide à la décision pour la surveillance et la gestion des sols dans le cadre réglementaire Suisse / GIS mapping of potentially polluted soils: a decision support tool for soil monitoring and management within the Swiss regulatory framework
Sonia Tarnawski, Cheffe de projet – eOde (Suisse)

12h40
TREX : un outil pour tracer 45 millions de tonnes de déblais / TREX: a software to ensure the traceability for 45 millions of tons of excavated rocks
Guillaume Gérard, Chargé de mission déblais - Société du grand Paris

13h00
Déjeuner / Lunch

14h00
Pitch exposants / Exhibitors pitches

14h15
Table ronde / Round table

Traçabilité et valorisation des terres excavées : est-on au rendez-vous ? / Traceability and recovery of excavated soil: are we there?
Organisation et modération / Organization & Moderators:
. *Coline Eychène, Cheffe de projet - Hesus*
. *Lionel Roche, Avocat associé – Aklea*

Participants :

- *Cécile Villette, CEO - Altaroad*
- *Olivier Pacaud, Directeur adjoint - Brézillon*
- *Richard Tassin, Chargé d'affaires – Ingerop*

6 mois après l'entrée en vigueur des dispositions de la loi anti-gaspillage pour une économie circulaire, état des lieux sur les pratiques de gestion des déblais / 6 months after the entry into force of the provisions of the anti-waste law for a circular economy, inventory of waste management practices

Génie écologique et biodiversité / Ecological engineering and biodiversity
Modératrice : Claire-Emmanuelle Mercier, Associée Présidente – ATESyn

15h00
Phytostabilisation des haldes miniers par des plantes métallicoles : une utilisation raisonnée de la flore autochtone pour une revalorisation écologique d'un ancien site minier / Phytostabilization of mining piles by calaminarian plants: managed use of native flora for the ecological recovery of a former mining site
Souhir Soussou, Directrice – Fertil'Innov Environnement

15h20
Comment l'approche pédologique des territoires permettrait d'affiner les mesures compensatoires dans la mise en œuvre de la séquence *Eviter-Réduire-Compenser*, de l'évaluation environnementale des projets, pour les zones humides notamment, pour des ouvrages linéaires et le traitement des sites et sols pollués / A better soil knowledge in local areas to refine the notion of wetlands, particularly for Avoid-Reduce-Compensate sequence and polluted soil
Claire-Emmanuelle Mercier, Associée Présidente – ATESyn

15h40
Pause café / Coffee break

16h00
Optimisation des stratégies de phytomanagement sur les sols contaminés par des métaux (Cd, Pb, Zn, Cu) pour fournir de la biomasse pour la production de biocarburants propres - essais en pot / Optimization of phytomanagement strategies on soils contaminated with metals (Cd, Pb, Zn, Cu) to provide biomass for clean biofuel production – pot trial
Felix Domfe Ofori-Agyemang, Doctorant – LGCgE (Laboratoire de Génie Civil et géo-Environnement) - Junia

16h20
Renaturation d'un cours d'eau en contexte industriel / River renaturation in an industrial context
Clémentine Meyniel, Ingénieure MOE fluviale / Sites et sols pollués - Setec Hydratec

16h40
Quand les Espèces Exotiques Envahissantes s'invitent dans les plans de gestion de la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués / When invasive alien species break though remedial management plans of the national methodology for contaminated land and sites management
Ariane Ancel, Responsable Pôle Maîtrise d'œuvre - Génie Ecologique – Ekos Ingénierie

17h00
Etude participative de la biodiversité des sols (macrofaune épigée) urbains et péri-urbains dans le cadre de la création d'une trame brune / Participatory study of urban and peri-urban soil biodiversity (aboveground macrofauna) within the framework of a brown frame creation
Quentin Vincent, Directeur scientifique et technique et Co-fondateur - Sol &co

17h20
Discussions

17h30
Fin de la première journée / End of Day One

Etablissement de la cartographie des valeurs de fond des sols du Grand Lyon selon la méthodologie nationale

Auteurs : B. Sauvaget (eOde)[1], H. Demougeot-Renard (eOde), H. Roussel (ADEME), J. Correa (Grand Lyon)

Mots-clés : fonds pédo-géochimiques, sols urbains, statistique, géostatistique

Caractère innovant : Etude pilote et approfondissement de la méthodologie nationale de détermination des valeurs de fond pédo-géochimique pour la gestion des terres excavées et la préservation des sols

Contexte et objectifs

Une bonne connaissance de l'état des sols d'un territoire constitue l'outil de base pour les protéger et en préserver les fonctions tout en autorisant des opérations de renouvellement urbain. La constitution de référentiels sous forme de valeurs de fonds pédo-géochimiques permet d'en envisager une gestion optimisée, avec le déplacement de sols sans dégradation de la qualité chimique des sites receveurs lors de projets d'aménagement.

En France, les guides de valorisation des terres excavées hors site (Coussy et al., 2020b, 2020a) demandent l'estimation de la qualité des sols par comparaison à des fonds pédo-géochimiques comportant plusieurs niveaux. Le premier niveau, national, rassemble des valeurs seuils libératoires relativement faibles autorisant la réutilisation des terres sur l'ensemble du territoire métropolitain. Afin de pouvoir valoriser davantage de terres tout en protégeant la qualité chimique et sanitaire des sols urbains, un deuxième niveau est proposé correspondant à des fonds pédo-géochimiques locaux dont les valeurs peuvent être supérieures aux seuils nationaux.

Afin de déterminer ces référentiels locaux, des approches statistiques et géostatistiques sont possibles. La première consiste à calculer un seuil statistique à partir d'un jeu de données représentatif des valeurs de fond. La détermination de cette « ligne de base » est décrite dans le guide de détermination des valeurs de fond à l'échelle d'un territoire (ADEME, 2018) et consiste à calculer la vibrisse[2] sur une gamme de valeurs représentatives du fond pédo-géochimique naturel ou anthropisé d'une entité géographique.

La seconde approche, géostatistique, peut être mise en place sur des secteurs disposant de nombreuses données et présentant un fort enjeu, tels que des quartiers, des métropoles ou des régions à fort développement. Le principe consiste alors à cartographier les variations spatiales attendues des teneurs en substances à partir des données disponibles par une méthode d'interpolation adaptée.

Depuis 2010, la Métropole de Lyon rassemble dans une base (Geomely) les données sur la qualité chimique des sols, qui ont été collectées dans le cadre de projets d'aménagement menés sur son territoire. Cette base est actuellement l'une des plus fournies des collectivités territoriales françaises, avec près de 6000 échantillons de sol dont les données chimiques ont été rassemblées. Depuis 2018, le bureau eOde intervient avec l'appui financier de l'ADEME pour établir un référentiel des fonds naturel et anthropisé de la Métropole selon la méthodologie nationale. Une première phase – menée de 2018 à 2020 – a consisté à préparer et traiter les données pour obtenir des ensembles de valeurs représentatives des fonds pour chacune des substances d'intérêt (éléments traces : As - Ba - Cd - Crt - Cu - Hg - Mo - Ni - Pb - Sb - Se – Zn, et composés organiques : HAP et PCB), et a conduit à l'établissement de premières cartographies des teneurs en Arsenic (Demougeot-Renard, 2020). La seconde phase initiée en janvier 2022 pour une année a pour objectif de produire pour le Grand Lyon

[1] Baptiste Sauvaget, collaborateur scientifique, eOde Sàrl, 7 chemin de Mont-Riant, CH-2000 Neuchâtel, Tél. +33 (0) 6 18 88 64 01, baptistesauvaget@eode.ch , www.eode.ch, linkedin

[2] Limite supérieure interne calculée : Q75 + 1.5.(Q75-Q25), Q25 et Q75 désignant les percentiles 25% et 75%.

les lignes de base et les cartographies de la totalité des substances d'intérêt, tout en consolidant les bases méthodologiques posées lors de la première phase. Des retours d'expérience sur les modalités de constitution des fonds utiles aux autres collectivités sont également attendus du projet pilote.

Résultats méthodologiques

Les travaux réalisés indiquent que la constitution de référentiels nécessite une étape préliminaire de préparation des données rassemblées dans la base, consistant essentiellement à :

- Eliminer les valeurs aberrantes représentatives de sols fortement pollués par d'anciennes activités industrielles,
- Attribuer les données de la base au fond pédo-géochimique naturel – terrain naturel en place non marqué par l'activité humaine (BFGN), ou bien au fond pédo-géochimique anthropisé – terrain déplacé (remblais) ou en place marqué par des apports diffus liés aux activités humaines (BFGA).

Les deux jeux de données obtenus – formés de 2203 échantillons attribués au BFGN et 3721 attribués au BFGA, sont alors traités séparément selon le processus schématisé à la **Figure 1** :

- Les lignes de base sont calculées pour chacune des 14 substances d'intérêt et des 2 fonds sur l'ensemble du territoire comme la limite supérieure interne de la population (vibrisse), après dégroupement spatial et correction de l'effet des pourcentages élevés de teneurs inférieures aux limites de quantification (taux de censure, abrév. %<LQ) par discrétisation,
- Des cartographies des teneurs de fond sont produites par krigeage lorsque les taux de censure sont inférieurs à 75% et en présence d'une structure spatiale, soit pour les substances As, Ba, Cd, Crt, Cu, Hg, Ni, Pb et Zn dans les deux fonds. La mise en évidence de teneurs en moyenne plus élevées dans les sols à usage industriel ou urbain, que dans ceux à usage maraîcher, agricole ou de loisirs, permet d'intégrer la carte des occupations des sols Corine Land Cover 2012 dans la modélisation[3] pour cartographier les fonds anthropisés de manière plus précise. De manière similaire, les différences de teneurs moyennes constatées par groupes de formations géologiques permettent de cartographier les fonds naturels en tenant compte de l'information apportée par la carte géologique. Enfin, les corrélations mises en évidence entre les éléments traces Cu – Pb - Zn et Ba - Crt - Ni permettent d'établir conjointement leur cartographie par un cokrigeage, tandis que les éléments Cd et Hg sont cartographiés séparément par krigeage,
- Des lignes de base sont calculées par entités géographiques cohérentes (EGC) définies en fonction de l'usage du sol et de la géologie lorsque les taux de censure dépassent 75% ou en l'absence de structure spatiale, soit pour les substances Mo, Sb, Se, HAP et PCB dans les deux fonds. Cette solution est retenue lorsque les conditions de cartographie géostatistique des substances ne sont pas réunies,
- Les choix méthodologiques sont validés par des tests tout au long du processus, tels que des analyses univariées (ANOVA) et multivariées (MANOVA) de variance pour la séparation de données en groupes, et des validations-croisées pour le traitement géostatistique, afin de minimiser l'incertitude d'estimation - écart entre la teneur réelle et la teneur estimée en chaque maille de la grille de modélisation sous-jacente aux cartographies.

Résultats statistiques et cartographiques

Les lignes de base et les cartographies en cours d'élaboration pour le territoire du Grand Lyon seront présentées lors de l'exposé.

[3] par un krigeage simple avec moyenne locale variable.

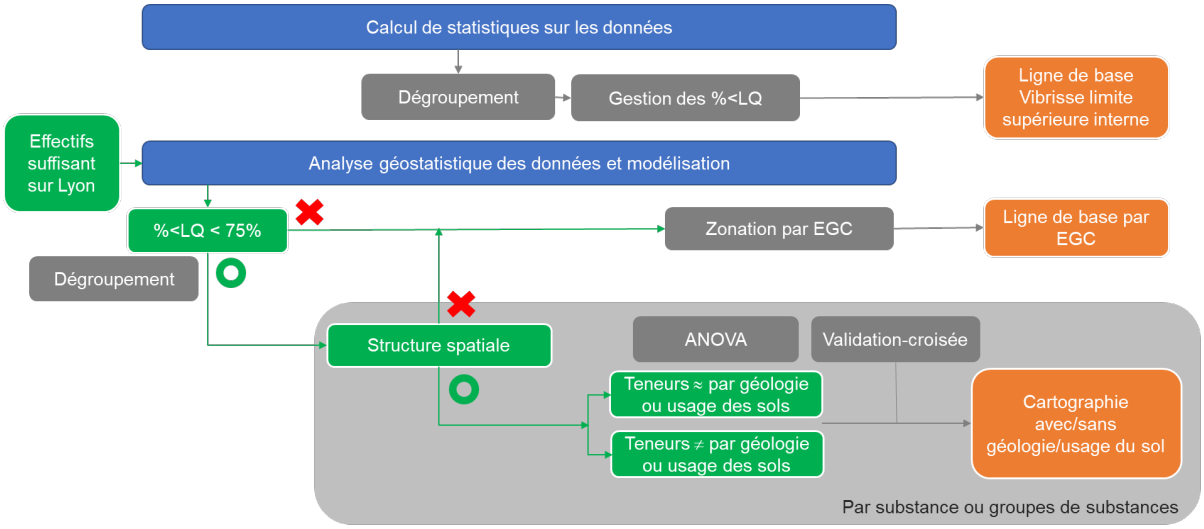


Figure 1 *Schéma (arbre décisionnel) du processus de traitement des données mis en place pour calculer des lignes de base et cartographier les fonds naturels et anthropisés à l'échelle du Grand Lyon.*

Conclusions et perspectives

Cette étude-pilote permet d'affiner le protocole de traitement d'un jeu de données d'une collectivité territoriale dont les bases ont été jetées dans le guide national de détermination des valeurs de fond de 2018. Certaines étapes apparaissent incontournables pour obtenir des gammes de valeurs représentatives des fonds (p.ex. dégroupement spatial, correction de l'effet de forts taux de censure) dans toutes les métropoles, tandis que d'autres pourraient être plus spécifiques au territoire, à son occupation historique et actuelle et à son soubassement géologique.

Outre la finalisation à proprement parler des lignes de base et des cartes de fond naturel et anthropisé pour les 14 substances d'intérêt, la production de résultats directement opérationnels pour les professionnels du renouvellement urbain doit encore être réfléchie. Les 28 cartes brutes issues du traitement géostatistique – teneurs estimées les plus probables et écarts-types de krigeage pour 14 substances et 2 fonds – ne peuvent en effet pas être utilisées comme telles. Il s'agit en effet pour le praticien de déterminer rapidement dans quelles parcelles des terres excavées peuvent être acceptées, c'est-à-dire sans que les teneurs en substances analysées dans ces terres dépassent les valeurs de fond, en tenant compte du niveau de précision des valeurs estimées dans les parcelles.

Remerciements : Nous remercions chaleureusement Blandine Clozel, cheffe de projet au BRGM pour sa participation aux réflexions sur l'influence de la géologie sur les fonds, et Pierre Clottes, responsable du service "études et expertise" de la Direction du Foncier et de l'Immobilier au Grand Lyon, pour son impulsion et sa motivation pour le projet.

Références :

ADEME, 2018. Méthodologie de détermination des valeurs de fonds dans les sols : Echelle territoriale. Groupe de travail sur les valeurs de fonds.

Coussy, S., Dubrac, N., Moutier, L., 2020a. Guide de valorisation hors site des terres excavées non issues de sites et sols potentiellement pollués dans des projets d'aménagement. Ministère de la transition écologique et solidaire.

Coussy, S., Hulot, C., Billard, A., Kaabouch, S., Dubrac, N., 2020b. Guide de valorisation hors site des terres excavées issues de sites et sols potentiellement pollués dans des projets d'aménagement. Ministère de la transition écologique et solidaire.

Demougeot-Renard, H., 2020. Détermination des fonds pédo-géochimiques des sols du Grand Lyon (base de données Geomely). Etude d'approches géostatistiques adaptées à la cartographie des valeurs de fonds (eOde Sàrl). Grand-Lyon, Lyon (France).

Mapping of soil background values in Grand Lyon according to the national methodology

Authors : B. Sauvaget (eOde)[4], H. Demougeot-Renard (eOde), H. Roussel (ADEME), J. Correa (Grand Lyon)

Keywords : pedo-geochemical backgrounds, urban soils, statistics, geostatistics

Innovativeness : Pilot study and further development of the national methodology for determining pedo-geochemical background values for excavated soil management and soil preservation

Context and objectives

Good knowledge of quality of the soils of a region is the basic tool for protecting them and preserving their functions while authorising urban renewal operations. Constitution of reference systems in the form of pedo-geochemical background values allows an optimised management, with the relocation of soils without degrading the chemical quality of the receiving sites during development projects.

In France, the guides for recycling excavated soils off site (Coussy et al., 2020b, 2020a) require to assess soil quality by comparison to pedo-geochemical baselines. The first level, national, gathers relatively low threshold values authorising the reuse of soils on the entire metropolitan territory. In order to be able to regenerate larger areas while protecting the chemical and sanitary quality of soils, a second level is proposed corresponding to local pedo-geochemical baselines, which can be higher than the national thresholds.

For determining these local reference values, statistical and geostatistical approaches are possible. The first consists of calculating a statistical threshold from a representative set of background values. This "baseline" is described in the guide for determining background values at the scale of a region (ADEME, 2018) and is obtained by calculating the upper inner fence[5] over a range of values representative of the natural or anthropized pedo-geochemical background of a geographical entity.

The second approach uses geostatistics and may be implemented in sectors with large amounts of data and major challenges, such as districts, metropolises or regions with high development. The principle consists of mapping the expected spatial variations in substance grades from the available data, using a suited interpolation method.

Since 2010, Lyon Métropole (Grand Lyon) has gathered data on the chemical quality of soils in a database (Geomely), which have been collected in the context of development projects carried out on its territory. This database is currently one of the most extensive in France, with nearly 6000 soil samples and related chemical analyses. Since 2018, eOde has been working with the financial support of ADEME to establish baselines for the natural and anthropized pedo-geochemical backgrounds of the metropolis according to the national methodology. A first phase - carried out from 2018 to 2020 - consisted of preparing and processing the data to obtain sets of representative background values for each of the substances of interest (trace elements : As - Ba - Cd - Crt - Cu - Hg - Mo - Ni - Pb - Sb - Se - Zn, and organic compounds : PAHs and PCBs), and led first to mapping Arsenic grades (Demougeot-Renard, 2020). The second phase began in January 2022 and will last one year. It aims to produce baselines and maps for all the substances of interest in the Grand Lyon area, while consolidating the methodological basis. Methodological and experience feedback useful to other local authorities are also expected from the pilot project.

---

[4] Baptiste Sauvaget, collaborateur scientifique, eOde Sàrl, 7 chemin de Mont-Riant, CH-2000 Neuchâtel, Tél. +33 (0) 6 18 88 64 01, baptistesauvaget@eode.ch , www.eode.ch, linkedin

[5] Calculated upper inner fence : Q75 + 1.5.(Q75-Q25), with Q25 and Q75, percentiles 25% and 75%.

Methodological results

The work carried out indicates that building reference systems requires a preliminary stage to prepare the data collected in the database, consisting essentially of :

- Eliminating the outliers representative of soils heavily polluted by former industrial activities,
- Assigning the data to the natural pedo-geochemical background – in situ natural soil that is not impacted by human activity (BFGN), or to the anthropized pedo-geochemical background - displaced soil (backfills) or in situ soil impacted by diffuse inputs linked to human activities (BFGA).

The two obtained datasets - consisting of 2203 samples assigned to the BFGN and 3721 assigned to the BFGA, are then processed separately according to the worflow shown in **Figure 1** :

- Baselines are calculated for each of the 14 substances of interest and the 2 backgrounds over the whole territory as the upper inner fences of the distributions (whyskers), after spatial declustering and correction of the effect of high percentages of concentrations below the limits of quantification (percentages of censored data, abbreviated %<LQ) by discretisation,
- Background maps are produced by kriging when the proportions of censored data are lower than 75% and in the presence of a spatial structure, i.e. for the substances As, Ba, Cd, Crt, Cu, Hg, Ni, Pb and Zn in both backgrounds. The observation of higher average grades in soils used for industrial or urban purposes than in those used for market gardening, agriculture or recreation allows the integration of the Corine Land Cover 2012 land use map in the modelling[6], to map the anthropized backgrounds more accurately. In a similar way, the differences in average grades observed by groups of geological formations make it possible to map natural backgrounds, accounting for the information provided by the geological map. Finally, the correlations highlighted between the trace elements Cu - Pb - Zn and Ba - Crt - Ni allow to map them jointly by cokriging, while the elements Cd and Hg are mapped separately by kriging,
- Baselines are calculated by coherent geographical entities (CGE) defined according to land use and geology when proportions of censored data exceed 75% or in the absence of spatial structure, i.e. for the substances Mo, Sb, Se, PAHs and PCBs in both natural and anthropized backgrounds. This solution is adopted when the conditions for geostatistical mapping of substances are not met,
- The methodological choices are validated by tests all along the process, such as univariate (ANOVA) and multivariate (MANOVA) analyses of variance for dividing data into groups, and cross-validation for the geostatistical treatment, for minimising the estimation uncertainty - difference between the real grade and the estimated one in each grid cell of the modelling grid underlying the maps.

Statistical results and maps

Baselines and maps will be presented during the talk.

[6] Using a simple kriging with variable local means.

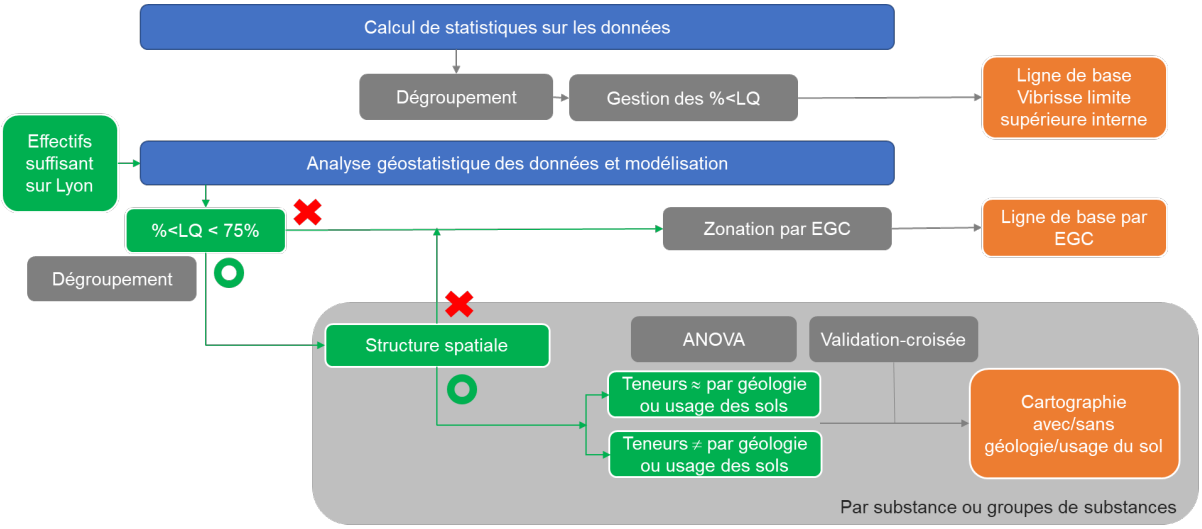


Figure 2 *Diagram (decision tree) of the data treatment process implemented to calculate baselines and map the natural and anthropized backgrounds at the scale of Lyon metropolis.*

Conclusions and perspectives

This pilot study specifies the workflow for processing pedo-geochemical background values, firstly described in the national guide of 2018. Some steps are mandatory for getting ranges of representative background values (e.g. spatial declustering, correction of the effect of high proportions of censored data) in all regions, while others could be more specific to the territory, its historical and current occupation and its geology.

In addition to calculating the baselines and the natural and anthropized background maps for the 14 substances of interest, production of directly operational results for urban renewal professionals still needs to be considered. The 28 raw maps resulting from the geostatistical workflow – estimates of most probable grades and kriging standard deviations for the 14 substances and the 2 backgrounds – are not convenient. Practitioners need indeed to determine quickly in which plots excavated soils can be accepted, i.e. with substances grades in excavated soils below the background values in plots, taking into account the level of accuracy of the estimated reference values in the plots.

Thanks : We would like to warmly thank Blandine Clozel, project manager at BRGM, for her participation in the considerations on the influence of geology on the soil background values, and Pierre Clottes, head of the "Studies and expertise" Department of the Direction du Foncier et de l'Immobilier (Land and Real Estate Department) at Grand Lyon, for his impetus and motivation for the project.

References :

ADEME, 2018. Méthodologie de détermination des valeurs de fonds dans les sols : Echelle territoriale. Groupe de travail sur les valeurs de fonds.

Coussy, S., Dubrac, N., Moutier, L., 2020a. Guide de valorisation hors site des terres excavées non issues de sites et sols potentiellement pollués dans des projets d'aménagement. Ministère de la transition écologique et solidaire.

Coussy, S., Hulot, C., Billard, A., Kaabouch, S., Dubrac, N., 2020b. Guide de valorisation hors site des terres excavées issues de sites et sols potentiellement pollués dans des projets d'aménagement. Ministère de la transition écologique et solidaire.

Demougeot-Renard, H., 2020. Détermination des fonds pédo-géochimiques des sols du Grand Lyon (base de données Geomely). Etude d'approches géostatistiques adaptées à la cartographie des valeurs de fonds (eOde Sàrl). Grand-Lyon, Lyon (France).

Soil suitability for light-earth building : estimating and mapping the availability of excavated earth resource using a soil geodatabase in Brittany (France)

Loris Verron, PHD student

Univ Gustave Eiffel, MAST-GPEM, F-44344 Bouguenais, France

loris.verron@univ-eiffel.fr

Keywords: earth building, light earth, pedology, soil suitability, material flow analysis

Published article is available at :

Verron, L., Hamard, E., Cazacliu, B., Razakamanantsoa, A., Duc, M., Vinceslas, T., Hellouin de Menibus, A., Lemercier, B., Ansaa-Asare, R. J., et Lecompte, T., 2022. Estimating and Mapping the Availability of Earth Resource for Light Earth Building Using a Soil Geodatabase in Brittany (France). Resources, Conservation and Recycling 184:106409. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106409

Open data, maps and python programs are available at :

VERRON, Loris. A numerical model to estimate locally available suitable soil for light earth building using pedological databases. data.univ-gustave-eiffel. https://doi. org/10.25578/MIQNZ2.

Abstract :

The construction industry uses a significant amount of energy and fossil resources. It also generates a lot of waste, with excavated earth accounting for more than half of it. Existing and new buildings can be insulated with natural and local materials such as light-earth to reduce both of these fluxes. Light earth is a natural insulating material composed of earth and vegetal fibres. In non-stabilized light earth, made of local materials such as extracted earth, light earth insulation minimizes the embodied energy of insulation materials, reduces the end of life waste production and reduces the excavated earth storage platforms need.

A pedological database (DoneSol3 Brittany) is crossed with earth suitability thresholds defined by recent research results and expert craftsmen in order to quantify and evaluate the availability of earth resources spatially. After that, the suitability of the pedological spatial units is mapped (Figure 1).

Furthermore, the total amount of suitable soil, the suitable soil percentage, and the annual amount of suitable excavated earth are estimated for Brittany territory.

Study estimates that 48% of Brittany's soil horizons are suitable for light earth building. Every year, 1.3 Mt of suitable soil are excavated in Brittany. All existing and new buildings in Brittany could be insulated with light-earth in less than 8 years if only these excavated earths were used (Figure 2). This study shows that suitable earth availability is not a limiting factor to develop light earth insulation in Brittany.

For this presentation, a supplementary analysis is performed : soil horizon suitability is analysed by soil horizon type. As soil suitability thresholds are defined on soil horizons properties that vary with horizon depth (organic carbon, coarse element content), horizon suitability is expected to evolve accordingly.

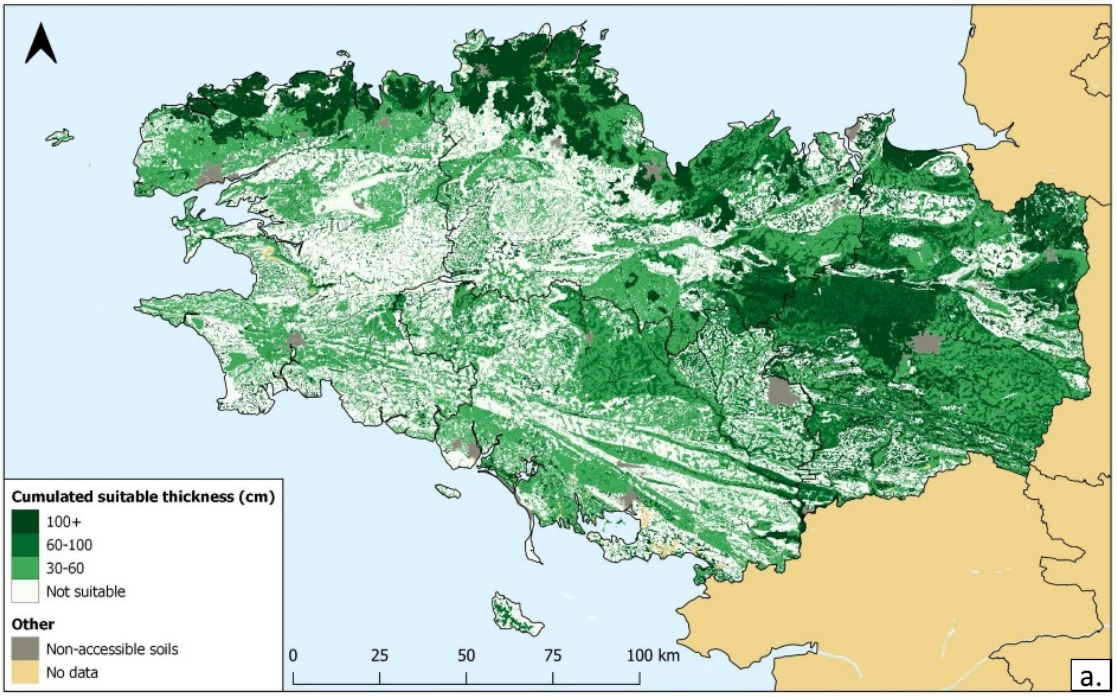


Figure 1 : Predictive mapping of Brittany (France) soils suitable thickness.

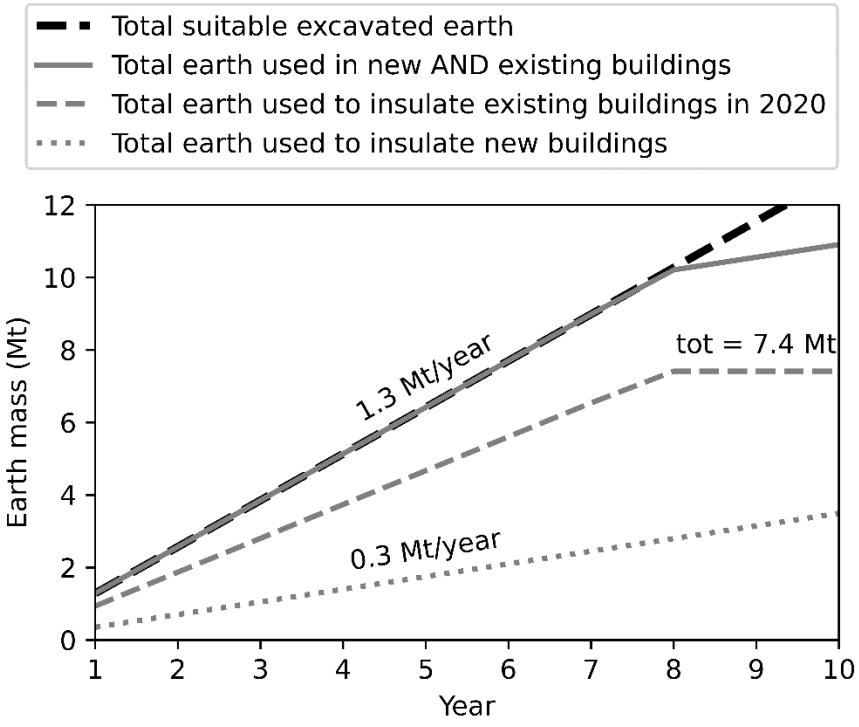


Figure 2: Scenario maximising the reuse of suitable excavated earth in light earth building in a period of 10 years. Estimations of volumes extracted, and used to insulate new and existing buildings. Building requirements estimated from French government data (CGDD, 2014; INSEE, 2020, 2017), see Verron (2021).

^{19}F-MRI and numerical modeling as a combined method for the measurement and prediction of fluorinated substances (e.g. PFASs) transport in porous media

Elisabeth Fries[1,3], Denis Courtier-Murias[1], Jaime Gil Roca[2], Pierre-Emmanuel Peyneau[1], Eric Michel[3], Béatrice Béchet[1]

[1] GERS-LEE, Univ Gustave Eiffel, IFSTTAR, F-44344 Bouguenais, France

[2] Laboratoire Navier, Ecole des Ponts ParisTech, CNRS, Univ Gustave Eiffel, 77420 Champs-sur-Marne, France

[3] EMMAH, INRAE, Avignon Université, 84000 Avignon, France

The topic of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) is a late-breaking issue due to its high environmental relevance (toxicity, persistence and bio accumulation) and due to the detection of PFASs as contaminants in various environmental compartments including groundwater, surface water and soil. PFASs enter the environment for instance through industrial, agricultural, and house-hold activities. Restricted PFASs like PFOA by the Stockholm Convention 2019 have often been replaced by molecules of the same family with shorter carbon chains, and nowadays around 4000 different molecules of PFASs can be found in the environment. Although PFASs have been manufactured since the 1940s, the fate of these chemicals in soils was not studied until the late 1990s.

These studies have shown that the retention of PFASs in soils depends on various factors such as the PFASs type (e.g. molecular structure and carbon chain length), the soil properties (e.g. amount of organic carbon), and the pore water (e.g. degree of saturation, pH). Still, the retention – and release – mechanisms of PFASs on soil constituents are not completely elucidated, and a generic model able to predict the transport of PFASs in the subsoil is not available yet.

In this work, building on a recently developed approach coupling nuclear magnetic resonance (^{19}F - NMR) and modeling [1], we used magnetic resonance imaging (^{19}F - MRI) to obtain quantitative information of the spatial and temporal distribution of a fluorinated substance inside a porous medium during transport experiments. We validated the performance of our approach by comparing MRI profiles obtained during flow-through experiments in sand columns tracing the transport of sodium fluoride (NaF) – a fluorinated non-reactive tracer – with traditional breakthrough curve and numerical simulations. These results pave the way for the application of this innovative MRI/modeling approach PFASs and conclusively to improve our understanding and modeling capability of PFASs fate in porous media.

Keywords: PFASs, ^{19}F – MRI, numerical modeling, transport experiments, porous media

[1] Courtier-Murias, D., Michel, E., Rodts, S., & Lafolie, F. (2017). Novel Experimental-Modeling Approach for Characterizing Perfluorinated Surfactants in Soils. *Environmental Science and Technology*, *51*(5), 2602–2610. https://doi.org/10.1021/acs.est.6b05671

Exemples d'application de l'I.A. pour les sites et sols pollués

Muzammel MUHAMMAD[a], Tanguy WESTELYNCK[a], Alice OTHMANI[b], Aurélien TRIGER[a]

[a]EVALDEPOL-4, rue Pierre Fontaine-91058 Evry Cedex

[b]UPEC-LISSI-EA 3956-122, rue Paul Armangot, 94400 Vitry sur Seine

Mots clés : Diagnostic, Sites et Sols pollués, Machine-Learning, Intelligence Artificielle.

L'optimisation des opérations de gestion et réhabilitation des sites et sols pollués nécessite une compréhension la plus précise possible de la problématique environnementale souterraine. Pour cela, une grande quantité d'informations doit être acquise et traitée : sur l'histoire du site, les contextes géologiques et hydrogéologiques, les analyses chimiques dans les sols, les eaux et l'air. EvalDépol travaille depuis 2019 au développement d'outils numériques pour faciliter la gestion et la réhabilitation des sites et sols pollués.

Le logiciel KiWi-Maps permet notamment de synthétiser l'intégralité des informations acquises lors d'un diagnostic de site et de créer des bases de données exploitables pour des applications type SIG, des analyses statistiques et des interpolations déterministes ou géostatistiques.

Dans le même temps, nous avons lancé un projet de recherche ambitieux, en partenariat avec l'UPEC-LiSSi, dont le but est le développement de méthodes basées sur l'Intelligence Artificielle (Machine Learning) pour le traitement des données provenant de sites pollués. L'objectif à terme est d'aboutir à des méthodes et outils « intelligents » de diagnostics et de suivis de ces sites.

Nous avons ainsi développé une méthode « intelligente » capable d'estimer des concentrations en polluants et de prédire des géologies automatiquement à partir d'une multitude de paramètres d'entrées (concentrations en polluants, géologie, topographie, hydrogéologie...). Contrairement aux méthodes déterministes (polygones de Thiessen) et géostatistiques, l'utilisation d'algorithmes « entrainés » ne nécessitent pas de compétences particulières de la part de l'utilisateur (qui n'a à réaliser aucun paramétrage des algorithmes). Tout le travail d'optimisation et d'amélioration des modèles est réalisé en amont.

Lors de l'édition 2020 d'INTERSOL, nous avons présenté les premiers résultats de prédiction obtenus sur des données simulées. En 2021, nous avons mis en avant de nouveaux résultats obtenus à partir de données provenant de sites « réels ». Ces preuves de concept nous ont permis d'aboutir au dépôt d'un brevet sur un « Procédé pour déterminer le niveau de pollution dans le sous-sol d'un site ».

Nous avons depuis continué nos travaux pour optimiser nos algorithmes et valider leurs résultats sur un plus grand nombre de projets. Nous avons donc été amenés à travailler sur la validité des résultats, les incertitudes associées et les erreurs acceptables dans le cadre d'un diagnostic de site. Cela a conduit au développement d'une nouvelle application de l'apprentissage automatique : la détection d'anomalies liées à des erreurs de saisies, d'analyse et/ou à des effets pépites.

Nous proposons de réaliser une présentation orale d'une synthèse de nos dernières avancées mettant en avant des exemples d'application de l'I.A. pour les sites et sols pollués. Nous focaliserons notre présentation sur des exemples concrets d'application qui permettront aux différents acteurs du domaine de s'approprier ces nouvelles méthodes qui seront de plus en plus utilisées dans le domaine des SSP.

Auteurs : Laura de Lorenzo (ldelorenzo@ramboll.com), Pierre Schindler (pschindler@ramboll.com), Yoelma Rodriguez-Dartois (yrodriguez@ramboll.com).
Ramboll France.



Suivi dynamique de divers milieux et présentation des résultats sur un dashboard Power BI

Caractère innovant : Partage de données et de résultats via une plateforme Power BI (client et autres intervenants dans le cadre du projet). Rapport automatique. Outil de suivi, de prise de décision et de communication interactif (client, autres intervenants du projet) qui centralise les données produites « en temps réel ». Gestion systématique et rigoureuse des données environnementales. Evolution aisée selon les besoins

Mots clés : Base de données environnementales ; acquisition, validation et analyse de données ; workflow intégré ; Power BI, visualisation; suivi travaux; EQuIS

1. Présentation du projet

Une des principales missions de Ramboll France est de caractériser l'état environnemental de sites industriels et de dimensionner des solutions de gestion pour leur remise en état.

Dans le cadre d'une mission d'assistance pour évaluer d'une part la qualité de la couverture et l'efficacité des drains mis en place sur deux décharges, et d'autre part, pour assurer le suivi environnementale d'un site industriel actif, Ramboll a mis en place un système de gestion et traitement des données qui permet de stocker sur une longue durée une quantité conséquente de données et de les partager sur une plateforme d'affichage Microsoft Power BI.

La plateforme web garantit un affichage maintenu à jour à tout moment ce qui facilite la prise de décision opérationnelle et le partage avec le client en temps quasi réel sans opération supplémentaire.

2. Gestion et transmission des données : pourquoi un Dashboard Power BI ?

La combinaison de la base de données environnementale EQuIS, et de Microsoft Power BI permet de visualiser et analyser les données du projet et de les partager avec les intervenants du projet par un lien internet. Cet outil est simple d'utilisation et interactif.

En plus de la visualisation interactive, l'édition d'un rapport PDF contenant les indicateurs clés du projet est proposée depuis l'interface.

Ainsi, il est possible d'avoir dans un même espace :

- Les données historiques du projet ;
- L'ensemble des données de terrain et les résultats d'analyses des campagnes en cours ;
- Une carte avec les ouvrages du projet, avec possibilité de sélectionner un ouvrage et visualiser les évolutions de concentrations ;
- Un export sous la forme d'un rapport PDF incluant les éléments clés du suivi :
    - La synthèse des observations et mesures de terrain ;
    - Les résultats analytiques des milieux échantillonnés par campagne (tableaux, graphes).

3. Bilan de la solution proposée

Ce type de plateforme ou dashboard interactif permet de remplir les objectifs suivants :

- Faciliter le suivi à distance et afficher automatiquement les données mises en forme
- Partager rapidement les visuels via un navigateur web avec les parties prenantes du projet
- Visualiser les données collectées sur le terrain avec un faible délai.

Authors: Laura de Lorenzo (ldelorenzo@ramboll.com), Pierre Schindler (pschindler@ramboll.com), Yoelma Rodriguez-Dartois (yrodriguez@ramboll.com). Ramboll France.



Digital and dynamic environmental monitoring and result's presentation on a Power BI dashboard

Innovative nature of the project: Sharing of data and results via a Power BI platform (client and other stakeholders in the context of the project). Automatic report. Interactive monitoring, decision-making and communication tool (client, other project stakeholders) that centralizes the data produced "in real time". Systematic and rigorous management of environmental data. Easy evolution according to needs

Keywords: Environmental database; data acquisition, validation and analysis; integrated workflow; Power BI, visualization; work monitoring; EQuIS

1. Project description

One of the main missions of Ramboll France is to characterize the environmental state of industrial sites and to design management solutions for their rehabilitation.

Ramboll has set up a data management and processing system that allows a large amount of data to be stored over a long period of time and shared on a Microsoft Power BI display platform. This workflow was successfully applied as part of an assistance mission to assess the quality of the cover and the efficiency of the drains installed on two landfills, and to monitor the environmental quality of an active industrial site.

The web platform guarantees consistent visualizations, which facilitates operational decision-making and sharing with the customer in near real time without additional steps.

2. Data management and transmission: Why a Power BI Dashboard?

The combination of the EQuIS environmental database and Microsoft Power BI makes it possible to structure project data and share it with project stakeholders via an Internet link. This tool is easy to use and interactive.

In addition to the interactive visualization, the export of a PDF report containing the key indicators of the project can be easily done directly from the interface.

Thus, it is possible to have in the same space:

• Historical project data;

• All field data and analysis results from ongoing campaigns;

• A map with the project network monitoring, with the possibility of selecting a structure and viewing the evolutions in concentrations;

• A PDF report including the key monitoring elements:

- Summary of field observations and measurements;
- The analytical results of the environments sampled by campaign (tables, graphs).

3. Assessment of the proposed solution

This type of platform or interactive dashboard can fulfill the following objectives:

• Facilitate remote monitoring and automatically display formatted data

• Quickly share visuals via a web browser with project stakeholders

• Visualize data collected in the field with low delay.

Caractérisation des sols pour une meilleure compréhension de la migration des polluants

Théo de CLERCQ, Mathieu SANGELY, Fabrice MOREAU
VALGO, Argenteuil – France
theo.declercq@valgo.com ; 07.64.63.60.56

Mots clés : multiméthodes géophysique, modèle géologique, corrélations géologie/polluant
Objectifs : apporter une meilleure compréhension du sous-sol pour optimiser la dépollution
Caractère innovant du projet : Utilisation de l'existant (piézomètre) combiner à des mesures de surface pour caractériser les sols dans un environnement industriel.

1. Contexte général

VALGO a été sollicitée pour améliorer, dans le cadre d'un PCT, la compréhension de la dynamique d'une pollution des eaux souterraines par des composés volatiles, notamment COHV et BTEX. En support des mesures physico chimiques effectuées dans les forages, d'une modélisation numérique des écoulements souterrains et de l'exploitation d'une barrière hydraulique, des mesures géophysiques ont été planifiées afin de mieux comprendre la géologie du site et les écoulements.

Une approche multiméthodes de la géophysique a été proposée combinant différentes méthodes depuis la surface et des mesures à partir des piézomètres présents en nombre sur le site, car une partie des polluants étant localisée sous des bâtiments, les investigations depuis la surface étaient limitées et souvent impactées par les éléments anthropiques du site.

2. Objectifs des travaux

Le site est implanté d'après la carte géologique sur les argiles à silex provenant de la décalcification des terrains crétacés sous-jacents. Cette formation serait constituée d'argile. Les sondages réalisés par le passé ont révélé un terrain très argileux avec des limons dans les premiers mètres et des niveaux de nappe variable d'un piézomètre à l'autre laissant penser à la présence d'une couche imperméable argileuse d'épaisseur variable séparant localement l'aquifère en deux. L'objectif de l'utilisation des méthodes géophysiques est de statuer sur la géométrie des lentilles argileuses et d'identifier, le cas échéant, des passes plus perméables, lieu de transfert de la pollution.

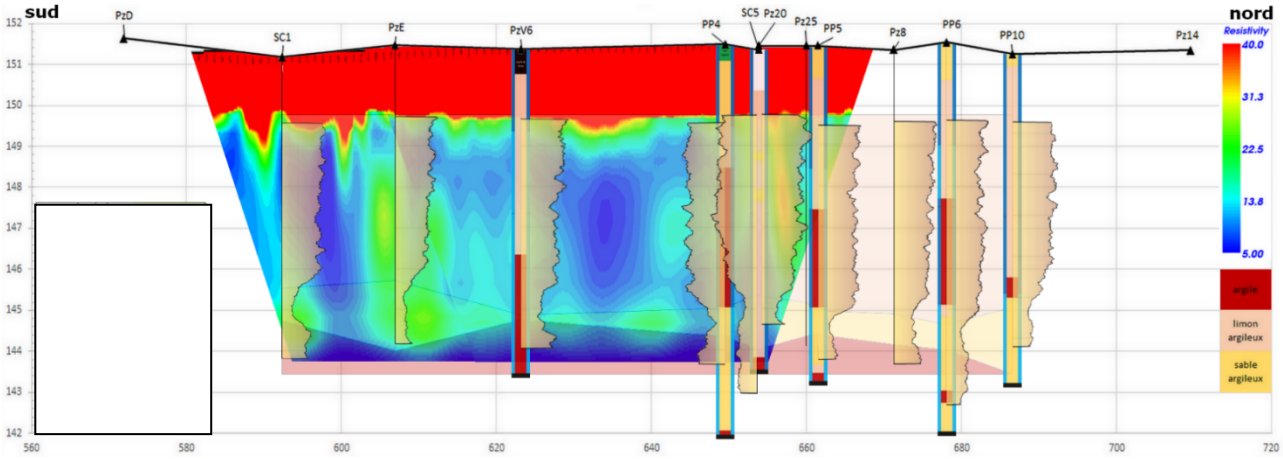




Les investigations géophysiques ont été échelonnées suivant plusieurs phases de travail, pour caractériser les terrains sur une profondeur d'environ 10 mètres, avec une dizaine de profils comprenant de la sismique réfraction et des panneaux électriques dans un premier temps, puis une vingtaine de mesures en forage diagraphies (gammaray), combinée ponctuellement à de la tomographie électrique.

3. Résultats

Les mesures issues du gammaray dans les forages mettent en évidence au sein d'un ensemble argileux, la présence d'un niveau sableux peu épais (de 0.5 à 2.0 m) avec une faible réponse de radioactivité naturelle et donc potentiellement plus perméable et qui sert de drain préférentiel aux polluants. La cartographie de la base et du toit de cet horizon conforte les données hydrauliques relevées dans les piézomètres et indique des couloirs préférentiels d'écoulement. Des variances sont notées entre le gammaray et la géologie des forages, cette dernière est souvent relative à l'interprétation des différents foreurs. Les mesures indiquent clairement la présence d'un aquifère unique (hors écoulement superficiel). La sismique réfraction et les ondes de surface n'apportent pas un détail suffisant pour bien caractériser les différentes interfaces.



La densité de mesures en forage a permis la réalisation d'un modèle géologique 3D et de mieux contraindre les mesures de surface (panneaux électriques). La tomographie électrique en forage offre une meilleure sensibilité car au plus près de la source et de bons contrastes de résistivités. Elle semble moins perturbée par les éléments anthropiques superficiels.

Cette approche multiméthodes offre un outil efficace pour la caractérisation des sols pollués et permet de potentiellement mieux orienter le traitement de sols.

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

Plume reconstruction method for identifying sources of chlorinated solvents

This presentation discusses a method for identifying sources of chlorinated solvent releases without the need to formulate site-specific degradation rates.

Instead, converting measured concentrations of daughter products to equivalent concentrations of parent products furnishes the needed information.

This method (Murphy and al.) will be illustrated with a case study and consists of two parts:

1. Developing a picture of what the plume would have looked like if biodegradation and hydrolysis had not occurred

   This approach, available when investigating PCE, TCE, carbon tetrachloride (CT) and 1,1,1-trichloroethane (TCA) groundwater plumes, is to use the molecular weight of a compound and concentration values to reconstruct the possible location of the release.

   The approach employs the reconstruction of the parent concentrations assuming that no degradation occurred, by including the molecular weights of compounds of the original anaerobic and hydrolysis products.

2. Factoring in what is known about groundwater flow direction.

Finally, the relevance of this method for identifying areas where biodegradation has occurred and for age-dating plumes will also be discussed.

Méthode de reconstruction de panaches pour l'identification des sources de solvants chlorés

Cet exposé présente une méthode permettant d'identifier les sources de pollution de solvants chlorés sans qu'il soit nécessaire d'appréhender des taux de dégradation spécifiques au site.

Au lieu de cela, la conversion des concentrations mesurées des produits de filiation en concentrations équivalentes des produits de base, fournit les informations nécessaires.

Cette méthode (Murphy et al.) sera illustrée par une étude de cas et comprend deux parties :

1. Dresser un tableau de ce à quoi le panache aurait ressemblé si la biodégradation et l'hydrolyse n'avaient pas eu lieu

   Cette approche, disponible lors de l'étude des panaches d'eaux souterraines de PCE, TCE, tétrachlorure de carbone (CT) et 1,1,1-trichloroéthane (TCA), consiste à utiliser le poids moléculaire des composés et leurs valeurs de concentration pour reconstituer le lieu possible du rejet.

   L'approche utilise la reconstruction des concentrations initiales en supposant qu'aucune dégradation ne s'est produite et en incluant les poids moléculaires des composés des produits anaérobies et d'hydrolyse d'origine.

2. En tenant compte de ce que l'on sait sur la direction de l'écoulement des eaux souterraines.

Enfin, la pertinence de cette méthode pour l'identification des zones où la biodégradation s'est produite et pour la datation des panaches sera également examinée.

Cartographie SIG des sols potentiellement pollués : un outil d'aide à la décision pour la surveillance et la gestion des sols dans le cadre réglementaire Suisse

Sonia Tarnawski - Cheffe de projet
eOde sàrl, Rue de la Serre 11, 2000 Neuchâtel, Suisse
soniatarnawski@eode.ch
+41 76 419 65 36

Hélène Demougeot-Renard - Directrice eOde
eOde sàrl, Rue de la Serre 11, 2000 Neuchâtel, Suisse
helenedemougeotrenard@eode.ch
+41 79 671 96 22

Mots-clés et objectifs : Outil numérique de gestion des sols pollués ; SIG ; Catégories d'usage du sol ; Pollutions locales et diffuses ; Carte indicative ; Projet pilote

En Suisse, la gestion des sols pollués et contaminés sont régis principalement par deux ordonnances fédérales en application de la Loi sur la Protection de l'Environnement (LPE)[1] : l'Ordonnance sur les atteintes portées aux sols (OSol)[2] et l'Ordonnance sur l'assainissement des sites pollués (OSites)[3]. L'application de ces ordonnances nécessite l'établissement de cadastres caractérisant correctement les objets à traiter. Actuellement les différents cantons suisses possèdent des cadastres très fournis pour les sites liés à des pollutions locales anciennes ou récentes mais encore très incomplets en ce qui concerne les sols (20 à 30 premiers cm des sols pédologiques) et les pollutions diffuses. Par ailleurs, les autorités et les gestionnaires des sols ont à administrer un territoire avec une forte densité et diversité d'utilisations (agriculture, industries, transports, logement, etc.), dont le risque pour un nouvel usage n'est pas toujours connu, avec des moyens d'analyse systématique parfois très limités. Cette situation a introduit le besoin d'un outil de suivi et de gestion des sols. Plus qu'un cadastre, cet outil doit permettre aux gestionnaires d'anticiper des problématiques et d'évaluer le niveau de risque associé à l'usage de chaque surface de sol de leur territoire, d'en identifier par exemple les zones les plus sensibles pour prioriser des campagnes d'échantillonnage, gérer des déplacements de sols, préserver les sols "sains", ou bien encore émettre des préavis aux demandes de permis de construire.

Dans ce contexte, sur l'initiative de la Direction Générale de l'Environnement du Canton de Vaud (DGE) et de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), notre bureau (eOde) a élaboré une démarche SIG d'inventaire des surfaces de sol potentiellement pollué relevant de l'OSol et l'OSites. Cette démarche a été appliquée à un district du canton de Vaud (district de Morges) dans le cadre d'un projet pilote pour élaborer une carte indicative des surfaces de sol potentiellement pollué.
Les objectifs de ce travail étaient d'évaluer la faisabilité d'un tel inventaire sur la base de géodonnées existantes (le cas échéant d'en identifier les lacunes) et de fixer les paramètres de mise en œuvre pour représenter le terrain et différencier les surfaces de sol en termes de catégories d'utilisation (agricoles, jardins privés, places de jeux, etc.) et de sources et types de pollution (industrielles, agricoles, transports, etc.). L'objectif sous-jacent était d'avoir une méthode dynamique d'amélioration continue de la représentation numérique du territoire. La méthode doit ainsi permettre une mise à jour régulière des cartographies pour intégrer l'amélioration en qualité et quantité des géodonnées, ainsi que l'apport des résultats d'échantillonnage du sol.

Sur la base de déductions logiques effectuées à partir d'informations géolocalisées disponibles au niveau cantonal et fédéral, qui caractérisent le(s) type(s) d'usage associé(s) à une surface de sol et les sources possibles de pollution identifiables sur le territoire, une démarche SIG d'inventaire des sols d'intérêt a été établie et appliquée à l'ensemble du district de Morges (373 km^2). Le principe méthodologique est exposé en Figure 1. Il correspond au traitement d'environ 8 couches de géodonnées pour les catégories d'utilisation du sol et 9 couches pour les sources potentielles de pollution, avec des échelles allant de 1:25000 à 1:500 et une précision de 5 m à 20 cm.

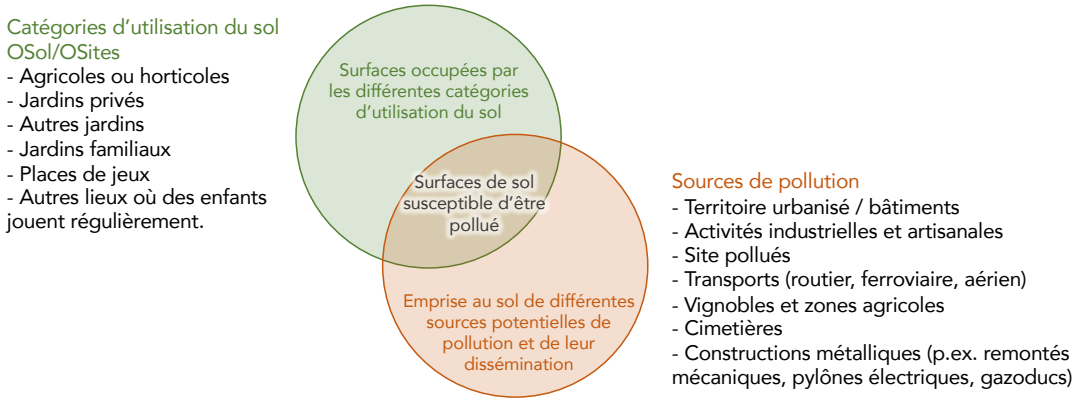


Figure 1 – Principe méthodologique d'élaboration des cartes indicatives des sols potentiellement pollués.

Les résultats du projet pilote sont des géodonnées de **cartes indicatives** de surfaces différenciées de **sols potentiellement** impactés par des **pollutions locales** ou **diffuses** (Figure 2).

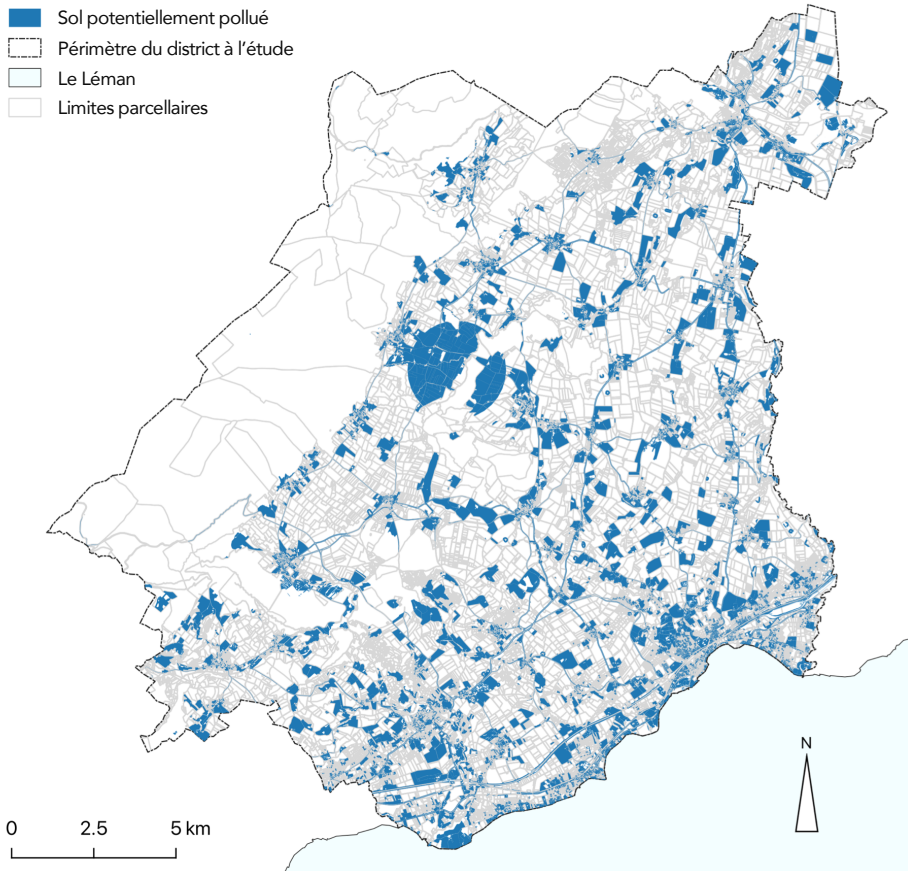


Figure 2 - Carte indicative provisoire des sols du district de Morges susceptibles d'être atteints par une pollution

Ce projet a permis de confirmer la faisabilité et la pertinence de la méthodologie élaborée pour identifier les zones sensibles du territoire. Il a aussi permis d'identifier certaines géodonnées incomplètes ou manquantes pour décrire correctement le territoire, ce qui est le cas par exemple de celles des places de jeux et des anciens vignobles. Tout au long de la réalisation du projet pilote, des choix méthodologiques ont dû être faits. Par exemple les périmètres de dissémination aux alentours des sources de pollution ont été définis pour être cohérents à la fois avec la source considérée et la précision de la géodonnée qui la décrit ; les surfaces occupées par les places de jeux ou encore les

cimetières ont été extrapolées à partir d'une géodonnée qui les référence uniquement par des points (cercle de rayon = x mètres à l'intérieur de la parcelle qui contient le point). A ce stade du projet, les cartes présentent donc des incertitudes car elles dépendent de la qualité des géodonnées de base et elles ne précisent pas les probabilités d'occurrence effective d'une pollution sur la surface de sol identifiée.
La méthode mise en œuvre sur le district de Morges a été acceptée par le canton de Vaud et la mise au point des cartes à l'échelle de tout le canton est en cours (10 districts, 3'212 km^2). L'amélioration de la représentativité et de la précision des cartes est également développée notamment avec l'établissement d'indices de fiabilité.

[1] LPE : Loi fédérale sur la protection de l'environnement du 7 octobre 1983, RS 814.01
[2] OSol : Ordonnance sur les atteintes portées aux sols 1er juillet 1998, RS 814.12.
[3] OSites : Ordonnance sur l'assainissement des sites pollués du 26 août 1998, RS 814.680.

Remerciements :
Canton de Vaud, DGE-Sols, F. Füllemann ; Office Fédéral de l'Environnement (OFEV), Section Sites contaminés, R. Kettler.

GIS mapping of potentially polluted soils: a decision support tool for soil monitoring and management in the Swiss regulatory framework

Key words and objectives: Digital management tool for polluted soils; GIS; Soil use categories; Local and diffuse pollution; Indicative map; Pilot project

In Switzerland, the management of polluted and contaminated soils is governed mainly by two federal ordinances in application of the Environmental Protection Law (LPE)[1] : the Ordinance on the damage to soil (OSol)[2] and the Ordinance on the remediation of polluted sites (OSites)[3]. The application of these ordinances requires the establishment of land registers that correctly characterise the objects to be treated. At present, the various Swiss cantons have very comprehensive cadastres for sites related to old or recent local pollution, but they are still very incomplete for soils (top 20 to 30 cm of the pedological soil) and diffuse pollution. Moreover, the authorities and soil managers have to administer a territory with a high density and diversity of uses (agriculture, industry, transport, housing, etc.), whose risk for a new use is not always known, with sometimes very limited means of systematic analysis. This situation has introduced the need for a soil monitoring and management tool. More than a cadastre, this tool must allow managers to anticipate problems and evaluate the level of risk associated with the use of each soil surface in their territory, to identify, for example, the most sensitive areas in order to prioritize sampling campaigns, to manage soil displacements, to preserve "healthy" soils, or even to issue advance notice of building permit requests.

In this context, on the initiative of the General Direction of the Environment of the Canton of Vaud (DGE) and the Federal Office for the Environment (FOEN), our office (eOde) has developed a GIS approach for the inventory of potentially polluted soil surfaces related to OSol and OSites. This approach has been applied to a district of the canton of Vaud (district of Morges) in the framework of a pilot project to elaborate an indicative map of potentially polluted soil surfaces.
The objectives of this work were to evaluate the feasibility of such an inventory on the basis of existing geodata (and if necessary to identify gaps) and to set the implementation parameters for representing the territory and differentiating the soil surfaces in terms of use categories (agricultural, private gardens, playgrounds, etc.) and sources and types of pollution (industrial, agricultural, transport, etc.). The underlying objective was to have a dynamic method for continuous

improvement of the digital representation of the territory. The method should thus allow a regular update of the maps to integrate the improvement in quality and quantity of the geodata, as well as the contribution of the soil sampling results.

On the basis of logical deductions made from geolocalized information available at the cantonal and federal levels, which characterize the type(s) of use associated with a soil surface and the possible sources of pollution identifiable in the territory, a GIS approach to inventorying soils of interest was established and applied to the entire Morges district (373 km^2). The methodological principle is shown in Figure 1 and corresponds to the processing of about 8 geodata layers for the land use categories and 9 layers for the potential pollution sources, with scales ranging from 1:25000 to 1:500 and an accuracy of 5 m to 20 cm.

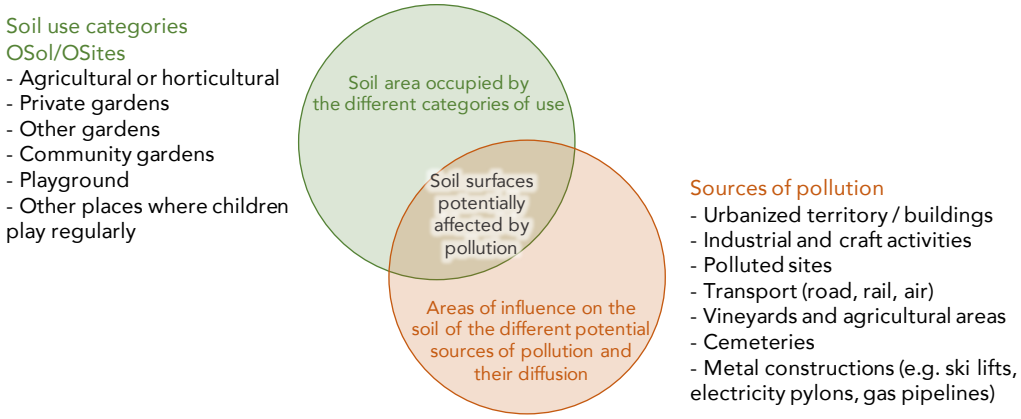


Figure 1 - Methodological principle for producing indicative maps of potentially polluted soils.

*The results of the pilot project are geodata of **indicative maps** of differentiated areas of **soil potentially** impacted by **local or diffuse pollution** (Figure 2).*

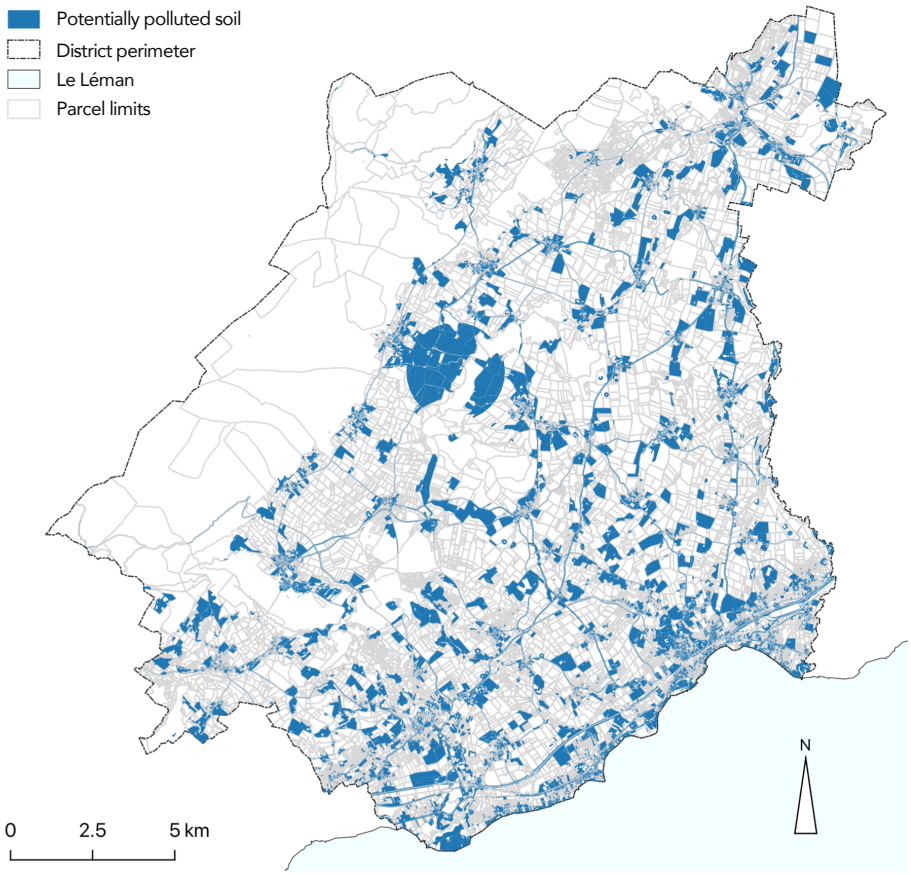


Figure 2 – Provisional indicative map of soils of the Morges district potentially affected by pollution

This project confirmed the feasibility and relevance of the methodology developed to identify the sensitive areas of the territory. It also allowed to identify some incomplete or missing geodata to correctly describe the territory, which is the case for example of the playgrounds and the old vineyards. Throughout the realization of the pilot project, methodological choices had to be made. For example, the dissemination perimeters around the sources of pollution were defined to be consistent with both the source considered and the accuracy of the geodata describing it; the areas occupied by playgrounds or cemeteries were extrapolated from a geodata that refers to them only by points (circle of radius = x meters inside the parcel containing the point). At this stage of the project, the maps therefore present uncertainties because they depend on the quality of the base geodata and they do not specify the probabilities of actual occurrence of a pollution on the identified soil surface.

The method implemented in the district of Morges has been accepted by the Canton of Vaud and the development of maps at the scale of the whole canton is in progress (10 districts, 3'212 km^2). The improvement of the representativeness and the accuracy of the maps is also developed, in particular with the establishment of reliability indices.

[1] LPE : Loi fédérale sur la protection de l'environnement du 7 octobre 1983, RS 814.01
[2] OSol : Ordonnance sur les atteintes portées aux sols 1er juillet 1998, RS 814.12.
[3] OSites : Ordonnance sur l'assainissement des sites pollués du 26 août 1998, RS 814.680.

Acknowledgements:
Canton of Vaud, DGE-Sols, F. Füllemann; Federal Office for the Environment (FOEN), Contaminated Sites Section, R. Kettler.

TREX : un outil pour tracer 45 millions de tonnes de déblais
L'un des premiers outils de traçabilité numérique des déblais en France

Guillaume GERARD, Chargé de Mission Transverse Déblais - Société du Grand Paris
2 mail de la Petite-Espagne - CS10011 - 93212 La Plaine Saint-Denis
Guillaume.gerard@societedugrandparis.fr
Tél. : 01.70.93.07.71.

Mots-clés : Numérisation, bordereau de suivi des déchets, Grand Paris Express

Le Grand Paris Express est un projet de transport en commun en région Ile-de-France qui permettra de doubler la taille du réseau actuel. Cela représente 200 kilomètres de ligne dont 180 kilomètres souterrains et produira plus de 45 millions de tonnes de déblais. Conformément à la réglementation, ces déblais sont considérés comme des déchets dès lors qu'ils quittent le chantier. La Société du Grand Paris en tant que producteur en est responsable jusqu'à leur élimination ou valorisation finale et a mis en place une traçabilité de ses déblais correspondant à l'enregistrement de l'ensemble des étapes relatives à la gestion d'un lot de déblais. Il a été estimé à plusieurs millions le nombre de bordereaux de transport à éditer, contrôler, traiter et archiver dans le cadre du Grand Paris Express. Afin de détecter toute anomalie éventuelle et de pouvoir assurer un suivi global, la Société du Grand Paris doit disposer des informations concernant le devenir effectif d'un lot donné de terres en temps quasi réel. Ceci n'était pas réalisable avec un système classique de bordereaux de suivi au format papier, avec lesquels le retour au maître d'ouvrage intervient dans un délai de plusieurs jours à plusieurs semaines.

Ainsi, dès 2017, un outil informatisé de traçabilité des déblais a été mis en place, mutualisé pour l'ensemble des acteurs des chantiers. Il repose sur la pesée des terres et l'informatisation du processus. Après 5 ans d'utilisation, l'outil doit faire face à une augmentation conséquente du volume de données, à de nouvelles obligations réglementaires et il est possible de faire un bilan du dispositif, de ses forces, de ses limites et de ses perspectives.

TREX : a software to ensure the traceability for 45 millions of tons of excavated rocks
One the first software designed for excavated rocks traceability in France

Key words : digital information, wastes traceability documents, Grand Paris Express

The « Grand Paris Express » is the transportation network project of in the capital region that will double the size of the existing one. The construction of additional 200 km tracks, whom 180 km will be underground, requires the excavation of around 45 millions of tons of rocks. In accordance to French law, these rocks are classified as waste as soon as they leave the construction site. The

Classification : Public

« Société du Grand Paris » is fully responsible until the final wastes disposal or recycling and sought to set up their traceability. This traceability consists in registering every stage of waste management and needs several millions of transport documents to fill-in, control, process and archive. Moreover, in order to detect any abnormality and ensure an efficient tracking, the « Société du Grand Paris » has to recover all information in real time for a given batch. A classical paper based system would require several days, even weeks, to return information to the client.

Hence, in 2017, a software of waste traceability, imposed to every operators, was developped. It relies on weighing and digital information. After 5 years of feedback, this software deals with the increase of data, new regulations and it is time to assess its strenghs, its limits and the necessary updates.

Classification : Public

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

SOUSSOU S.[(1)*], GEOFFROY A.[(1)], FINCK J.[(1)], ROSSLER P.[(2)], JACQUEMIN P.[(3)], CLEYET-MAREL JC.[(1)]

[(1)] **Assistant à Maîtrise d'Ouvrage, Phytostabilisation : Fertil'Innov Environnement** ; 460 Rue Louis Pasteur ; 34790 Grabels.

* s.soussou@fertilinnov-environnement.com

[(2)] **Maitre d'œuvre : MICA Environnement** ; Ecoparc Phoros, Rte de Saint-Pons, 34600 Bédarieux

[(3)] **Maîtrise d'Ouvrage : ADEME** ; 20 Avenue du Grésillé – BP 90406 – 49004 ANGERS Cédex 01

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. De nombreux sites sont ainsi impactés sur toute la bordure sud du Massif Central. C'est notamment le cas du site des Avinières à Saint Laurent le Minier (Gard) qui a constitué une très importante zone d'exploitation de plomb et zinc de France.

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 la mise en sécurité du site des Avinières. 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 en contrebas.

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, ANR SyMetal, 2010 - 2015).

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

- Contrôle et amélioration de la qualité du substrat minier : Outre la forte charge en 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 à fortes teneurs en matières organiques en grandes quantités.

- 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 avons ainsi identifié 18 espèces végétales adaptées aux conditions du site et de tout un ensemble de microorganismes symbiotiques.

- Essais *in situ* : Avant de procéder à la réhabilitation de l'ancienne mine, des essais *in situ* ont été réalisés afin de confirmer l'efficacité de l'apport de matières organiques et d'optimiser l'associations des différentes espèces végétales et microbiennes permettant de couvrir rapidement les stériles miniers.

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

- Travaux de terrassement du site : l'objectif de ces travaux était d'abaisser les pentes qui étaient élevées afin d'améliorer leur stabilité, de limiter l'érosion de surface et de favoriser la reprise de la végétation. Les travaux de terrassement ont été réalisés sous brumisation, en déblais-remblais équilibrés par zone, afin de permettre l'exécution des travaux à l'aide de petits engins mécanisés et afin de prévenir l'émission de poussières.

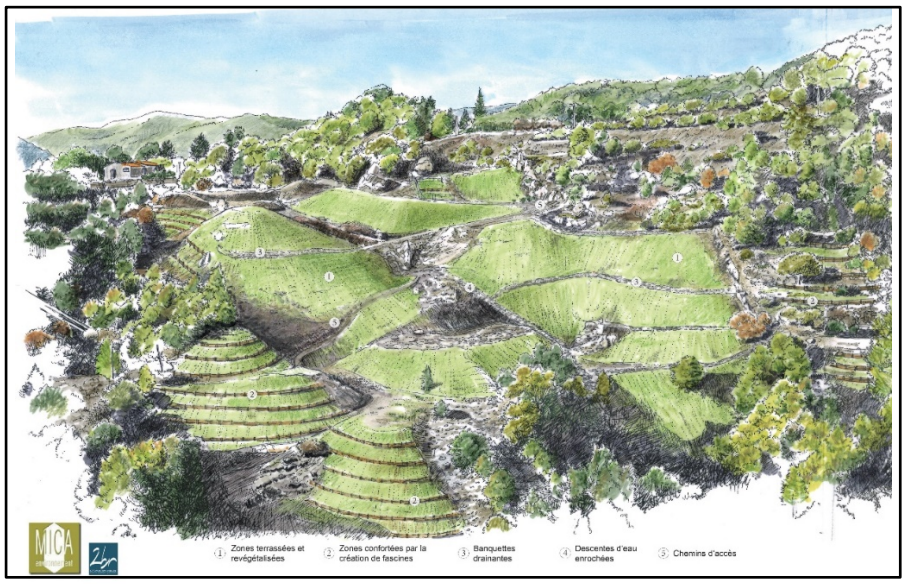
- Amendement du substrat : pour garantir le bon développement de la végétation, un amendement organique à base de compost de déchets verts a été apporté. Une attention particulière a été accordée aux quantités de compost et à l'homogénéité de l'incorporation du compost aux 30 premiers centimètres du substrat minier à travers la réalisation de contrôles spécifiques et réguliers du substrat après préparation. Des géofilets en fibres de coco ont par la suite été posés sur les talus pour favoriser l'accroche des semences.

- Mise en place du système d'irrigation : afin de garantir la germination et le développement correct des plantes autochtones durant les premières années, il a été nécessaire de mettre en place un système d'irrigation. Les apports d'eau sont programmés pour favoriser le développement du système racinaire des plantes en profondeur.

- Travaux de végétalisation : le semis final des plantes autochtones a été fait par semis hydraulique.

Pour l'ensemble des étapes, un suivi de l'air et de l'eau est réalisé afin de vérifier l'impact des travaux sur l'environnement.

Un suivi pendant deux ans sera réalisé afin de contrôler l'implantation de la végétation et éventuellement apporter les corrections nécessaires pour le bon développement de la couverture végétale.



Perspective paysagère du projet de mise en sécurité du site des Avinières, Saint Laurent Le Minier (projection réalisée par 2br pour **MICA Environnement, Maître d'œuvre**)

Comment l'approche pédologique des territoires permettrait d'affiner les mesures compensatoires (dans la mise en œuvre de la séquence Eviter Réduire Compenser de l'évaluation environnementale des projets), pour les zones humides notamment, pour des ouvrages linéaires et le traitement des sites et sols pollués …

Claire-Emmanuelle Mercier, présidente de la SAS ATESyn
Tél : +33(0)6 28 27 93 11
mail : claire-emmanuelle.mercier@atesyn.fr
Sophie Privat, directrice de la SAS ATESyn
Tél : +33(0)6 85 13 41 96
mail : sophie.privat@atesyn.fr

La présente communication a pour objet de faire part du retour d'expérience d'assistants à maîtrise d'ouvrage[1], et de leurs propositions dans la prise en compte du fonctionnement des « zones humides », dans le cadre de l'élaboration de projets, de la mise en œuvre de la séquence ERC (démarche Eviter Réduire Compenser de l'évaluation environnementale des projets) et de l'organisation des chantiers touchant des zones humides.

L'hypothèse développée est celle de l'approche pédologique comme outil de prospection et de diagnostic pour affiner les mesures compensatoires, voire d'évitement, pour la préservation des zones humides notamment, autour des ouvrages linéaires (voies ferrées, routes, …), aussi pour le traitement des sites et sols pollués …

ATESyn et ASUP commencent leur propos en appelant l'attention sur le vocabulaire lié à l'identification des zones humides, le contexte réglementaire contraignant pour leur détermination spatiale, le rappel de la particularité des sols comme marqueurs de l'espace-temps, et l'approche particulière de la séquence ERC (Eviter Réduire Compenser).

Puis, les auteurs présentent trois exemples de prise en compte des étapes ERC pour la préservation des zones humides dans des projets d'infrastructures linéaires, de la compensation obligatoire à la planification territoriale raisonnée permettant l'évitement. Ils ouvrent ensuite la voie à la discussion sur l'intérêt, pour les maîtres d'ouvrages, et les experts associés, de s'intéresser à la dynamique des sols comme support d'analyse des zones humides et des sites et sols pollués.

Le constat actuel est une approche française des zones humides déconnectée de leur environnement fonctionnel, sans prise en compte de l'aspect dynamique de leur fonctionnement et donc de leur gestion. Ainsi, dans la plupart des projets, à toutes les étapes de leur déroulement, seule la compensation « surface par surface » est mise en œuvre dans l'application de la séquence ERC sur les zones humides.

Comme le sol est un volume qui enregistre les actions humaines et porte ainsi la mémoire des paysages, l'approche paysagère et pédologique permet d'appréhender le continuum d'une zone humide. Cette approche a été testée à des étapes différentes de projets :

- après l'autorisation administrative, dans le cadre de la compensation de la destruction de zones humides par un ouvrage linéaire existant, il est apparu que la surface de compensation prévue aura un impact sur tout le secteur géographique ;

[1] ATESyn est un bureau d'études, fonctionnant sous forme de plateforme de compétences, rassemblant 7 associés experts senior depuis 10 ans, sur des missions d'assistance à maîtrise d'ouvrage pour des porteurs de projet publics et privés, dans le domaine des énergies renouvelables et de l'aménagement du territoire. ASUP est un bureau d'études, intervenant en urbanisme, aménagement du territoire et paysages, avec une forte expertise en pédologie.

- en parallèle de la réalisation du projet, avec une cartographie de fonctionnement des zones humides par une approche 100% pédologique autour d'ouvrages linéaires, il a été envisagé la possibilité de gérer les zones humides de façon globale, dans l'espace et dans le temps, en réduisant l'impact des ouvrages sur celles-ci ;
- en amont d'une série de projets, sur un ensemble géographique à grande échelle, la définition de l'aire potentielle de fonctionnement des zones humides et des unités typologiques des sols permet d'éviter les impacts des projets prévus sur les zones humides.

Ainsi, l'objectif pour une efficacité maximale de la séquence ERC serait de réaliser, en amont, sur un territoire délimité, assez vaste, par l'approche pédologique, une cartographie des zones humides probables et une caractérisation des zones humides effectives (via les continuums fonctionnels des sols). Ce travail, qui permettrait d'appréhender le sol comme un « espace-temps fonctionnel » et non une boite noire, serait porté en amont des projets à la connaissance des élus locaux, comme il pourrait l'être également aux gestionnaires de sites et sols pollués et/ou des experts associés concernés par les impacts de projets sur les zones humides. La mise en œuvre de mesures d'évitement des incidences sur le fonctionnement de zones humides dès l'amont des projets contribuerait à une planification territoriale plus globale, une facilitation économique (y compris avec des gains de temps), une connaissance plus complète des zones humides, mais également des sites et sols pollués qui sont aussi soumis à ces processus pédologiques de transferts, une évaluation environnementale de meilleure qualité et une acceptabilité sociétale des projets accrue, en distribuant les actions dans des espace-temps différents, avec une hiérarchisation des procédés..

Pour autant, la difficulté actuelle réside dans le besoin crucial, dans les instances instruisant les évaluations environnementales, d'acquérir de la compétence pédologique.

atesyn Plateforme d'ingénierie environnementale

Siège social
SAS ATESYN
NAVASOL EcoCentre d'Affaires
ZI Les Pignès Lot 28
09 270 Mazères
Capital social de 50 000 €
N° SIREN 789 237 849 - RCS Foix

Agence Massif Pyrénéen
NAVASOL EcoCentre d'Affaires
ZI Les Pignès Lot 28
09 270 Mazères
Tél. : 05 81 06 16 84
contact@atesyn.fr
www.atesyn.fr

Agence Massif Alpin
Espace Entreprise Savoie
364 rue Nicolas Parent
73000 Chambéry
contact@atesyn.fr

ASUP Sols & Urbanisme

Laurent Rigou
tél. : +33(0)9 65 00 57 23 / +33(0)6 85 91 98 06
mail : l.rigou-asup@agretpy.fr
ATELIER SOLS, URBANISME ET PAYSAGES
12, rue de l'église 65690 ANGOS
SIRET 798 272 472 00019
www.solsetpaysages.canalblog.com

ASUP est membre du réseau Agret-Py
agretpy
www.agretpy.fr

Optimizing phytomanagement strategies on a metal (Cd, Pb, Zn, and Cu)-contaminated soil to provide biomass for clean biofuel production – Experience from a pot trial

Ofori-Agyemang Felix[1], Waterlot Christophe[1], Oustrière Nadège[1], Mench Michel[2]
(1) Univ. Lille, Institut Mines-Télécom, Univ. Artois, JUNIA, ULR 4515 – LGCgE, Laboratoire de Génie Civil et géo-Environnement, F-59000 Lille, France
(2) Univ. Bordeaux, INRAE, UMR BIOGECO INRAE 1202, Bat B2, allée G. St-Hilaire, F-33615 Pessac cedex, France
felix.ofori-agyemang@junia.com /nadege.oustriere@junia.com
christophe.waterlot@junia.com / michel.mench@inrae.fr

Introduction

High-yielding lignocellulosic crops such as miscanthus and industrial hemp have the ability to grow on contaminated and/or degraded soils, making them suitable for phytomanagement. These plants are a promising alternative for the bioenergy / biofuel and ecomaterials sectors and in the meantime an opportunity for the management of degraded soils. Soil amendments such as compost, biochar, inorganic materials, and chelates have been used in phytomanagement of soils to decrease metal(loid) exposure via the soil solution, promote plant growth and their remediation potential, and improve the soil quality and ecosystem services. Due to the negative side effects of some organic chelates, mycorrhizal fungi and biostimulants such as protein hydrolysates and humic/fulvic acid mixtures have been used as alternative treatments for phytomanagement [1]. In addition to facilitating the soil phytomanagement, they can improve plant growth and contribute to ameliorate soil quality [2]. Strategies to intensify biomass production using mycorrhizal fungi, biostimulants, and their combinations have been studied for several plant species. However, their effects on selected lignocellulosic crops are not well documented. This study therefore aimed to (i) study the behaviour and transfer of Cd, Pb, Zn and Cu to *Miscanthus* x *giganteus* and *Cannabis sativa* L. grown on metal-contaminated agricultural soils amended with various treatments (biostimulants and mycorrhizal fungi), and (ii) select the best performing treatments and plant species for optimizing the operating conditions for further field trials.

Materials and methods

Pot experiments were performed with 630 kg of agricultural soil contaminated by Cd, Pb, Zn and Cu, collected from the tilled horizon (0-30 cm) of a field located around the former Pb/Zn Metaleurop Nord smelter, Evin-Malmaison, France. Two plant species, *M. giganteus* and *C. sativa*, were used and the pot trial consisted in six treatments (control (C), protein hydrolysate (B1), humic/fulvic acids (B2), mycorrhizae (M), protein hydrolysate and mycorrhizae (B1xM), and humic/fulvic acids and mycorrhizae (B2xM)). The experimental set-up was made up of 52 pots (12 kg of potted soil each), with each treatment in triplicate. Metal concentrations in the soil pore water (SPW) were determined over time (17, 21, 50, 71 and 85 days). Soil pH, redox potential and electrical conductivity (EC) in the SPW were measured at the different time steps. Plant parts of *M. giganteus* and *C. sativa* were harvested at day 90. Biomass, moisture content, and metal concentrations in plant parts were determined.

Results

The SPW Cd, Pb and Zn concentrations in the B1 and B1xM soils were 2.0, 1.9, and 3.4 times higher respectively for *M. giganteus* and 7.8, 1.3, and 23.4 times higher respectively for *C. sativa* than in the unamended soil. Such high SPW Cd, Pb, and Zn concentrations induced a phytotoxicity. The shoot DW biomass (in g DW/pot: 78.5 and 76.4 for hemp; 2.3 and 3.7 g for *M. giganteus*) harvested for the B1 and B1xM soils decreased as compared to the unamended soils (i.e. 87.4 and 12.9 g, respectively). In contrast, SPW Cd, Pb, Zn, and Cu concentrations in the B2 and B2xM soils decreased between 0.4 and 0.7 time as compared to the untreated soils and remained low throughout the trial, allowing an increase of shoot biomass (i.e. 109 and 148 g DW for hemp and 13.7 and 18.4 g DW for *M.*

giganteus). The metal concentrations (Cd, Pb and Zn) in the aerial biomass of *M.giganteus* for the B2 and B2xM treatments were 4.07, 1.19 and 2.45 times higher compared to B1 and B1xM treatments. The concentrations of Cd and Zn in the stem of *C. sativa* for B1 and B1xM were 2.46 and 1.27 times higher than B2 and B2xM treatments while for there were no significant difference for Pb concentrations. There were no significant differences for Pb and Zn concentrations in the leaves of *C. sativa* except for Cd concentration in B1 and B1xM which was 2.64 higher than B2 and B2xM treatments.

Conclusion and perspectives

The humic/fulvic acid treatments (B2 and B2xM) showed the greatest potential among the treatments for enhancing the phytomanagement with *M. giganteus* and *C. sativa* during this pot trial. Contaminant concentrations were reduced in the SPW of B2 and B2xM soils for both plant species. Moreover, their biomass yield increased as compared to the untreated soil. Also, metal accumulation for *M. giganteus* in humic/fulvic acid treatments were elevated compared to B1, B1xM and the untreated soil. This suggests humic/fulvic acids as relevant biostimulants for the field trial. Currently a field trial is underway to validate and optimize the humic/fulvic acid treatments.

References

[1] Calvo P, Nelson L, Kloepper J W 2014 Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and soil 383*, 3-41.

[2] Vargas C, Pérez-Esteban J, Escolástico C, Masaguer A, Moliner A 2016 Phytoremediation of Cu and Zn by vetiver grass in mine soils amended with humic acids. *Environmental Science and Pollution Research 23*, 13521-13530.

Acknowledgement: GOLD – Bridging the gap between phytoremediation solutions on growing energy crops on contaminated lands and clean biofuel production, is a research and innovation action funded by the European Union Horizon 2020 Programme. Website: gold-h2020.eu; Twitter: @gold_h2020 ; E-mail: info@gold-h2020.eu

Clémentine MEYNIEL[1], Gaëtan QUESNEL[2], Jacques POUILHE[3]

[1] setec hydratec, F-69006 Lyon, France.
[2] setec hydratec, F-69006 Lyon, France.
[3] setec hydratec, F-75012 Paris, France.

* Correspondants :
clementine.meyniel@setec.com – Ingénieure MOE fluviale / sites et sols pollués - Speaker
gaetan.quesnel@setec.com – Ingénieur MOE fluvial
jacques.pouilhe@setec.com – Ingénieur sites et sols pollués

RENATURATION D'UN COURS D'EAU EN CONTEXTE INDUSTRIEL

A RIVER RENATURATION IN AN INDUSTRIAL CONTEXT

1. Génie écologique et biodiversité

Abstract

Contexte et objectifs

Les projets de restauration de cours d'eau, réalisés à proximité de bassins de vie, peuvent être confrontés à des problématiques multiples, dont la gestion de terres polluées au niveau de leurs berges.

La Turdine, en zone ouest de Tarare (département du Rhône), s'écoule au droit d'anciennes teintureries qui se sont établis, en lit majeur, au début du XX^{ème} Siècle. Ce passé industriel a impacté les sols et les eaux souterraines sur des tronçons de berges, ciblés comme zone d'intervention prioritaire pour la restauration hydraulique et écologique du cours d'eau.

Les opérations de restauration visaient à restaurer un gabarit hydraulique centennal (50 m^3/s) et une morphologie naturelle, incluant le rétablissement de la continuité sédimentaire et piscicole via la reprise de seuils placés dans le lit mineur.

Préalablement à l'opération de renaturation du cours d'eau, les trois anciens sites industriels situés en rive gauche du cours d'eau, dédiés aux activités de teinture, d'ennoblissement des textiles, de blanchissement et de tissage, ont fait l'objet de réhabilitations incluant des travaux de dépollution.

Pour préciser les effets de bords, ou anticiper des impacts induits à distance (déversement de remblais, nappe d'accompagnement du cours d'eau drainé par la Turdine), une campagne de sondage et d'analyses complémentaires sur les sols ont été menées au droit des recalibrages prévus. Ces investigations ont permis de caractériser des mailles homogènes de 300 m^3 de déblais et de catégoriser les filières de traitement/valorisation ou de stockage des terres.

Les berges du cours d'eau ont ainsi été sectorisées par tronçon homogène selon la filière de traitement envisagée, avec une réflexion pour éviter un remaniement des terres les plus impactées et la dispersion d'espèces végétales invasives en ripisylve : Renouée asiatique.

Un confortement des berges, encore impactées après purge, a été réalisé par technique végétale.

Résultats

Les investigations préparatoires, puis le criblage des matériaux au cours de la phase chantier et le traitement des terres infestées à la Renouée asiatique sur site, ont permis de réduire significativement les volumes de matériaux évacués. Le coût des travaux et l'impact CO_2 du projet ont ainsi été fortement réduits.

Un cheminement piéton rend aujourd'hui accessible la berge en rive gauche de la Turdine, replantée d'arbres et d'arbustes. Cet usage récréatif est compatible avec la pollution résiduelle dans les sols.

Conclusions

La confiance acquise par le Maitre d'Ouvrage sur son territoire et un dialogue approfondi avec les élus ont permis l'acceptation de ce projet dans un contexte pourtant complexe (gestion de terres polluées).

De plus, une prise en considération du problème en phase amont et les investigations complémentaires portées par le Maitre d'Ouvrage ont permis une optimisation en phase chantier, et donc à la fois un gain écologique et financier pour le projet.

When Invasive Alien Species break though remedial management plans of the national methodology for contaminated land and sites management

Ariane Ancel
Responsable Pôle Maîtrise d'œuvre - Génie Ecologique
EKOS Ingénierie
Le Myaris - Porte F
Pôle d'activités des Milles
355, rue Albert Einstein
13852 Aix en Provence Cedex 3
Tél: 07 50 69 33 46
Email: ariane.ancel@ekos.fr

The spreading of Invasive Alien Species (IAS) has been identified by l'IPBES* as one of the main causes of global biodiversity loss. It threatens about a third of terrestrial species and is involved in half of known extinctions [Ministère de la Transition écologique].

Among them, Invasive Alien Plant Species have significant harmful consequences regarding:

- Biodiversity:
  - Competition and elimination of endemic species
  - Disturbance and dysfunction of the ecosystem
  - Closing over of the vegetation
  - Increase of bank erosion and soil leaching
- Economic activities:
  - Impediment of tree natural recovery (forestry)
  - Difficulties and impediment of cattle or people movements
  - Damage of infrastructure by root system
  - Management cost along road and rail infrastructures
- Human Health:
  - Allergy and skin irritations
  - Impact on livestock



Frequently unknown or unconsidered, Invasive Alien Plant Species are disregarded, and this issue is invisible in many remedial management plans. However, contaminated sites being « anthropized », degraded or partially left in the condition of industrial wastelands, they represent an ideal haven for Invasive Alien Plant Species.

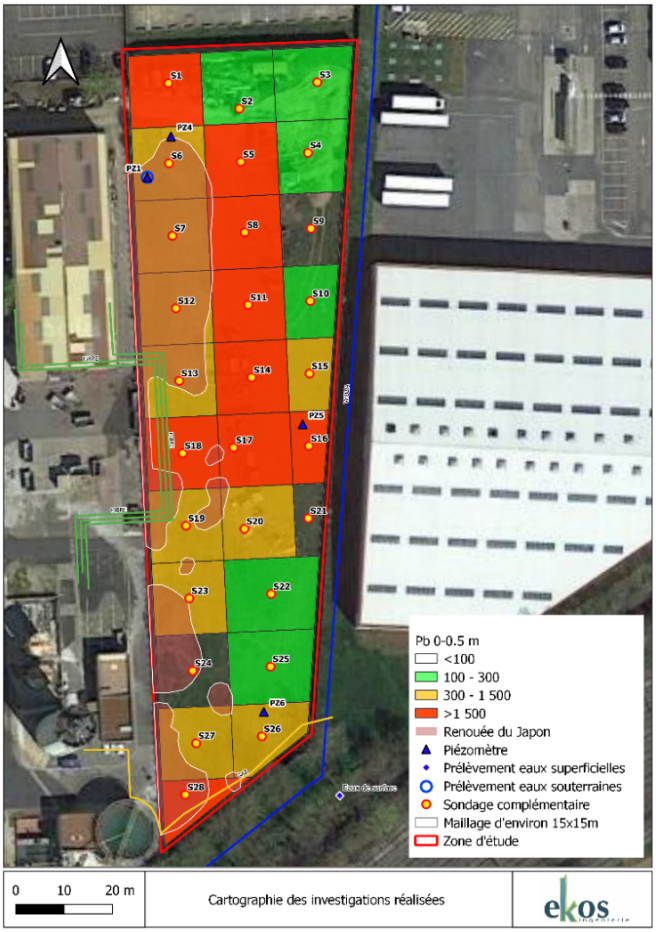
Feedback

A site located in Auvergne Rhône Alpes area (France) was used during about 30 years for various heavy industrial processes. In the 2000's, those activities were ceased, and the production facilities demolished. Environmental investigations conducted at that time identified metals contamination and triggered remediation works on some parts of the site.

New investigations have recently been voluntarily conducted at the site, in order to assess environmental conditions across the entire site. These investigations have in particular evidenced and delineated significant metals and metalloids contamination at a vacant area in relation with historical deposit of non-ferrous metallurgy slag.

During these environmental investigations, EKOS Ingénierie identified an Invasive Alien Plant Species whose proper management could result in additional costs.

Thanks to an upstream appraisement of an Invasive Alien Plant Species at a site contaminated with metals and metalloids, EKOS Ingénierie has been able to incorporate this issue into the conceptual site model, the costs-benefits approach and the general remediation design proposed for the area of concern.







The approach undertaken fully integrates all environmental issues of the site and propose a unique remediation & renaturation solution, much more effective from an ecological and ecosystemic perspective. Synergy of contamination and Invasive Alien Plant Species management solutions have been assessed and are being discussed with the Authorities before implementation.

As a general conclusion, the integration of Biodiversity in the remedial management plan allowed identifying a relevant and site-specific "ecological trajectory". This consideration also follows the current paradigm shift which prevails for land planning and reuse of brownfield sites.

*: IPBES: Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services

Le projet TrameBioSol : étude participative de la biodiversité des sols (macrofaune épigée) urbains et péri-urbains dans le cadre de la création d'une trame brune

Quentin VINCENT
Directeur scientifique et technique et Co-fondateur de Sol &co
SAS Sol &co – 2 Avenue de la Forêt de Haye, Vandoeuvre-lès-Nancy, France
quentin.vincent@sol-et-co.fr

La biodiversité des sols urbains et péri-urbains, bien qu'elle participe activement au fonctionnement des sols en ville et qu'elle subit de nombreuses pressions anthropiques, reste encore peu, voire pas, prise en compte dans les plans d'aménagements urbains.

Les réseaux écologiques sont bien connus en surface des sols et les trames vertes et bleues sont des outils de planification actuellement utilisés pour identifier des zones refuges pour la biodiversité et les connexions entre elles. Toutefois, ces réseaux écologiques en ville sont bien moins connus dans les sols. C'est pourquoi, depuis quelques années, la notion de trame brune est apparue et a été inventée sur le modèle de la trame verte et bleue, appliquée à la continuité des sols par la connectivité de milieux refuges au sein d'un territoire donné. Cependant, **la notion de trame brune est encore absente des documents de planification urbaine**.

Une des raisons de ce manque de considération de la trame brune est **le manque de connaissance** de (i) cette biodiversité en ville et (ii) des paramètres favorisant sa préservation. Portée par l'association Flore54 et la start-up Sol &co (issue de la recherche – Université de Lorraine/INRAE), le projet TrameBioSol vise à identifier les paramètres liés aux sols, susceptibles d'influencer la biodiversité des sols urbains. La région Grand Est, l'agence de l'eau Rhin-Meuse et la DREAL Grand Est ont souhaité financer ce projet, en mettant en évidence **son originalité dans le cadre de l'Appel à projet Trame Verte et Bleue**. Pour cela, 15 sites ont été étudiés au sein de la Métropole du Grand Nancy (France), sur lesquels ont été réalisées des mesures de paramètres **agronomiques** (physico-chimiques), **pédologiques** et **paysagers**, couplées à des inventaires de la **macrofaune épigée des sols**, et ce de manière **participative**, afin de sensibiliser citoyens, professionnels et élus à la connaissance de cette biodiversité.

Le diagnostic biologique montre que l'abondance et la diversité (richesse taxonomique) ne sont pas différentes entre les sites et sont peu influencées par les paramètres agronomiques, pédologiques et paysagers. Cependant, la composition des communautés de la macrofaune est influencée par certains paramètres paysagers (notamment le type de milieu, la couverture végétale et la pierrosité) et pédologiques (profondeur du premier horizon, taux de calcaire), mais peu pas les paramètres agronomiques. **La composition des communautés semble donc être un des outils à favoriser** dans la création et l'étude de l'efficacité d'une trame brune sur cette protection des organismes des sols. Ce projet souligne également l'importance de **considérer des milieux différents**, avec des micro-habitats variés, dans la création d'une trame brune, car cette diversité de milieux favorise une diversité d'espèces au sein et entre les communautés.

Les résultats de ce projet, tant sur les outils de mesure de la biodiversité des sols que sur la nécessité de prendre en compte des paramètres pédologiques et paysagers, **doivent être retranscrits dans des outils de planifications** tels que le Schéma Régional de Cohérence Écologique, le Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Égalité des Territoires ou le Plan Local d'Urbanisme intercommunal, mais également dans des documents liés à la biodiversité comme l'Atlas de la Biodiversité Communale. D'ailleurs, les données obtenues dans le cadre de ce projet seront intégrées dans l'Atlas de la Biodiversité de la Métropole du Grand Nancy, qui ne comportait jusqu'à présent aucune donnée sur les organismes des sols. Cette retranscription dans les outils de

planification et les documents communaux est un des objectifs finaux du projet, et sera réalisé à travers des **workshops** et la **création d'un outil d'aide à la décision intégrant les données « trame brune » dans certains documents d'urbanisme**. De plus, de nombreuses **actions de communications** (diagnostics participatifs, conférences, panneau pédagogique sur chaque site, site web etc.) sont en cours et seront menées tout le long du projet.



Qualité de l'Air :
Mesurer, Comprendre, Agir

• Santé • Aménagements urbains et mobilité •
Adaptation climatique • Industrie • Bâtiment • Agriculture

Air Quality:
Measure, Understand, React

• Health • Urban planning and mobility •
Climate adaptation • Industry • Building • Agriculture

Conférences - Débats - Rencontres - Exposition
Conferences - Debates - Meetings - Exhibition

S'INSCRIRE AUX CONFÉRENCES

RÉSERVER VOTRE STAND / COMMUNICATION

www.atmosfair.fr

Early Bird TICKETS 15% DISCOUNT DEADLINE : JUNE 30, 2022

En partenariat avec / In partnership with:

FiMea · axeLERA ENSEMBLE, CATALYSONS LES REUSSITES | Auvergne Rhône - Alpes · orée Entreprises, territoires et environnement · SYMPOSIUM AIR & ODEUR MONTRÉAL 2022

Entreprises / Companies:

anjos · ATMOTRACK · Bureau Veritas · cea · Chromatotec Group · ECOMESURE · ellona · ENGIE Lab · ethera · fieldfisher · FOLEY HOAG LLP · GINGER BURGEAP · Laurence Lanoy Avocats · LIFY-AiR · Mérieux NutriSciences · MLER · Pascal Roux Conseil · Groupe Renault · Rincent · SANOFI · SGS · SNCF · SOLVAY · VEOLIA

Institutionnels / Institutionals:

ADEME Agence de la transition écologique · République Française Liberté Égalité Fraternité · Cerema · IFP Energies nouvelles · IMT Nord Europe École Mines-Télécom IMT- Université de Lille · IRCELYON Institut de recherches sur la catalyse et l'environnement de Lyon · UCIE L'Union des Consultants et Ingénieurs en Environnement

Mercredi 22 juin 2022 / Wednesday June 22, 2022

08h30
Accueil des participants / Welcome and participant's registration

Quels traitements pour quels usages ? / What treatments for what uses?
Modérateurs : Jonathan Senechaud, Responsable Développement - Colas Environnement & Laurent Thannberger, Responsable Labo et R&D - Valgo

09h00
Les sols comme ressources génétiques : un potentiel sous-estimé dans la gestion durable des sites contaminés par les polluants organiques persistants / Soil as genetic resources: an underestimated potential in the sustainable management of contaminated sites by persistent organic pollutants
Alexiane Godain, Ingénieure Environnement et Innovation – Tauw France

09h20
Evolution dans la gestion et la sécurisation des sites pollués au mercure / Progress in the management and securing of mercury-polluted sites
Boris Devic-Bassaget, Directeur Technique – Sarpi-Veolia

09h40
Test de traitabilité de plusieurs polluants persistants (POP) par électro oxydation : essais comparatifs sur divers familles de composés (PFas, OCHV, PCB) / Treatability test of several persistent pollutants (POP) by electro-oxidation: comparative tests on various families of compounds (PFASs, HVOCs, PCBs)
Philippe Oudin, Gérant – Semaco Environnement & Professeur à l'Ecole des Mines de Nancy

10h00
RoboNova®: Métagénomique et ingénierie des procédés de bioremédiation / RoboNova®: Metagenomics and engineering of bioremediation processes
Cosimo Masini, CEO – DND Biotech (Italie)

10h20
Pause café / Coffee break

10h40
Réhabilitation par stabilisation et phytomanagement d'un site pollué en zinc - Essais de traitement et mise en œuvre sur site / Rehabilitation by stabilization and phytomanagement of a zinc-polluted site - Treatment trials and on-site implementation
Emmanuel Vernus, Directeur technique – Insavalor - Provademse

11h00
Installation, mise en service et exploitation d'une barrière réactive perméable injectable in situ pour prévenir l'advection de substances per- et polyfluoroalkyles sur un aéroport européen / Installation, commissioning and operation of an injectable in situ permeable reactive barrier to prevent the advection of per- and polyfluoroalkyl substances at a European airport
Kris Maerten, Technical Manager Europe – Regenesis (Belgique)

11h20
Traitement biologique aérobie *in situ* des sols par injection d'oxygène pur / Soil in situ aerobic biodegradation with pure oxygen injection
Carole Marcon, Responsable Conception & Expertise – Ortec-Soleo

11h40
Réhabilitation d'une ancienne usine par pompage, recirculation et injection d'oxydant / Old factory remediation by pumping, reinjection and addition of oxidant
Jonathan Sénéchaud, Responsable développement & Gabriel Philibert, Chef de projet – Colas Environnement

12h00
Amélioration de la biorémédiation des sols à l'aide d'amendements de sols durables / Enhancing soil bioremediation with sustainable soil amendments
Erwan Goulian, Sales & Technical Representative, France - Evonik

12h20
Table ronde / Round table

Gestion des friches et ZAN / Brownfields management and ZNA?
Quelle gestion par les acteurs publics et les institutionnels de la filière ? / What management by public actors and institutions in the sector?
Organisation et modération / Organization & Moderators:
. Aurélie Ohannessian, Chargée de projet et innovation Sites et Sols Pollués - Axelera
. Laurent Dechesne, Directeur - Cluster Eau-Milieux-Sols
. Benjamin Pauget, Responsable R&D – Tesora

Participants :

. Patricia Gentil, Ingénieure Proto-Aménagement – EPFL Dauphiné
. Vivianne Massacrier, Cheffe Projets volet Sols – Cluster Eau-Milieux-Sols
. Noémie Viovi, Chargée d'études stagiaire – Agence de Développement et d'Urbanisme du Pays de Montbéliard
. Florian Philippon, Coordinateur territorial Sites et Sols Pollués – Chef de Projets SFUSP Auvergne-Rhône-Alpes et Bourgogne - Ademe

13h00
Déjeuner / Lunch

14h00
Traitement des chlorates, perchlorates et chrome hexavalent dans les eaux souterraines par dégradation biologique anaérobie in-situ / Treatment of chlorates, perchlorate and chromium VI in groundwater by in-situ biological chemical reduction (bio-ISCR)
Camille Curtius, Responsable Pôle Territoire Sud-Ouest - Sarpi-Veolia

14h20
Désorption thermique sous un bâtiment, avec de fortes contraintes d'accès et complétée par des études géotechniques spécifiques / Thermal desorption under a building, with strong access constraints and supported by specific geotechnical studies
Laurent Thannberger, Directeur scientifique - Valgo

14h40
Adaptation de procédure de dépollution sous contrainte géotechnique forte / Adaptation of remediation process under strong geotechnical constraints
Isabelle Deffain, Chargée de projets - Valgo

15h00
Injection SPIN®: une solution de dépollution innovante pour l'injection précise de réactifs dans un sol hétérogène à faible perméabilité / SPIN® injection: an innovative remediation solution for the precise injection of reagents into heterogeneous soil with low permeability
Lionel Counet, Ingénieur Projet – Injectis (Belgique)

15h20
Pause café / Coffee break

15h40
Thermoreact® - Un produit de remédiation innovant pour la neutralisation in situ des halogènes, soufre, phosphore et mercure lors de la désorption thermique / Thermoreact® - An innovative remediation product for In situ neutralization of halogens, sulphur, phosphorus and mercury during thermal desorption
Jan Haemers, Directeur général - Haemers Technologies (Belgique)

16h00
Réhabilitation d'un site industriel pour faire face aux enjeux de santé de demain / Rehabilitation of an industrial site to meet the health challenges of tomorrow
Pierrick Le Blanc, Directeur Adjoint Territoire Sud-Est – Sarpi-Veolia

16h20
Méthodes de caractérisation de site de pointe appliquées pour soutenir la conception des assainissements pilotes dans le cadre du projet RESANAT / State-of-the-art site characterization methods applied to support the design of pilot remediations in the RESANAT project
Pieter Buffel, Team Manager – EnISSA (Belgique)

16h40
Innovations en matière d'essais pilotes de traitement sur site / On-site treatment testing innovations
Guillaume Boitout, Chef de projets – Eiffage Génie civil Infra Linéaires - Gauthey

17h00
Discussions / Discussions

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

Le sol en tant que ressource génétique : un potentiel sous-estimé dans la gestion durable des sites contaminés par des polluants organiques persistants

Alexiane Godain[1], Céline Baguelin[2], Pauline Denaud[2], Sébastien Kaskassian[1], Cédric Malandain[2], Thierry RUFFENACH[1]
[1]TAUW France, [2]HYDREKA

Contact :

Alexiane Godain,
Ingénieure Environnement et Innovation – TAUW France

TAUW France SAS
Parc tertiaire de Mirande
14 D Rue Pierre de Coubertin
21000 Dijon

Caractère innovant : essais de biostimulation pour le traitement des isomères de HCH

Mots clés : biostimulation, microcosme, Lindane, ressource en eau

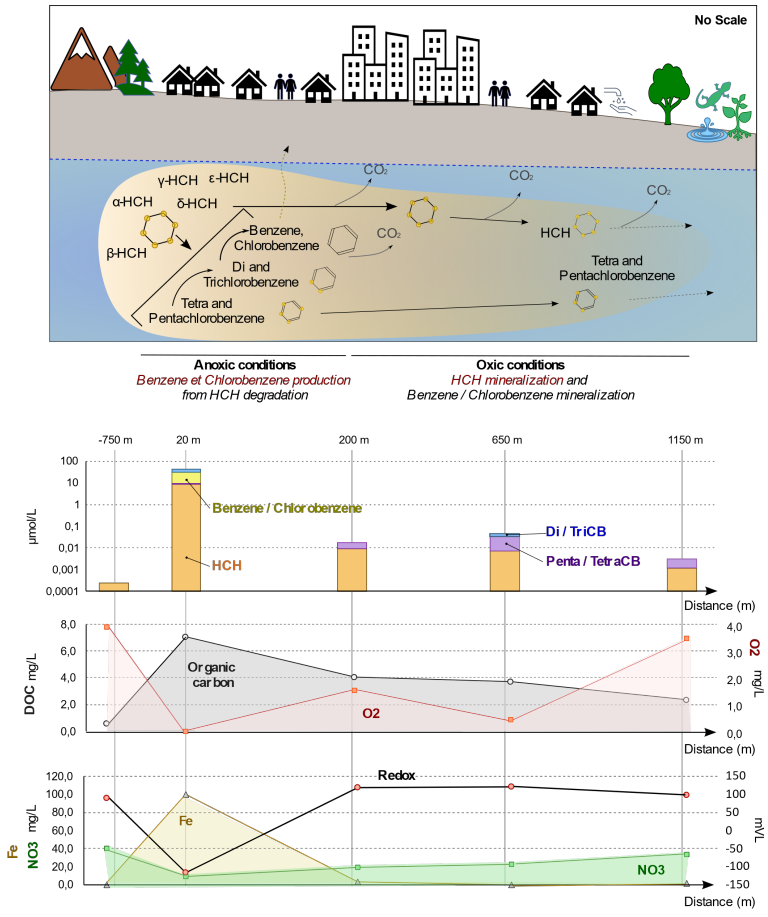
Objectifs : évaluer les conditions favorables de gestion d'un très long panache contaminé en HCH

Jusqu'en 2000, le lindane a été utilisé comme insecticide à large spectre avant d'être classé comme polluant organique persistant (POP) et interdit dans l'UE. Pour chaque tonne de lindane produit, 8 à 12 tonnes d'isomères résiduaires étaient générés. Il y a donc eu plus de 4,8 millions de tonnes de déchets HCH générés dans le monde entier et une large partie est encore présente. Ces isomères de déchets ont été souvent déversés sur ou à proximité des installations, conduisant parfois à des décharges en plein air. La Commission européenne a lancé le projet « HCH in EU » dans le but d'aider les autorités à gérer de manière durable 6 sites contaminés par du HCH, dont le site de Wintzenheim en France. Le site est une ancienne gravière remblayée entre 1965 et1967 avec environ 700 m^3 de lindane et de résidus de fabrication. Dans les années 1970, des enquêtes de surveillance sur la qualité des eaux souterraines ont révélé un panache de contaminants dans les eaux souterraines. Les risques environnementaux et sanitaires sont importants puisque le site est situé dans le parc naturel régional des Vosges et dans une zone urbaine proche de la ville de Colmar, à quelques mètres des maisons individuelles et des jardins familiaux. Malgré les mesures d'atténuation par confinement de surface (couverture et étanchéité) mises en œuvre dans les années 1980 puis dans les années 2000, le panache de pollution est toujours présent.

La bioremédiation est l'un des moyens explorés depuis le début des années 2000 pour restaurer les sites contaminés par le HCH. De nombreuses études ont récemment permis de comprendre les possibilités de biodégradation en identifiant les bactéries capables de dégrader les HCH et les voies de dégradation impliquées dans ces processus. Malgré ces avancées, les traitements *in situ* ou même les évaluations du potentiel de bioremédiation restent rares. TAUW France en collaboration avec HYDREKA a réalisé une étude pilote pour estimer le potentiel de bioremédiation existant sur le site de Wintzenheim et évaluer la faisabilité d'un traitement de bioremédiation. Deux voies principales de biodégradation du HCH sont actuellement identifiées. La voie de dégradation aérobie est maintenant bien caractérisée (gènes de dégradation identifiés, souches bactériennes et voies métabolites connues) et permet la minéralisation complète des HCH. La voie anaérobie n'est pas encore entièrement comprise (aucun gène de dégradation identifié, incertitudes concernant les souches bactériennes et les voies métabolites impliquées) et les isomères de HCH sont partiellement dégradés en chlorobenzène et benzène, polluants volatils et toxiques, qui peuvent s'accumuler dans l'environnement.

Les résultats de l'évaluation ont montré un potentiel de biodégradation aérobie (présence de gènes de dégradation *lin*) et une dégradation anaérobie active au droit du site (présence de genres bactériens de dégradation anaérobie, présence de benzène et de chlorobenzène). La stimulation de l'une de ces deux voies reste donc possible. Deux tests de laboratoire ont été effectués pour évaluer les conditions optimales. Au cours de l'essai pilote anaérobie, l'ajout d'une source de carbone (mélasse) n'a permis de décomposer que l'isomère gamma (lindane) et a entraîné la production de métabolites (chlorobenzènes, chlorophénols, méthylphénol, etc.) y compris le benzène. Cependant, au cours du pilote aérobie, il a été possible de démontrer une réduction rapide des quatre principaux isomères HCH (α, β, δ et γ) sans accumulation de métabolites. Les résultats de la recherche et de la quantification des gènes *lin* (via des outils de biologie moléculaire), connus pour leur implication dans la dégradation des différents isomères HCH soutiennent l'hypothèse de la pertinence d'envisager une stratégie de remédiation microbiologique dans des conditions aérobies.

L'établissement de conditions aérobies sur place pourrait donc conduire à l'enrichissement de genres dégradant les HCH. On peut s'attendre à une cinétique de développement relativement rapide. De plus, aucun facteur n'a été trouvé pour contester de manière drastique la faisabilité de ce traitement. D'un point de vue opérationnel, seul un apport suffisant en oxygène pourrait être envisagé dans un premier temps. Les capacités épuratoire du sol devraient être envisagées avec plus d'attention, en particulier lorsque la dégradation incomplète conduit à la production de composés toxiques. En ce qui concerne les progrès récents, une gestion durable des sites HCH pourrait inclure l'évaluation du potentiel de bioremédiation. Malgré le fait que le lindane soit classé comme polluant organique persistant, l'adaptation génétique bactérienne rapide aux polluants permet de s'attendre à une minéralisation rapide et complète des HCH si un apport suffisant en oxygène est mis en œuvre.



Soil as genetic resources: an underestimated potential in the sustainable management of contaminated sites by persistent organic pollutants

Alexiane Godain[1], Céline Baguelin[2], Pauline Denaud[2], Sébastien Kaskassian[1], Cédric Malandain[2], Thierry RUFFENACH[1]
[1]TAUW France, [2]HYDREKA

Alexiane Godain,
Ingénieure Environnement et Innovation – TAUW France

TAUW France SAS
Parc tertiaire de Mirande
14 D Rue Pierre de Coubertin
21000 Dijon

Caractère innovant : essais de biostimulation pour le traitement des isomères de HCH

Mots clés : biostimulation, microcosme, Lindane, ressource en eau

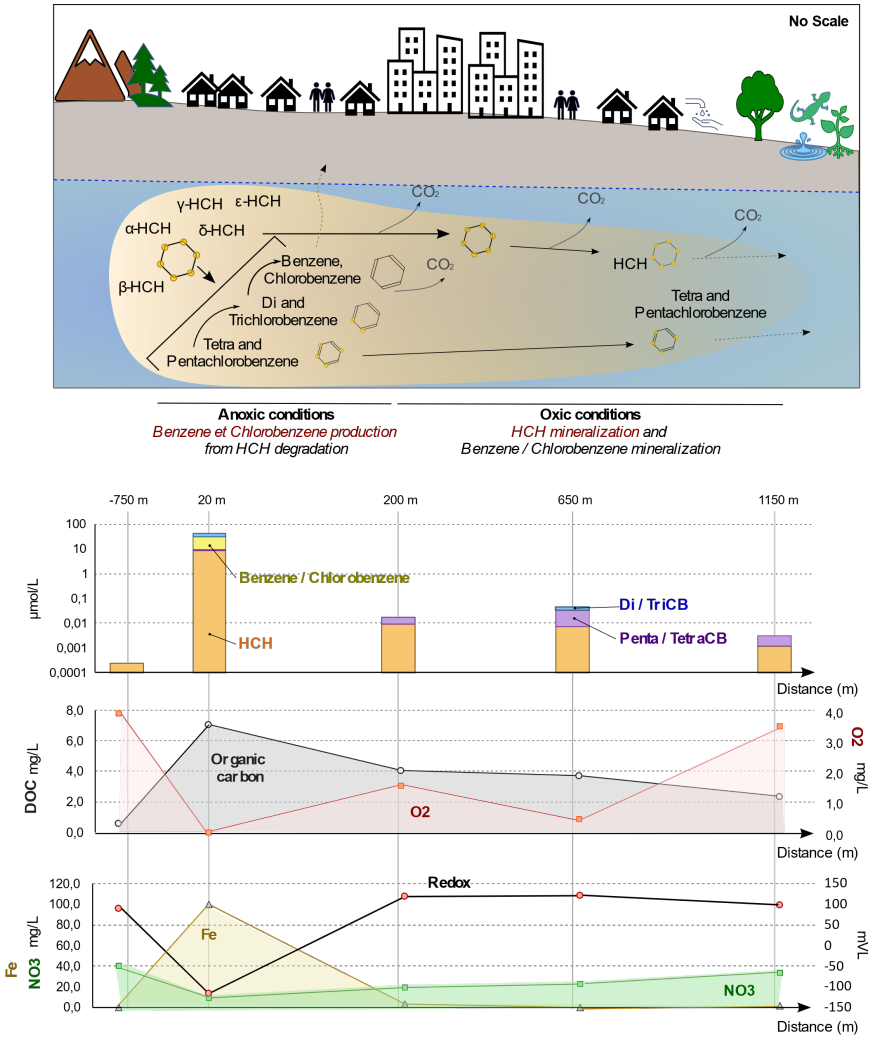
Objectifs : évaluer les conditions favorables de gestion d'un très long panache contaminé en HCH

Lindane was used as broad spectrum insecticide until it was banned in the EU in 2000 and classified as a Persistent Organic Pollutants (POPs). Lindane production was highly inefficient because each ton of lindane resulted in the production of 8 to 12 tons of waste isomers. This means that more than 4.8 million tons of HCH-wastes were (and to a great extent still are) present worldwide. These waste isomers were dumped on or near production facilities and often led to huge open-air stockpiles or landfills. The European Commission initiated the HCH in EU project with the objective to assist authorities to sustainably manage 6 HCH-contaminated sites including the Wintzenheim site in France. This site is a former gravel pit backfilled between 1965 and 1967 with about 700 m^3 of lindane and manufacturing residues. In the 1970s, groundwater quality monitoring surveys revealed a groundwater plume of contaminants. The environmental and health risks are significant since the site is located in the Vosges regional natural park and in an urban area near the city of Colmar, a few meters from individual houses and family gardens. Despite surface containment mitigation measures implemented (covering and sealing) in the 1980s and then in the 2000s, the pollution plume is still present.

One of the ways explored since the early 2000s to restore HCH contaminated sites is bioremediation. Many studies have recently made it possible to understand the possibilities of biodegradation by identifying the bacteria capable of degrading HCH and the degradation pathways involved in these processes. Despite these advances, *in situ* treatment or even assessments for bioremediation potential remain rare in the case of HCH contaminated sites. TAUW France in collaboration with HYDREKA carried out a pilot study to estimate the bioremediation potential existing on the Wintzenheim site and to assess the feasibility of a bioremediation treatment. Two main pathways of HCH biodegradation are currently identified. The aerobic degradation pathway is now well characterized (degradation genes identified, bacterial strains and metabolite pathways known) and allows the complete mineralization of HCHs. The anaerobic pathway is still not fully understood (no degradation genes identified, uncertainties concerning bacterial strains and metabolite pathways involved) and the HCHs are partially degraded to chlorobenzene and benzene, volatile and toxic pollutants, which can accumulate in the environment.

The assessment results showed potential for aerobic biodegradation (presence of *lin* degradation genes) and an effective anaerobic degradation (presence of bacterial genera of anaerobic degradation, presence of benzene and chlorobenzene). Stimulation of one of these two pathways therefore remains possible. Two laboratory tests were therefore carried out to assess the optimal conditions. During the anaerobic pilot test, the addition of a carbon source (molasses) only allowed to break down the gamma isomer (lindane) and resulted in the production of metabolites (chlorobenzenes, chlorophenols, methylphenol, etc.) including benzene. However, during the aerobic pilot, it was possible to demonstrate a rapid reduction of four main HCH isomers (α, β, δ and γ) without accumulation of metabolites. The results of research and quantification of *lin* genes (via molecular biology tools), known for their involvement in the degradation of the different HCH isomers support the hypothesis of the relevance of considering a microbiological remediation strategy under aerobic conditions.

The establishment of aerobic conditions on site could therefore lead to the enrichment of genera degrading HCH. Relatively rapid development kinetics can be expected. Moreover, no factor has been found to drastically challenge the feasibility of this treatment. Also, from an operational standpoint, only a sufficient supply of oxygen could be initially considered. Soil purification functions might be considered with more attention, especially when incomplete degradation leads to the production of toxic compounds. With regard to recent advances, a sustainable management of HCH sites might include the assessment of the bioremediation potential. Despite the fact that lindane is classified as a persistent organic pollutant, the fast bacterial genetic adaptation to pollutants allows to expect a rapid and complete mineralization of HCH if a sufficient supply of oxygen is implemented.



Evolution dans la gestion et la sécurisation des sites pollués au mercure

SUEZ RR IWS Remediation France (SARPI VEOLIA), 17, Rue du Périgord - 69330 MEYZIEU
GINGER BURGEAP, 940, route de l'Aérodrome 84911 Avignon

Intervenant : Boris Devic-Bassaget – Directeur Technique SUEZ Remediation
Email : boris.devic-bassaget@veolia.com / Arnaud TURCK, Directeur de Projets
(a.turck@groupeginger.com)

Le mercure est un métal toxique largement utilisé dans les industries chimiques, minières et métrologiques dans le passé. Les anciens sites de la chimie du chlore l'utilisaient dans l'électrolyse du sel. Le mercure élémentaire est liquide dans les conditions actuelles, et pose des problèmes de santé, principalement par inhalation de vapeurs et par ingestion

La dispersion spatiale du mercure (migration horizontale et en profondeur dans le sol) se produit principalement par volatilisation / recondensation des vapeurs de mercure, favorisée par les gradients de pression atmosphérique et par les écarts de température entre le jour et la nuit.

Pour les sols pollués, pour stabiliser à long terme le mercure métallique sous une forme stable, dans des gammes de pH et de larges conditions de potentiel d'oxydo-réduction, SUEZ a développé une solution de sulfuration par voie sèche par mélange de sol du mercure élémentaire, permettant de créer un type de méta-cinabre HgS. Cette méthode permet de sécuriser le transport des sols contenant du mercure vers les centres de traitement. Ceci permet également d'accepter pour traitement par stabilisation dans les décharges de déchets dangereux, des sols avec des teneurs jusqu'à 10 000 ppm de mercure total.

En termes de sécurisation des sites, pour les éviter la remontée de vapeurs de mercure des sites pollués ou des surfaces résiduelles : 2 types de barrières réactives ont été récemment appliquées :

- Aspersion mince (quelques millimètres) en spray de suspension chaux-soufre pour une sécurisation à moyen terme des bords et fond de fouille qui présentent des impacts résiduels ;
- Barrière de capping réactif, composé de sables argileux et de + soufre pour une sécurisation à long termes de zones résiduelles.

Les résultats du monitoring atmosphérique et retours d'expérience sont présentés.

Progress in the management and securing of mercury-polluted sites

SUEZ RR IWS Remediation France (SARPI VEOLIA), 17, Rue du Périgord - 69330 MEYZIEU
GINGER BURGEAP, 940, route de l'Aérodrome 84911 Avignon

Intervenant : Boris Devic-Bassaget – Technical Director
Email : boris.devic-bassaget@veolia.com / Arnaud TURCK, Project Director
(a.turck@groupeginger.com)

Summary:

Mercury is a toxic metal widely used in the chemical, mining, and metrology industries in the past. The ancient sites of chlorine chemistry used it in the electrolysis of salt.

Elemental mercury is liquid under current conditions, and poses health problems, mainly through inhalation of vapors and by ingestion.

The spatial dispersion of mercury (horizontal and deep in the soil) occurs mainly by volatilization recondensation of mercury vapors, favored by atmospheric pressure gradients and by temperature differences between day and night.

For polluted soils,in order to stabilize the metallic mercury in the long term in a stable form, under pH ranges and wide oxido-reduction potential conditions, SUEZ has developed a solution for the dry way soil-mixing sulphidation of elemental mercury, making it possible to create metacinnabar HgS type. This method makes it possible to secure the transport of mercury-containing soils to the treatment centers. This also makes it possible to accept for treatment by stabilization in the hazardous waste landfills, soils with contents up to 10.000 ppm of total mercury.

For vapors of mercury (site securing) : 2 types of reactive barriers has been recently applied:

- Slim coating in spray of slurry lime-sulfur for short to medium term contaminated soil securing
- Sandy Clay + sulfur for long term vapors active barrier in capping

Atmospheric monitoring results and experience are presented.

Test de traitabilité de plusieurs polluants persistants (POP) par électro oxydation: essais comparatifs sur divers familles de composés (PFas, COHV, PCB)

OUDIN Philippe (SEMACO Environnement – Université de Lorraine) , CARRONIER Hugo (VALGO)

Dr. Philippe OUDIN - SEMACO Environnement – 29, rue de la Commanderie - 54000 Nancy - Tel :+333 83 57 34 20 oudin@semaco.fr
Dr. Hugo CARRONNIER - VALGO – 47, rue de Ponthieu - 75008 Paris hugo.carronnier@valgo.com

Contexte / enjeux

La technologie d'électro oxydation connue depuis plusieurs décennies est basée sur la réaction de Fenton. Elle 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. ;

La technologie EBR® utilisée dans ces tests est brevetée et distribuée par SEMACO au niveau européen. …

Dans le cadre de la dépollution des nappes, la technique EBR® a démontré son efficacité sur des sites présentant une contamination spécifique des eaux souterraines par les hydrocarbures et des solvants chlorés mais n'avait pas été testée sur des polluants persistants.

La littérature décrit en effet très bien les réactions de dégradation électrochimique des hydrocarbures aliphatiques et halogénés. Cependant, il n'existe que peu d'informations sur l'efficacité de cette technique sur des contaminations par substances organiques plus complexes.

Principes des tests de traitabilité sur site

Afin de pouvoir vérifier la traitabilité de polluants persistants, il a été proposé de réaliser des tests préalables. La question de la représentativité de l'échantillonnage s'est vite posée sur les paramètres tels que : le volume d'échantillon à prélever, la conservation de l'échantillon dans le temps, …).

Une unité mobile pilote d'EBR® a été mise en œuvre permettant de réaliser des tests de traitement sur site en pompant directement la nappe dans des bacs de traitement et ainsi procéder à une électro oxydation dans des conditions le plus proche possible de la réalité.

Objectifs *:*

Le but de la présentation sera de présenter au public d'une part le retour d'expérience de ces essais sur site et notamment en termes de :

- Présentation du protocole d'essais sur site à l'aide d'une unité pilote dédiée ;
- Validation de la traitabilité de molécules complexes :
  - COHV ;
  - PFAs
  - PCB
- Discussions sur le volet impact Santé/Environnement

Un point sur l'évolution du premier site pilote en fonctionnement installé en 2019.

Acteurs :
Les acteurs en présence sont :

- Le Bureau d'Etude **SEMACO Environnement**
    - Mise en œuvre de la technologie et d'essais sur site
    - Réalisation de tests en laboratoires
- La société VALGO

RoboNova: METAGENOMICS AND ENGINEERING OF BIOREMEDIATION PROCESSES

Masini Cosimo, CEO DND Biotech, cosimo@dndbiotech.it

Biological processes for the remediation of contaminated environmental matrices are based on the ability of microorganisms such as fungi and bacteria to degrade, partially or completely, organic contaminants. The considerable interest in the possibility of exploiting these processes in the remediation of contaminated sites originates from the potentially greater sustainability of biotechnology, environmentally and economically, compared to physio-chemical technologies.

The use of biodegradation by microbial activity is already a common practice in the field of treatment of environmental matrices contaminated by organic substances, especially landfarming, biopile, and composting (ex-situ technologies). However, current best practices are often insufficient to achieve the objectives of decontamination within a certain timeframe. Biological remediation strategies are site-specific, their effectiveness is linked to several ecological factors, to mechanisms that control the growth of the microorganisms and to chemical and physical parameters of the soil, of the contamination and to the local climate. So many variables mean that it is impossible to create full-similarity models that include all parameters and to replicate processes and methods on different remediation scenarios. Pilot testing on a significant scale remains the only real support for the site-specific design of a bioremediation intervention.

RoboNova is a pilot plant in which we model the interventions on site, working on the specific matrix; we perform the monitoring of processes in terms of kinetics of degradation and toxicity of matrices; we monitor the metabolic activity of microorganisms and the evolution of the ecosystem of the matrix; we measure the environmental impacts (consumption, emissions, waste products) of the technology. RoboNova is the model of an on-site (on the site of remediation) ex-situ (treatment of matrix removed from the natural site). This exploits oxidative-aerobic processes by heterotrophic microorganisms, native to the matrix under treatment (soil, sediment), using the organic contaminant as the source of carbon and energy and oxygen as the electron acceptor. The pilot plant is used to implement a microbiome characterization plan and treatment test cycles. This involves sampling the treated soil and performing genetic, bioinformatic and ecotoxicological analysis of the contaminated matrix. The plant is equipped with a coverage and containment walls that allow a relative control of temperatures and shielding from sunlight, preserve the heaps from rainwater runoff, facilitate the regulation of the humidity of the heaps and reduce production of leachate, erosion caused by atmospheric agents and spread of dust and odors. The facility is also equipped with a photovoltaic system for self-sustainability, management of irrigation water and leachate and air emissions.

Réhabilitation par stabilisation et phytomanagement d'un site pollué en zinc
Essais de traitement et mise en œuvre sur site

E. Vernus (PROVADEMSE) – M. Schwob (GAUTHEY) – G. Machinet (MICROHUMUS)

Co-auteurs: *F. BAHE, L. GONZALEZ, G. SAILLARD (PROVADEMSE) ; …*

Thème : Quels traitements pour quels usages
Caractère innovant : Couplage des solutions de stabilisation et refonctionnalisation/végétalisation
Mots clés : Zinc, traitabilité, stabilisation, refonctionnalisation, végétalisation
Objectifs : Limiter durablement le relargage en zinc en permettant l'installation d'un sol refonctionnalisé et végétalisé

Contexte et objectifs

Dans le cadre du projet de requalification foncière du site « Chabroud-Galva » ayant accueilli des activités de traitement de surface à Saint Georges d'Espéranche (38), le groupement EIFFAGE FOREZIENNE/GAUTHEY a été mandaté par l'EPORA et TESORA pour effectuer les travaux de dépollution du site. GAUTHEY a demandé à PROVADEMSE et MICROHUMUS de réaliser de manière concertée des essais de traitement par stabilisation, refonctionnalisation et végétalisation du sol présentant des concentrations élevées en zinc.

L'objectif de l'opération est la conversion de la zone d'étude en espace vert avec un risque maîtrisé de transfert du zinc présent dans le sol vers les eaux souterraines ou les eaux de surface. L'opération de traitement vise à limiter de manière durable la fraction lixiviable en zinc du sol à une valeur inférieure à 10 mg/kg MS selon des modalités compatibles avec l'installation d'un sol refonctionnalisé et d'un support végétal.

Résultats (résumé)

Résultats des essais de stabilisation du zinc (PROVADEMSE)
Les caractérisations préliminaires et essais de formulation réalisés par PROVADEMSE ont permis, avec 5% m/m de liant hydraulique, d'abaisser la fraction lixiviable à 28j à une valeur inférieure à 0.2 mg/kg MS par intégration du zinc dans les phases minéralogiques (ettringite, oxydes et/ou carbonates, C-S-H). Une forte résistance aux agressions acides et un relargage acceptable en chrome ont également été mesurés.
La caractérisation de la dynamique de relargage du matériau granulaire stabilisé montre que le niveau de relargage en Zn et Cr reste inférieur aux objectifs, y compris avec recirculation d'une solution issue de la percolation du sol refonctionnalisé.

Résultats des essais de refonctionnalisation et végétalisation (MICROHUMUS)
Sur la base des caractéristiques agronomiques, toxicologiques et environnementales des terres de recouvrement des matériaux granulaires stabilisés par PROVADEMSE ([Zn] sur brut = 1390 mg/kg MS), MICROHUMUS a refonctionnalisé les terres *via* une ingénierie de formulation incluant l'apport d'amendement organique et d'engrais organo-minéraux sur mesure. Des essais de végétalisation par une strate herbacée (mélange de poacées et de fabacées) ont ensuite été réalisés au laboratoire

pendant trois mois. A l'issue des essais, les principaux résultats sont la stabilisation mécanique des terres refonctionnalisées par enracinement, et la production d'une biomasse aérienne saine à fort potentiel de recouvrement (Figure 1).

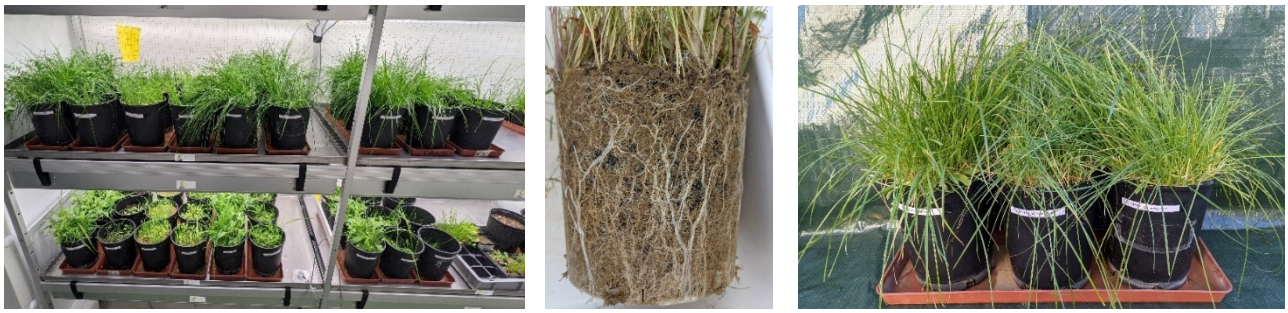


Figure 1 : Essais de végétalisation des terres refonctionnalisées dans des conditions contrôlées au laboratoire. Après trois mois, fort développement de la biomasse aérienne des herbacées, et stabilisation mécanique des terres par enracinement (Photos : MICROHUMUS).

Résultats de mise en œuvre des traitements sur site (GAUTHEY)

Après l'excavation et les analyses de recaractérisation des sols, les lots de terres présentant des concentrations supérieures à 10 mg/kg MS en zinc sur éluât ont été stabilisés sur une zone précise du site. La nature du liant hydraulique utilisé ainsi que son dosage ont été définis selon les résultats des essais de PROVADEMSE. La mise en contact des terres polluées avec le liant hydraulique a été réalisée à l'aide d'une arroseuse pour obtenir un taux d'humidité optimal, d'une épandeuse pour répandre le liant et d'un malaxeur pour réaliser le mélange.

Les lots de terres excavées dont les analyses de recaractérisation ont montré une concentration inférieure à 10 mg/kg MS en zinc sur éluât ont été utilisés pour le recouvrement des terres stabilisées. L'amendement de ces matériaux et l'ensemencement, en vue de la végétalisation, ont été effectués selon le type et la quantité de compost, d'engrais organique et de plante déterminés par les essais de MICROHUMUS.

Au total, 1630 m3 de sol impactés en zinc sur éluât ont été stabilisés sur site et 780 m3 de matériaux ont été refonctionnalisés et végétalisés.



Figure 2 : Mise en œuvre de la stabilisation et début de pousse des végétaux sur la partie végétalisée

Installation, commissioning and operation of an injectable *in situ* permeable reactive barrier to prevent the advection of per- and polyfluoroalkyl substances at a European airport

Ir. Kris Maerten (REGENESIS), Mariangela Donati (REGENESIS) and Gareth Leonard (REGENESIS)

Ir. Kris Maerten
Technical Manager Europe, REGENESIS
Tel: +32 (0)57 35 97 28
Mob: +32 (0)498 57 26 90
kmaerten@regenesis.com

Background

A regional airport in Europe is divesting a large area at the edge of their site for residential housing development. The historic airport fire training area is located in the tranche of land to be divested. At this location, aqueous film forming foams (AFFF) containing per- and polyfluoroalklyl substances (PFAS) had been used for many years. During site investigation, PFAS contamination was identified in the groundwater at levels exceeding current guidelines (PFOS observed at 320ng/L and PFOA up to 6,320ng/L - both above the current drinking water inspectorate standard of 100ng/L), which presented an environmental risk to the aquifer. A remedial options appraisal concluded the residential development of the site precluded the use of active extraction of contamination to the surface, and the long-term costs were considered prohibitive. It was determined that a passive, *in situ* approach could match the site requirements and that installing a subsurface colloidal activated carbon permeable reactive barrier (PRB) should be explored to prevent further advection of the contamination.

Approach

An area of the site was identified to complete a pilot test of the technology. Geological, hydrogeological and engineering/injection testing was conducted at this location to provide accurate and detailed information on contaminant flux zones. This was then used to design the appropriate installation approach, including dose, spacing, depths (to intersect flux zones) and pressure.

The pilot study was completed using a 10m long barrier comprising 14 injection locations. Direct push injection was used to emplace the colloidal activated carbon between 3-11mBGL in the clay/silt aquifer, targeting the identified permeable sandy lenses. Emplacement testing was completed to ensure the PRB installation had been completed as desired. This was followed by six months of validation monitoring using multi-level wells.

The treatment was shown to be effective, reducing the contamination PFOS and PFOA below performance criteria. Regulatory engagement had been maintained throughout, and planning consent was given to install a 277m long full-scale barrier at the site. Work on this has started at the end of 2021, with the installation and commissioning process programmed to take 4-7 months. Once installed, the barrier will be warrantied for ten years to ensure ongoing efficacy and that the airport's off-site liability costs are defined and fixed.

Results and lessons learned

A description of the activities and resulting measurements of the design verification testing will be shown, as well as how these informed the pilot test approach. Validation results from the pilot will be shared and discussed. A description of the on-site practicalities of installation and commissioning of the PRB will be provided, including any issues encountered. Any full-scale installation verification or treatment validation monitoring data that is available will be presented.

TRAITEMENT BIOLOGIQUE AEROBIE *IN SITU* DES SOLS PAR INJECTION D'OXYGENE PUR

SOIL *IN SITU* AEROBIC BIODEGRADATION WITH PURE OXYGEN INJECTION

Carole Marcon[1], Margaux Ferec[1], Clotilde Johansson[1], Christophe Chêne[1]

[1] *ORTEC-SOLEO, 8 ter avenue du Docteur Schweitzer, Meyzieu, 69330, France*
Speaker : Carole MARCON – responsable conception et expertise
Mail : carole.marcon@ortec.fr
Tel : 06 79 98 08 48

Caractère innovant : Biosparging par injection d'oxygène pur *in situ*, couplé à un monitoring comprenant de la biologie moléculaire, de l'écotoxicologie, de l'isotopie et de la géophysique en complément des analyses standards de gaz, d'eaux et de sols

Mots clés : Biosparging, oxygène pur, injection, BTEX, biodégradation

Objectifs : Approfondir la faisabilité du traitement biologique aérobie des sols par injection d'oxygène pur

Abstract :

Le traitement biologique aérobie des sols par biosparging à l'oxygène pur est une solution innovante techniquement, et extrêmement compétitive financièrement pour traiter les pollutions hydrocarburées dans les sols de nombreux sites pollués. Elle vient en variante du venting / bioventing et consiste à injecter uniquement de l'oxygène pur dans les sols sans pomper les gaz. Le traitement est donc intégralement in situ et les économies réalisées sur le traitement de gaz sont considérables. Or la validation d'une telle stratégie nécessite des essais de faisabilité préalables et l'acquisition de données terrain fiables. ORTEC SOLEO s'est vu confier cette prestation par un industriel touché par une problématique adéquate et disposant d'un site pilote adapté, avec comme polluant majoritaire du benzène fortement concentré en zone non saturée et variablement saturée (pseudo nappe perchée). L'approche d'ORTEC SOLEO s'est tout d'abord intéressée au contexte particulier et l'état actuel de la pollution du site, puis à établir l'état de l'art et la bibliographie autour de la biodégradation aérobie du benzène, et à identifier les verrous techniques dans le cadre d'une application au cas du site pilote.

La biodégradation aérobie du benzène est largement documentée et reconnue. De fait, plusieurs communautés bactériennes sont capables de dégrader le benzène dans des conditions favorables : pH proche de la neutralité, concentration modérée en polluant sans présence de phase pure, présence de nutriments et d'oxygène dissous en quantité suffisante pour le développement bactérien. La biodégradation aérobie du benzène entraîne la formation successive de catéchols, aldéhydes, acides

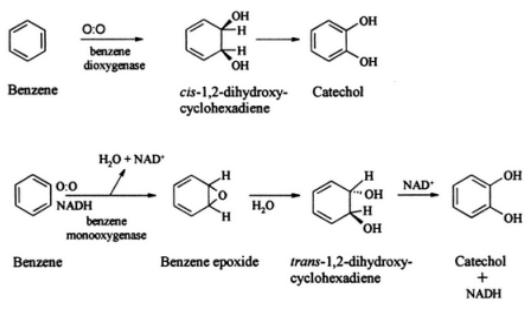


FIGURE 1 : TWO PROPOSED REACTION SEQUENCES FOR AEROBIC BIODEGRADATION OF BENZENE TO FORM CATECHOL

Source: S.A. Mancini, A.C. Ulrich, G. Lacrampe-Couloume, B. Sleep, E.A. Edwards and B.S. Lollar (2003). Carbon and hydrogen isotopic fractionation during anaerobic biodegradation of benzene. *Applied Environmental Microbiology* 69 (1): 191–198.

carboxyliques, toutes ces molécules étant elles-mêmes de nouveau dégradées, notamment par intégration à de nouveaux cycles énergétiques bactériens.

La principale difficulté de cette technique est la mise en place de conditions favorables à la biostimulation des communautés microbiennes dégradant le benzène, notamment en présence d'un milieu très contaminé en zone non saturée. Les verrous techniques à lever sont nombreux : L'oxygène se disperse-t'il correctement dans les sols ? ; La dégradation des polluants observés est-elle liée à la biodégradation (phénomènes biotiques) ou bien à la volatilisation (phénomènes abiotiques) ? ; Comment varient les équilibres de phase au cours du traitement ? ; L'écotoxicité du milieu est-elle un frein au développement biologique ? ; Quelles sont les éléments inorganiques susceptibles de réagir avec l'oxygène ?...

Des doublets d'injection d'oxygène pur et des triplets de contrôle en flûte de pan ont été positionnés sur 3 zones pilotes du site. Des essais de traçage à l'hélium ont permis de valider la dispersion des gaz dans le sol avant démarrage du pilote.

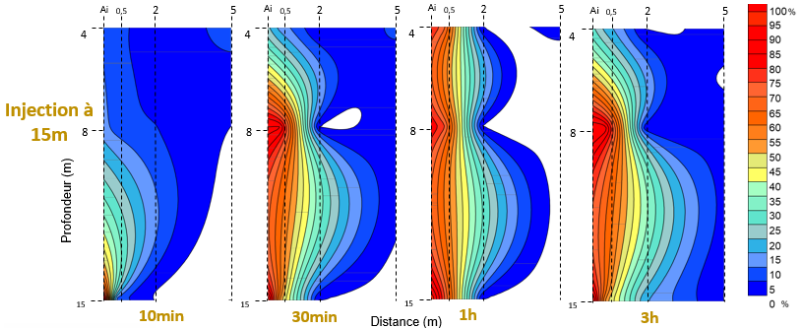


FIGURE 2 : ESSAI DE TRAÇAGE A L'HELIUM SUR LA ZONE 1 (% He)

Puis une première zone a été raccordée à une unité de production d'oxygène pur fabriquée par ORTEC SOLEO et mise en service en juillet 2021 pour 6 mois. A ce jour 18t d'oxygène pur ont été injectées. Des sondages carottés sous gaine ont été réalisés à T0, T3mois et T6mois, avec suivi analytique des polluants et nutriments. Des prélèvements réguliers de gaz et eaux souterraine de la nappe perchée ont également été effectués. Un monitoring spécifique a été mis en place afin de lever les verrous identifiés et de justifier la mise en place de la biodégradation aérobie du benzène sur la zone pilote, avec notamment un suivi de la biologie moléculaire, l'écotoxicologie, l'isotopie et la géophysique.

La mesure in situ des volatils au photoioniser detecter (PID), de l'O_2 et du CO_2 gazeux a montré une bonne dispersion de l'O_2 jusqu'à 4mois, avec baisse du CO_2, et une dispersion latérale plus rapide en profondeur qu'en surface comme vu lors des essais d'injection d'He. La consommation d'O_2 à partir de 3,5mois est corrélée avec une augmentation des teneurs en CO_2 (respiration).

L'analyse des gaz du sol a révélé une augmentation des concentrations en BTEX en profondeur et à 2 et 5m de distance après démarrage, suivie d'une baisse des concentrations généralisée au bout des 4 mois. L'analyse des BTEX adsorbés à T 3 mois a révélé des résultats prometteurs avec un abattement notable au cœur du système à 0,5m (92%) et 2m (89%) de distance, mais encore peu d'impact au droit de l'aiguille d'injection et à 5m de distance (potentielles voies de migrations préférentielles vers 5m).

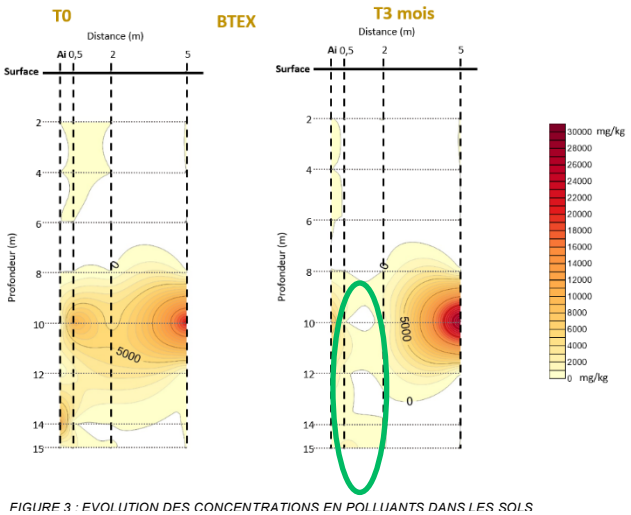


FIGURE 3 : EVOLUTION DES CONCENTRATIONS EN POLLUANTS DANS LES SOLS

La signature isotopique du carbone (C^{13}, C^{12}) du benzène et du CO_2 produit par la respiration bactérienne a été suivie dans les gaz du sol de la zone non-saturée. A T 3 mois il est observé un enrichissement en carbone C^{13} du benzène de plus de 2‰ à 4m de profondeur et plus modéré en profondeur, probablement dû à la forte teneur en benzène (effet de dilution dans la masse), couplé à un appauvrissement en carbone C^{13} du CO_2, particulièrement marqué en profondeur. Ces résultats semblent confirmer la présence de phénomènes de biodégradation du benzène.

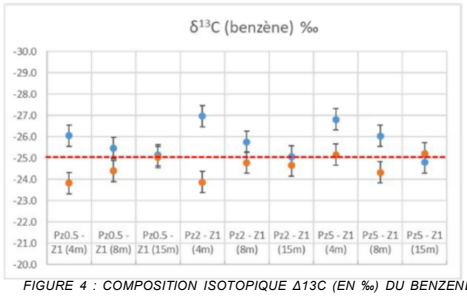
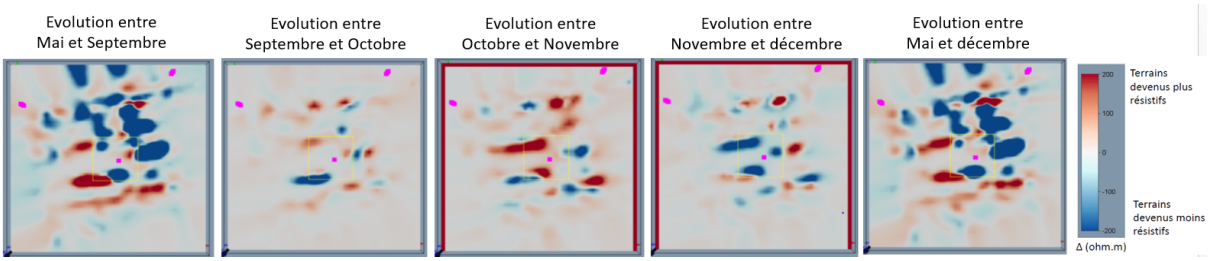


FIGURE 4 : COMPOSITION ISOTOPIQUE Δ13C (EN ‰) DU BENZENE A T0 (EN BLEU) ET A T3 (EN ORANGE) ; LA VALEUR INITIALE DE LA SOURCE ESTIMEE A -25‰ EST INDIQUEE EN LIGNE ROUGE POINTILLE (BRGM)

Un suivi géophysique de la résistivité ayant pour but de suivre par imagerie l'évolution de la concentration du polluant dans le temps (Tomographie électrique 3D) a été réalisé. Autour du puits d'injection d'oxygène, une évolution variable des résistivités est observée au fil du temps, avec néanmoins une augmentation globale de la conductivité (signe probable d'activité biologique).

FIGURE 5 : EVOLUTION DE LA RESISTIVITE DES TERRAINS (GEOLITHE)



Le suivi biomoléculaire des communautés microbiennes indigènes (CMI) dégradant le benzène, au niveau des gènes de biodégradation aérobie du benzène (monooxygénases, dioxygénases) a démontré au bout de 3 mois que la concentration en bactéries totales dans les sols a augmenté passant d'un maximum de 3.10^7 à 5.10^9 copies /g de sol en fonction des sondages. Néanmoins le potentiel de biodégradation aérobie du benzène a légèrement diminué en termes de présence (ADN) et activité (ARN). Les résultats de la campagne de T 6 mois permettront d'observer l'évolution sachant que d'autres signes d'accélération de la biodégradation ont été observés seulement à partir à partir de 3,5 mois.

La réalisation de test d'écotoxicologie sur l'échantillon prélevé à T0 et T 3 mois (Test d'inhibition de l'émergence et de la croissance de semences par une matrice potentiellement polluée) ne montre pas de caractère toxique des sols, et permet même d'observer une amélioration avec un CE50 passant de 71% à 91% MS d'échantillon de sol (concentration efficace provoquant un effet sur X % de la population après un temps T).

Les résultats des six premiers mois du pilote étant prometteurs, les deux autres zones ont été raccordées courant février. L'ensemble des résultats (jusqu'à 12 mois sur la zone 1 et 6 mois sur les zones 2 et 3) seront présentés lors de la conférence.

Réhabilitation d'une ancienne usine par pompage, recirculation et injection d'oxydant
Old plant remediation with pumped, reinjection and addition of oxidant

Jonathan Sénéchaud, Responsable développement – Colas Environnement
jonathan.senechaud@cer.colas.fr
Gabriel Philibert, Chef de projet – Colas Environnement gabriel.philibert@cer.colas.fr

COLAS Environnement, filiale du groupe COLAS, spécialisée dans les travaux de dépollution des sols et des nappes phréatiques réalise la réhabilitation du sous-sol d'une ancienne usine de production de pièces automobiles.

Dans le cadre de ce projet, les investigations préalablement menées par un bureau d'étude spécialisé en SSP ont permis de mettre en évidence des impacts aux HCT et métaux au droit de 6 zones pour un total d'environ 560 m3 de sols impactés. Les eaux souterraines situées à 6 m de profondeur étaient quant à elles également impactées par des COHV (solvants chlorés) et BTEX sur des surfaces respectives notables de près de 10 000 m² et 1 500 m².

La démarche itérative du BET spécialisé a permis, en amont des travaux, la réalisation d'un essai laboratoire mené par une structure indépendante : COLAS Environnement, à travers son Laboratoire d'Expertise en Dépollution détenu en propre a pu également confirmer l'ensemble des résultats obtenus permettant de comparer ces derniers et dimensionner le traitement futur tout en prenant des engagements forts.

Globalement, deux stratégies ont été mises en œuvre sur ce site :

- L'une sur les eaux souterraines : Pompage traitement sur site par injection d'oxydant en ligne au sein d'un bac tampon, réinjection en nappe. Deux campagnes d'injection d'oxydant couplées à du pompage/réinjection. Au total, près de 30 t d'oxydants ont dû être employées au droit de 41 ouvrages de pompage et/ou injection.

- La seconde sur les sols situés en ZNS : réalisation d'excavation avec tri analytique sur site et maillage complémentaire pour gérer hors site en filières agréées les zones concentrées de pollution.

Au cours du projet, des découvertes ont dues être gérées avec souplesse et adaptabilité. Une 6ème zone concentrée en ZNS a été détectée révélant des impacts en COHV atteignant jusqu'à 2 000 mg/kg MS. Des opérations de terrassement ont donc été menées sur cette zone source qui dégradait la qualité de la nappe. Aussi, une extension de la zone concentrée au droit de la zone saturée d'environ 2 500 m² a nécessité la pose en urgence d'ouvrages de contrôle et de traitement complémentaires.

Cet exposé présentera les différentes étapes suivies par COLAS Environnement pour mener à bien les travaux de réhabilitation de l'ancienne usine et les résultats escomptés tout en détaillant les principes de traitement mis en œuvre, notamment pour la gestion des eaux souterraines.

Amélioration de la biorémédiation des sols à l'aide d'amendements de sol durables
Enhancing Soil Bioremediation with Sustainable Soil Amendments

Erwan Goulian, Sales & Technical Representative, France – Evonik

goulianerwan@pm.me

This presentation will provide an overview of Evonik's Terramend® and Daramend® soil amendments for *in situ* and *ex situ* bioremediation of soils containing organic contaminants. These soil amendments enable sustainable soil remediation by eliminating the need for less sustainable remediation methods such as excavation, transportation, and off-site disposal in a landfill. The presentation will include details on the composition of the amendments, their methods of application, treatment mechanisms, and associated advantages. Terramend® reagents for aerobic bioremediation and Daramend® reagents for anaerobic remediation have been used to economically remediate soils at industrial, agricultural, and military sites in Canada, China, Colombia, El Salvador, and the United States. Results from several completed projects will be briefly reviewed. Terramend® has been successfully applied to treatment of soils contaminated with PAHs, PCP, phthalates, and a wide range of petroleum hydrocarbons. Daramend® reagents have been used to remediate soils containing chlorinated pesticides including 2,4-D, Chlordane, Dieldrin, DDT, Lindane, Metolachlor, and Toxaphene. Daramend® has also proven effective in destruction of major organic explosive compounds including TNT, DNT, RDX, HMX, Tetryl, and nitrocellulose. The full range of common chlorinated solvents including PCE, TCE, CT, and CF as well as their breakdown products have also been effectively treated with Daramend®. For applications where a reduction in leachability of the target compounds is required Daramend® Plus, which includes activated carbon is available.

Traitement des chlorates, perchlorates et chrome hexavalent dans les eaux souterraines par dégradation biologique anaérobie in-situ

SUEZ RR IWS Remediation France, 17, Rue du Périgord - 69330 MEYZIEU
Intervenant : Camille Curtius- Responsable Pole Territoire SUD-OUEST
Email : camille.curtius@veolia.com

Le chlorate de sodium est un puissant oxydant. Plus de 90 % de tout le chlorate de sodium (NaClO3) produit dans le monde est utilisé par l'industrie des pâtes et papiers. Il est produit par électrolyse d'une saumure (chlorure de sodium + eau).

La forte solubilité du chlorate est à l'origine d'une contamination des eaux souterraine au droit d'un des sites de production. Afin d'améliorer la qualité des eaux souterraines, SUEZ Remediation a réalisé un traitement in-situ des eaux souterraines par dégradation biologique in-situ en anoxie – procédé bionappe®.

La biodégradation par voie anoxique utilise les micro-organismes naturellement présents dans le sol et implique successivement les enzymes suivantes : perchlorate réductase, chlorate réductase et chlorite dismutase.

L'activation du traitement se réalise par l'injection d'une source de carbone dans les eaux souterraines indispensables à la croissance des bactéries. En se développant, les bactéries vont consommer l'oxygène permettant ainsi la mise en place de conditions anoxiques dans le milieu.
En l'absence d'oxygène, les micro-organismes vont ensuite consommés les nitrates puis les chlorates. La cinétique de biodégradation des chlorates est rapide et complète et aboutit à la formation de chlorures, ne présentant aucun danger pour les milieux et leurs usages.

Le traitement a été réalisée en plusieurs phases

- **Phase 1 :** traitement des impacts en nappe par des chlorates, chrome VI et perchlorate **à pH neutre** ➔ mise en œuvre à grande échelle avec un abattement des teneurs >95%
- **Phase 2 :** traitement des impacts en nappe par des chlorates, chrome VI et perchlorate **en milieu basique** ➔ mise en œuvre à grande échelle avec essais de faisabilité en laboratoire

Cette solution permet une amélioration de la qualité des eaux souterraines par voie biologique, sans utilisation de produit chimique, sans formation de sous-produit toxique. Economique elle est compatible avec une poursuite d'activité.

Treatment of chlorates, perchlorate and chromium VI in groundwater by in-situ biological chemical reduction (bio-ISCR)

Sodium chlorate is a powerful oxidizing agent. Over 90% of all sodium chlorate (NaClO3) produced worldwide is used by the pulp and paper industry. Sodium chlorate is produced by the electrolysis of brine (sodium chloride and water)

The high solubility of chlorate is the source of groundwater contamination at one of the production sites. In order to improve the quality of groundwater, SUEZ Remediation carried out in-situ treatment of groundwater by in-situ anaerobic biological degradation – the bionappe® process.

Anoxic biodegradation uses the micro-organisms naturally present in the soil and successively involves the following enzymes: perchlorate reductase, chlorate reductase and chlorite dismutase.

The treatment is activated by injecting a source of carbon into the groundwater essential for the growth of bacteria. As they grow, the bacteria will consume oxygen, thus allowing the establishment of anoxic conditions in the environment. In the absence of oxygen, the micro-organisms will then consume the nitrates and then the chlorates.
The biodegradation kinetics of chlorates is rapid and complete and leads to the formation of chlorides, presenting no danger for the environments and their uses.

The treatment was carried out in several phases:

- **Phase 1**: **Treatment of chlorates**, CrVI and perchlorates in groundwater, chrome VI and perchlorate **at neutral pH** ➔ large-scale implementation with a reduction in levels >95%
- **Phase 2**: **Treatment of chlorates**, CrVI and perchlorates in groundwater, chrome VI and perchlorate **at alkaline pH**. Large-scale implementation and laboratory pilot

This solution improves the quality of groundwater biologically, without the use of chemicals, without the formation of toxic by-products. Economical, it is compatible with the activity of the production site

Désorption thermique sous un bâtiment, avec de fortes contraintes d'accès et complétée par des études géotechniques spécifiques

Laurent THANNBERGER*, Alexandre PETIT, François MEOZZI****
*VALGO, Petit-Couronne ; **VALGO, Argenteuil – France

Mots clés : désorption thermique, écrémage, impact sur les structures
Objectifs : éliminer une pollution aux hydrocarbures dans un sous-sol très bas de plafond
Caractère innovant du projet : outre l'atteinte des objectifs, un des points clés consistait à contrôler les impacts de la chauffe sur les structures en bétons du bâtiment, ainsi que sur les terrains voisins, supportant d'autres bâtiments.

1. Contexte général

Un concessionnaire automobile avait accueilli une activité de réparation mécanique, qui avait laissé une cuve à huiles usagées dans une fosse et des impacts en hydrocarbures dans les sols sous-jacents. VALGO, lié par un contrat cadre avec ce client a été attributaire d'un PCT comportant des essais de désorption thermique en laboratoire, demandés par l'AMO. Après cette 1ère étape démontrant l'efficacité de cette solution technique, VALGO a également été retenu après l'Appel d'Offre concernant les travaux.

Des travaux préalables ont consisté au retrait de la cuve, à la purge des sables de neutralisation et au retrait du radier béton, en prévision des circulation d'air chaud. Une mission d'étude en géotechnique a conseillé le comblement de l'excavation par un béton autoplaçant réexcavable (béton maigre mise en place vibrée pour protéger les bâtiments). L'ancienne entrée principale des installations ayant été condamnée pour les travaux de construction, l'accès se faisait par une arrière-cour d'un immeuble.

2. Objectifs des travaux

La géologie sableuse avec quelques silex est favorable à l'implantation d'une chauffe par insufflation d'air chaud, ce qui nous a conduit à proposer des réchauffeurs électriques, répartis sur les têtes de puits et alimenté par un réseau de ventilation pulsée.
La zone était peu étendue et 15 aiguilles de chauffe, ainsi que 6 puits de venting ont été disposés pour optimiser l'extraction des polluants jusqu'à 6 m de profondeur. 2 puits de pompage ont servis à extraire les phases pures ; après séparation, les eaux ont été utilisées pour refroidir le condenseur des vapeurs de désorption thermique.
Pour adapter les réseaux aux conditions locales, VALGO a choisi de façonner en interne « à la demande » les tubes de l'installation.

3. Suivis

Outre l'exiguïté des locaux et des accès, ce chantier était soumis à une contrainte de suivi des effets collatéraux de la montée en température, sur les fondations du bâtiment où se déroulait le chantier, ainsi que sur les terrains supportant les bâtiments voisins, fondés moins profondément. Une étude par un bureau spécialisé a déterminé les températures maximales supportables par le bétons des piliers et, surtout, les gradients de température à ne pas dépasser. Un second expert en structure a également posé des capteurs sur les fondations du bâtiment, afin d'enregistrer les déformations éventuelles.
Grâce à la prise en compte en amont de ces contraintes et à la maîtrise des vitesses de chauffe, aucun dépassement des valeurs admissibles n'a été enregistré.

Afin d'assécher progressivement les sols, le venting a été démarré avant la chauffe, puis, à nouveau maintenu 3 semaines supplémentaires, après la période de chauffe, afin d'assurer un refroidissement de la masse, tout en sécurisant les rejets éventuels.

4. Résultats

L'écrémage des phases pures a été maintenu pendant toute la durée de la chauffe et a permis de récolter près de 800 L d'huiles, plus 2460 L de produit dissous, isolés dans le séparateur à hydrocarbures.
Les rejets fluides, eau et air, ont été surveillés en permanence.
Les gaz extraits par désorption, avant traitement, ont montré une augmentation des concentration s en hydrocarbures, pendant 3 mois, avant une chute importante, pointant le fait que les sources commençaient à tarir.
Les analyses de sol ont confirmé l'extraction des hydrocarbures avec une moyenne de 747 mg/kg pour l'ensemble des sondages, pour un seuil d'objectif à 2000. Seul un sondage présentait une valeur supérieure, due à la présence d'une canalisation d'eau froide dans ce secteur ayant entravé la chauffe. Cet élément constitue l'un des nombreux retours d'expérience acquis lors de ce chantier.

Adaptation de procédure de dépollution sous contrainte géotechnique forte

Laurent THANNBERGER*, Isabelle DEFFAIN**
*VALGO, Petit-Couronne ; **VALGO, Argenteuil – France

Mots clés : Traitement de fond de fouille, écrémage, venting
Objectifs : Modifier les objectifs de traitement, suite aux évolutions constructives d'un chantier en cours
Caractère innovant du projet : Les essais de traitement en laboratoire et sur site ont permis d'étayer une évolution de stratégie, changeant des objectifs fondés sur des seuils en objectifs fondés sur l'atteinte des asymptotes de traitement.

1. Contexte général

Près d'une gare de la banlieue parisienne, des travaux de réaménagement concernent la création de logements et de commerces. Les équipes de VALGO étaient déjà intervenues sur le site, pour le compte de l'ancien exploitant, gérant un dépôt de fuel ; un écrémage des hydrocarbures avait alors été réalisé, en 2015. Lors de la dernière phase du réaménagement actuel, VALGO a été mandaté par les co-promoteurs, pour gérer, en fonction de leur niveau de pollution, 41 000 t de terres, excavées pour la création d'un parking souterrain de 4 niveaux. Des prélèvements de fond de fouille à 10 m, ont ensuite montré des valeurs supérieures aux objectifs de dépollution, sur la base d'une étude théorique de mobilité des hydrocarbures dans les sols, et nécessitant une poursuite des travaux. La géologie montre des lits argileux, entrecoupés de blocs de marne de grandes dimensions (métrique, voire plus).

2. Objectifs des travaux

La commande initiale pour la poursuite des travaux portait sur une excavation jusqu'en limite de nappe, complétée par un écrémage des eaux de fond de fouille, en cas d'apparition de phase pure. Une étude géotechnique complémentaire a alors montré qu'une telle excavation, en fond de fouille, n'était pas compatible avec les contraintes géotechniques induites par le projet (fondations).

Une approche alternative a alors été construite sur la base d'essais en laboratoire.

3. Modification de la stratégie

Les essais en laboratoire ont porté sur une comparaison d'essais de venting en colonne, de biodégradation et d'oxydation. L'efficacité de l'oxydation a été confirmée comme très faible. Une nouvelle méthodologie de traitement en fond de fouille a été proposée et a conduit à la purge de quelques hotspots facilement accessibles, puis à la mise en place de 15 ouvrages d'écrémage (prof. 9 m) et 41 aiguilles de bioventing (prof. 4 m).
Une demande de modification des objectifs a été formulée auprès de la préfecture, étayée par l'ensemble des résultats d'essais.
Les nouveaux objectifs ne fixent plus de seuil, mais l'atteinte d'asymptotes de traitement, correspondant aux limites techniques des solutions apportées, dans les 3 zones majeures de pollution résiduelle.

4. Suivi et résultats

Les travaux d'écrémage et de ventilation des sols, commencés en septembre 2021, sont encore en cours, mais 770,56 L de produit pur avaient été écrémés sur la nappe fin janvier, et depuis le début du traitement on observe des abattements des concentrations en hydrocarbures volatils de 94,5 et 93,9 % sur les extracteurs de venting 1 et 2.

Injection Spin®: une solution de dépollution pour l'injection précise de réactifs dans un sol hétérogène à faible perméabilité

Jeroen Vandenbruwane[1] et Lionel Counet[2]

1.Injectis BVBA, Toekomststraat 15, B-9890 Dikkelvenne, Belgium
2.Injectis BVBA, Carrer Sant Miquel 41, 08320 Barcelona, Spain

Les sols à faible perméabilité posent de multiples défis pour la remédiation in situ. Ils représentent la majeure partie des complications des chantiers de dépollution avec de fréquents problèmes de rémanence, après traitement. Ils sont un enjeu crucial pour la dépollution lorsque l'excavation ne peut être mise en œuvre.

A ce jour, les techniques d'injections existantes rencontrent certaines limites dans ces types de sols. La principale cause est le manque de contact étroit entre les polluants et les réactifs, facteur de réussite du traitement et donne par conséquent des résultats contestables.

La principale limite des injections par puits d'infiltration, outre sa lenteur, est liée à une mauvaise distribution dans le sol, qui se fait principalement au travers d'un nombre limité de canaux perméables, ce qui conduit à un traitement incomplet via uniquement des voies préférentielles. Quant à la méthode d'injection *direct push*, elle permet d'obtenir une meilleure distribution des réactifs par rapport aux puits d'infiltration. En effet, du fait d'être injectés sous pression via une petite ouverture dans la tige d'injection, les réactifs peuvent pénétrer de manière homogène sur tout un horizon à traiter, surtout si celui-ci est perméable et homogène, lui aussi. Cependant, le direct push rencontre de multiples limites pour l'injection en milieu peu perméables.

Premièrement, le contact entre polluant et réactifs n'est pas optimal. En effet, en raison de la forme du cône d'injection, le sol est compacté à proximité directe de la pointe d'injection, ce qui réduit considérablement la perméabilité hydraulique. Pour contrecarrer cet effet, des pressions d'injection plus élevées sont nécessaires et ainsi obtenir des débits exploitables. Ces pressions plus élevées peuvent donner lieu à la création de fractures ou des chemins d'écoulement préférentiels. Et dans certains cas, ce chemin d'écoulement préférentiel peut entraîner ce que l'on appelle un *daylighting* (fracturation) ou un *blowouts* (éclatement). Deuxièmement, sans savoir où le produit injecté pénètre réellement dans le sol environnant, une quantité non négligeable de produits peut être rapidement gaspillé, suite par exemple, à des remontées importantes de produits. Troisièmement, le *Direct push* nécessite des machines lourdes pour permettre la poussée de la tige d'injection dans le sol, ce qui empêche l'utilisation de la technique dans les zones à traiter difficile d'accès : entreprise en exploitation, hauteur sous plafond insuffisante, sous-sols, etc.

Pour ces différentes raisons, les technologies basées sur des injections « traditionnelles » ne sont souvent pas utilisées dans les sols à faible perméabilité ou, lorsqu'elles sont utilisées, donnent souvent de mauvais résultats d'assainissement. Dans ces sols, les seules alternatives, telles que l'excavation ou la désorption thermique in situ, sont très invasives et coûteuses d'un point de vue économique mais aussi environnemental. Les technologies basées sur l'injection sont plus rentables et moins intrusives lorsque les solutions d'injection peuvent être distribuées uniformément dans le sous-sol.

Pour contourner les limites d'injection traditionnelle, Injectis a développé et breveté une technique d'injection directe innovante : la technologie Spin®. Cette nouvelle technologie a été testée intensivement depuis 4 ans et a été utilisée pour injecter avec succès différents types de réactifs sur

différentes pollutions (HCOV, HM, BTEX, CrVI, PFAS…) et configurations de sites pollués. Les chantiers réalisés ont prouvé l'efficacité incontestable de la technologie. De plus en plus appelé sur des chantiers déjà traités par des injections « classiques » qui n'ont pas pu rencontrer les objectifs de dépollution, Injectis réponds aux attentes en pouvant injecter à des pressions plus basses et évitant les courts-circuits dans des chemins préférentiels.

Par ailleurs, la technologie Spin® a été équipée d'un système d'enregistrement continu de la pression, du débit, du volume et génère une mesure en direct de la conductivité hydraulique de la couche de sol. Ceci permet le contrôle en continu de la perméabilité du sol tout au long du forage et ainsi adapter les pressions pour permettre une injection homogène, malgré un sol hétérogène, s'adaptant à la perméabilité des horizons traversés et injectant les volumes adéquats juste là où se trouvent les polluants. Outre l'amélioration de l'efficacité de dépollution grâce à un contact optimal entre polluants et réactifs, la technologie permet de limiter au maximum le gaspillage des réactifs et permet une économie importante des coûts de traitement.

Dans cette présentation, nous expliquerons en détails la technologie, les limites contrecarrées et ses autres avantages mais aussi certaines de ses limites, tout cela au travers d'études de cas dans lesquels les injections innovantes Spin® ont été appliquées. Enfin, à l'heure où les impacts environnementaux sont également un enjeu majeur pour les années à venir, Injectis mettra en lumière l'aspect environnemental au travers de sa présentation, par rapport aux techniques conventionnelles afin d'éveiller les consciences des acteurs du secteur sur cet aspect qui doit plus que jamais aujourd'hui faire partie intégrante des choix de techniques de dépollution.

Thermoreact® - An innovative remediation product for In situ neutralization of halogens, sulphur, phosphorus and mercury during thermal desorption

Jan Haemers, Directeur général - Haemers Technologies (Belgique)

During In Situ Thermal Desorption, polluted soil (generally with TPH, PAH, Mercury, chlorinated solvents, etc.) is heated until vaporization of target contaminants is reached out of the soil. This results in the vaporisation of those pollutants, which are then drawn through perforated steel tubes, called vapor tubes, surrounded by gravel acting as a draining medium preventing the clogging of the tube perforations (by fine particles, sludge, etc). These recovered vapours are then either treated in a vapour treatment unit or re-injected into the flame (in case of hydrocarbon pollution and heating with smart burners).

In many cases, the pollutants to be treated in the soil are accompanied by other process-disturbing elements (such as phosphorus, sulphur or halogenated compounds like chlorine). The heat causes the vaporization of many chemical compounds, including those disruptive compounds that are conducted through the porous medium to the extraction wells. The problem with these disruptive compounds is that in some cases they become very corrosive and therefore tend to destroy equipment and render the remediation technology less effectively. Additionally, if not treated, they can cause non compliant air emissions as well.

Thermoreact® is an innovative product that replaces the conventional gravel around vapour tubes. The product allows for in-situ neutralization of the vapors before exiting the soil pack, reducing the treatment requirements and saving substantial treatment costs overall.

Its composition varies in function of the pollutants present in the soil in order to always obtain the best neutralization reaction while keeping permeability at the required level for proper vapor extraction.

The producs of said neutralization are inert minerals that can be left in the soil, making In Situ Thermal Desorption a truly zero-waste treatment for many more contaminants than is currently the case.

The paper presents the results of various tests and cases where In Situ Thermal Desorption has been adapted to use Thermoreact® instead of conventional gravel. Before and after results are compared (example below of In Situ sulphur captation)

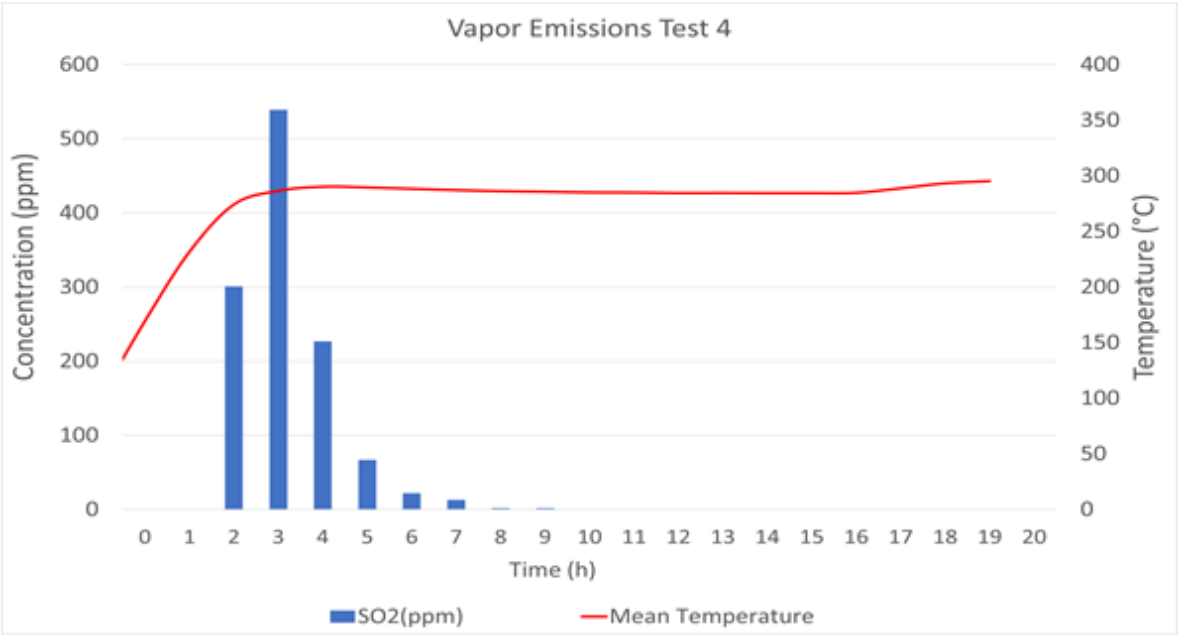
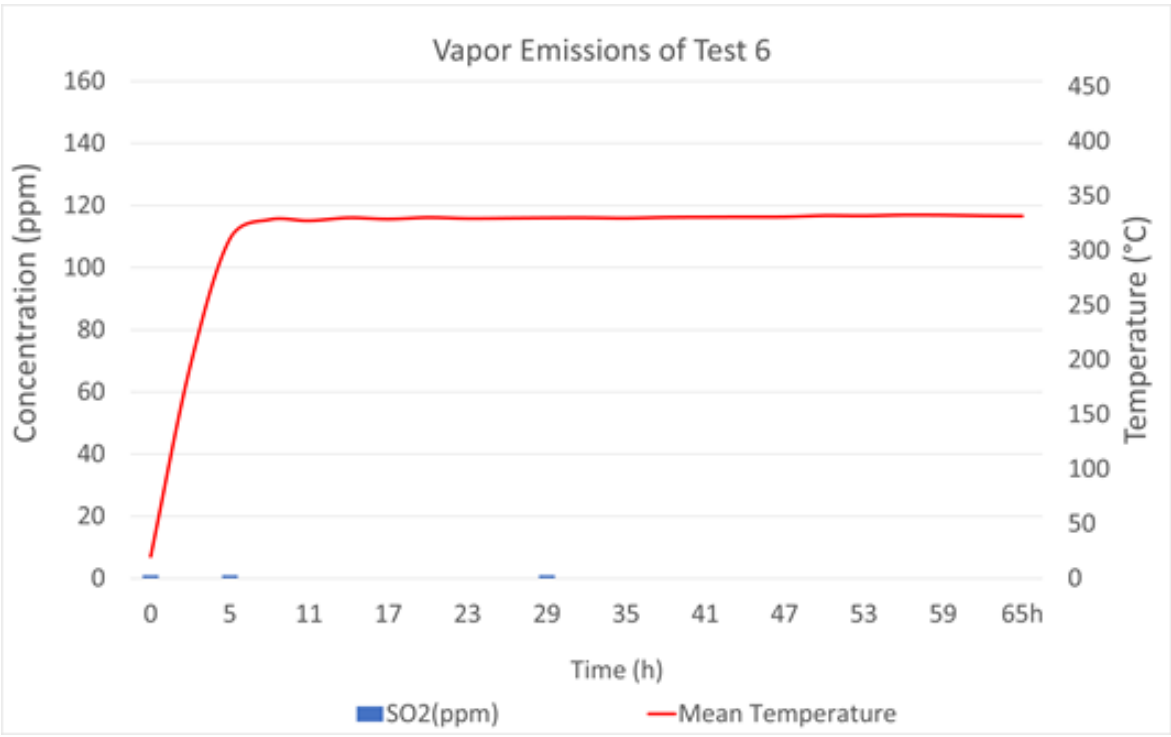


Figure 1: Vapor analysis with conventional gravel



Réhabilitation d'un site industriel pour faire face aux enjeux de santé de demain
Rehabilitation of an industrial site to meet the health challenges of tomorrow

SUEZ RR IWS Remediation France (SARPI-VEOLIA), 17, Rue du Périgord - 69330 MEYZIEU
Intervenant : Le Blanc Pierrick – Directeur Adjoint – Territoire Sud Est
Email : pierrick.le-blanc@veolia.com

En France, dans la région Auvergne-Rhône-Alpes, SUEZ a accompagné Sanofi dans la conception et la mise en œuvre d'un vaste chantier de réhabilitation des sols et des nappes.

Contexte :
Sanofi bénéficie d'un ancrage fort au sein de la métropole lyonnaise, territoire d'excellence dans les sciences du vivant. Avec des investissements stratégiques, l'entreprise biopharmaceutique y prépare aussi son avenir pour faire face aux enjeux de santé de demain.

Parmi ces activités figure le site de Neuville-sur-Saône ayant opéré en quelques années un véritable tournant : après avoir été une usine de procédés chimiques pendant 150 ans, celui-ci est devenu fin 2013 un haut-lieu de la production biotechnologique de vaccins.
Pour cela, les équipes ont réinventé le site, en réalisant depuis 2012 le démantèlement, la démolition des anciens bâtiments industriels. Dans le cadre de cette reconversion, SUEZ a apporté son savoir-faire dans la réhabilitation d'une parcelle d'une superficie de 3,5 hectares.

SUEZ a mobilisé une équipe de 20 personnes sur ce projet d'une durée de 30 mois.

La réhabilitation d'un site s'appuie sur un processus rigoureux composé de plusieurs étapes-clés, dont une phase de diagnostic et analyse visant à définir les solutions adaptées pour le traitement des composés chimiques en présence (solvants, acétone, alcool…) et concevoir un plan de travaux spécifique.

Après la démolition des infrastructures existantes (dalles, fondations de bâtiments…) et le tri des matériaux, une partie des terres a été excavée, sur une profondeur allant parfois jusqu'à 7 mètres. En fonction des solutions à mettre en œuvre, les terres ont équitablement fait l'objet d'un traitement in situ - avec 6 tentes de confinement de 14 000 m^2 déployées pour assurer le terrassement, le stockage et le traitement - ou d'un traitement hors site vers des filières agréées. Le tout, dans le respect des normes sanitaires et environnementales en vigueur.





3 unités de traitement d'eau ont également été mises en place afin d'assurer la gestion des effluents collectés sur site, avant rejet contrôlé en milieu naturel.

En fonction des substances identifiées, les terres sont triées, traitées et orientées vers des filières de valorisation ou d'élimination. Dans le cadre de ce projet, plus de 80 000 tonnes ont été traitées, puis acheminées vers nos plateformes NEOTER® permettant le réemploi en matériaux alternatifs, valorisées en cimenterie ou encore éliminées via le procédé de désorption thermique.

Enfin, conformément au nouveau projet de Sanofi, près de 70 000 tonnes de remblais et environ 15 000 tonnes de terres végétales ont permis de réaménager le site ayant fait l'objet des travaux d'excavation.

State-of-the-art site characterization methods applied to support the design of pilot remediations in the RESANAT project

Pieter Buffel – Team Manager EnISSA
Gorislaan 49
1820 Steenokkerzeel
Belgium
tel 0032 2 759 59 30 mobile 0032 471 81 71 39
www.enissa.com – pieter.buffel@enissa.com

RESANAT is an Interreg funded project with the goal to refine nature based remediation techniques for PAHs and oil. In RESANAT, seven small and large companies from the Netherlands and Flanders work together with Deltares and OVAM to stimulate the redevelopment of contaminated sites in the Netherlands and Flanders.

Three sites contaminated with PAH's like tar or creosote, are selected for pilot remediations. These contaminants are Dense non-aqueous phase liquids or DNAPL's. DNAPL's are known to be a major challenge in both the investigation and remediation of soil and groundwater contamination. Due to the heterogeneous geology of the subsoil with subtle variations in properties that control the distribution of the contamination, source and plume zones of DNAPL contamination often follow a very erratic course. To design an effective remediation, detailed information on the presence and distribution of the contamination is therefore a first key aspect
The distribution of DNAPL's is largely determined by the heterogeneous geology of the subsoil with subtle variations in properties influencing the migration pathways. When based on insufficient data points, uncertainties quickly creep into the Conceptual Sound Model (CSM) and the risk of incomplete, incorrect characterization and missing the contaminant plume is substantial. Detailed and reliable information on the contamination is a key aspect to design an effective remediation.

During initial remediation design and operation at all three pilot sites, information on subsurface and the groundwater contamination has been collected with conventional characterization methods. However, to efficiently design and optimize the biostimulation approach, a thorough understanding of the DNAPL distribution and dynamics, as well as the site hydrogeology was essential.

Today's site characterization toolbox also features High Resolution Site Characterization (HRSC) methods. In situ screening methods like MiHPT (Membrane Interface Probe + Hydraulic Profiling Tool) or OIP (Optical Image Profiler) are designed to provide higher data densities with a scale of measurement that is adopted to the scale of the geologic variations and resulting contaminant distribution. Those Modern HRSC tools can enhance the data density in soil and groundwater investigations which is essential for the design of reliable solutions.

EnISSA's compound specific MIP detection, HPT and OIP soundings are conducted at the three pilot pilot sites. The EnISSA-MIP measurements were applied to investigate the presence of BTEX and Naphthalene in the groundwater plume. By the smart combination of MIP with a field deployed GC-MS high resolution measurements of VOCs in soil and groundwater allow a clear picture of the distribution of the groundwater plume. These data, in addition to a clear insight into the diffusion pathways, formed the basis for the identification of the intervals for flux measurements.

To identify the source zone, OIP soundings are performed to investigate the presence of creosote or coal tar. The Optical Image Profiler (OIP) is a new direct push tool that allows continuously detection of PAHs with depth. It consists of a 275 nm UV LED or a 525 nm green laser diode coupled with a

CMOS camera behind a saphire window. The light source induces fluorescence of PAH molecules. Every 1,5 cm a picture is taken by the camera capturing the fluorescent light. The images are analyzed with digital filters and a percentage of fluorescent pixels present in each image is calculated and logged with depth. All results were visualized into a 3D model.

EIFFAGE GAUTHEY



Innovations en matière d'essais pilotes de traitement sur site

On-site treatment testing innovations

Guillaume BOITOUT – Chef de projets – EIFFAGE Génie Civil Infra Linéaires GAUTHEY
guillaume.boitout@eiffage.com – 06 46 43 41 35

Contexte et objectifs

La méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués a évolué en 2017 avec l'introduction d'un outil devant sécuriser en amont la phase travaux : le Plan de Conception des Travaux (PCT).

Le PCT regroupe toutes les études nécessaires à la rédaction du cahier des charges pour la consultation des entreprises de travaux. Afin d'acquérir des informations indispensables au dimensionnement puis à la mise en œuvre des techniques de dépollution in-situ ou sur site identifiées au stade du Plan de Gestion, des essais pilotes de traitabilité sur site sont nécessaires.

Les objectifs de ces essais pilotes sont les suivants :

- Vérifier que les techniques de dépollution envisagées au stade du Plan de Gestion sont adaptées aux caractéristiques du site ;
- Vérifier l'efficacité de la technique ;
- Acquérir des données fiables en nombre suffisant afin de dimensionner les installations de traitement à grande échelle.

Afin de pouvoir répondre à ces objectifs, et surtout au dernier point qui est le plus crucial, Gauthey a créé et breveté des unités pilotes spécialement adaptées pour la réalisation d'essais sur les techniques suivantes :

- Venting et sparging ;
- Biotertre (biodégradation aérobie).

The French National methodology for contaminated soils management changed in 2017 with the introduction of a utility that must secure upstream the remediation phase : the remediation design plan (Plan de Conception des Travaux - PCT).

The remediation design plan brings together all the studies required for the writing of the specifications and then the consultation of remediation companies. In order to acquire essential information for scaling and then application of the in-situ or on-site remediation scenarios identified at the Remediation Plan stage (Plan de Gestion – PG), on-site treatability tests are necessary.

These on-site treatability tests aim at :

- *Check that remediation scenarios considered at the Remedition Plan (PG) stage are suitable to the site specifications ;*
- *Check the remediation efficiency ;*
- *Acquire a sufficient number of reliable data to dimension large-scale remediation facilities.*

In order to be able to meet these objectives, and especially the last point which is the most crucial, Gauthey has created and patented on-site remediation pilots specially adapted for testing the following techniques :

- *Venting and sparging ;*
- *Bioreactor (aerobic biodegradation).*



Innovations GAUTHEY

Venting / Sparging



Gauthey a conçu et breveté une unité mobile permettant la réalisation d'essais pilotes de venting et sparging in-situ. Facile à mettre en œuvre, cette unité directement installée sur remorque comporte l'ensemble des matériels nécessaires à la réalisation d'essais.

La présence d'un automate sur notre remorque d'essai nous permet un enregistrement en continu des dépressions sur chacun des puits (munis de capteurs), et du débit et de la température au droit du puits d'extraction. Nous nous affranchissons ainsi des incertitudes de mesures qui sont généralement dues à l'ouverture des puits de contrôle lors de la prise de mesures manuelles. Cela nous permet de déterminer de manière beaucoup plus fine les interactions pouvant avoir lieux entre les puits de contrôle et le puits d'extraction, et donc de définir plus précisément les paramètres de fonctionnement pour le traitement à grande échelle.

Gauthey has designed and patented a mobile remediation unit for in-situ venting and sparging tests. Easy to implement, this unit directly set on a trailer has all necessary equipment for the performance of tests.

The presence of a PLC (Programmable Logic Controller) on our test trailer allows us to continuously record vacuum on each control well (equipped with sensors), air flow and temperature of the extraction well. This eliminates the uncertainties of measurements that are usually due to the opening of control wells when manual measurements are taken. This allows us to determine much more precisely the interactions that may occur between the extraction well and the control wells, and thus to define more accurately the operating parameters for large-scale remediation.

Biotertre / Bioreactor



Gauthey a conçu et breveté des unités mobiles permettant la réalisation d'essais pilotes de biodégradation dynamisée dans les conditions réelles du site.

Chaque unité est composée d'une cuve métallique de capacité $1m^3$. Chaque cuve est équipée de drains pour l'extraction des gaz et l'injection d'air ou éventuellement d'amendement (nutriments azote N, phosphore P, potassium K sous forme d'engrais liquide).

Un tableau électrique est présent sur chaque cuve et est géré par un automate assurant le bon fonctionnement de l'unité. La présence de capteurs (température, O_2, CO_2, vitesse des flux entrants et sortants) permet la collecte automatique de données fiables afin de déterminer les paramètres optimaux de fonctionnement du biotertre.

Gauthey has designed and patented mobile remediation units for boosted biodegradation under real site conditions.

Each unit is composed of a $1m^3$ metal tank. Each tank is equipped with drains for the extraction of gases and the injection of air, or optionally of soil improvers (nutrients nitrogen N, phosphorus P, potassium K with liquid fertilizer).

An electrical panel is present on each tank and is managed by a PLC (Programmable Logic Controller) ensuring the proper operation of the unit. The presence of sensors (temperature, O_2, CO_2, incoming and outgoing air speed) enables the automatic collection of reliable data to determine bioractor optimal operating parameters.

Mérieux NutriSciences



METABARCODING PIPELINE

1 PRÉLÈVEMENT

2 ANALYSES ADN

3 ANALYSES BIO-INFORMATIQUES

4 ANALYSES ENVIRONNEMENTALES/ AGRONOMIQUES

Mérieux NutriSciences est un laboratoire expert dans les analyses de sol:

- Caractéristiques **granulométriques et nutriments**
- **Analyses des polluants**
- **Nouvelles techniques de séquençage de l'ADN**
- Etudes de cas pour la **bioremediation** des sols: métabarcoding et analyses chimiques
- Consultant en **développement durable pour les sols agricoles**

DÉCOUVREZ NOTRE SITE WEB

Jeudi 23 juin 2022 / Thursday June 23, 2022

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

Sols et enjeux climatiques / Soils and climatics issues
Modératrice : Souhir Soussou, Directrice - Fertil'Innov Environnement

09h20
La biodégrabilité comme moyen de prévenir et traiter les sols pollués / Biodegradability as a way to prevent and remediate soil pollution
Sylvain Mourard, Responsable Commercial France – Eau & Environnement, Mérieux NutriSciences France

09h40
Nouvelles expérimentations pour déterminer l'effet des variations du niveau piézométrique sur la mobilisation des contaminants pétroliers légers (LNAPLs) dans les sols et les nappes phréatiques dans le contexte du changement climatique / New experimentations to assess the effect of groundwater level fluctuations on light petroleum contaminants (LNAPLs) mobilization in contaminated soils and groundwaters in the climate change context
Amélie Cavelan, Post-Doc - Université de Lorraine

10h00
La création de terres fertiles sur chantier d'espaces publics comme démarche de réemploi matière et de réduction des émissions carbone des projets urbains / Creation of fertile soils in urban development works: a sustainable approach towards beneficial reuse of materials and carbon emission reductions of urban projects
Antoine Faure, Ingénieur matériaux et économie circulaire - Setec Lerm

10h20
Pause café / Coffee break

10h40
Etude de l'empreinte carbone d'un chantier type de dépollution des sols – source d'optimisation par la régénération de charbon actif sur site / Study of the carbon footprint of a typical soil remediation – source of optimization through the regeneration of activated carbon on site
Maxime Emery, Gérant associé - Aircovery

11h00
Influence du changement climatique sur les transferts de pollutions volatiles du sol vers l'air intérieur / Influence of climate change on the transfer of volatile pollution from soil to indoor air
Sylvie Traverse, Directrice de projets – Ginger Burgeap

11h20
Le cas du bassin versant de la Vesdre au regard du changement climatique / The case of the Vesdre watershed regarding climate change
. Martina Barcelloni Corte, Architecte, Professeure d'Urbanisme du Paysage – Université de Liège, Faculté d'Architecture (Belgique)
. Joël Privot, Directeur associé – Tellus & Architecte-Urbaniste et Environnementaliste – Assistant à l'Université de Liège – Faculté de Sciences Appliquées (Belgique)

11h40
Discussions - Pitch exposants / Discussions / Exhibitors pitches

Enjeux et risques sanitaires, environnementaux et socio-économiques / Health, environmental and socio-economic issues and risks
Modérateur : Sylvain Mourard, Responsable Commercial France - Water & Environment - Mérieux NutriSciences

12h00
Enjeux sanitaires : comment le juge prend en compte la santé environnementale ? / Health issues: how does the judge take environmental health into account?
Louise Tschanz, Avocate spécialiste en droit de l'environnement – Kaizen Avocat

12h20
Enjeux des certifications sites et sols pollués / Standardized remediation steps and related issues
Marie-Léonie Vergnerie, Avocat associée – Fieldfisher

12h40
ERP sensibles (école, crèches) & habitations et diagnostics, évaluation des risques toxicologiques et traitements des PFAS, notamment les FTOH : Fluorotélomère-Alcools volatils / Public sites use scenarios (schools, kindergartens) & residences and site investigations, toxicological health risk assessments and treatments of PFAS, especially volatile FTOH: Fluorotelomere Alcohols
Frank P.M. Karg / President-CEO - HPC International France & Scientific Director - HPC AG Group Europe (Inogen)

13h00
Déjeuner / Lunch

14h00
Outil de calcul de risques sanitaires préliminaires facile d'utilisation pour la classification de sites pollués requérant une réhabilitation / Easy-to-use preliminary health risk calculation tool for the classification of polluted sites requiring remediation
Rosana Moraes, Consultant senior en environnement - WSP

14h20
Caractérisation des risques sanitaires et environnementaux dans le cadre de la remédiation d'une friche industrielle par le phytomanagement : projet ECOPOLIS / Health and environmental risk assessment in the context of the remediation of an urban wasteland by phytomanagement: the ECOPOLIS project
Benjamin Pauget, Responsable R&D - Tesora

14h40
Projet TRIPODE : TRIADE, transférabilité de la norme, sols pollués et évaluation des risques pour les écosystèmes / TRIPODE project : TRIADE, transferability of the standard, polluted soils and ecosystems risk assessment
Nicolas Manier, Ingénieur Etudes et Recherche – INERIS

15h00
Monitoring en continu des COV totaux et prélèvement automatisé en sites et sols pollués / Continuous monitoring of total VOCs and automated sampling at polluted sites and soils
Laurent Rémy, Business Development Manager - Ecomesure

15h20
Pause café / Coffee break

15h40
Quantification de la dispersion des contaminations de l'eau souterraine vers les eaux de surface par mesure directe des flux / Quantification of the dispersion of contamination from groundwater to surface water by direct measurement of flows
Erik Bosmans, Project Manager – iFlux (Belgique)

16h00
PFAS – Analyse de niveau supérieur / PFAS – Higher analytical level
Oliver Buchholz, Country Manager France – SGS Environmental Analytics B.V.

16h20
Notre approche sécuritaire pour gérer les sites pollués est-elle toujours « durable » ? / Is our security approach to manage polluted sites always "sustainable"?
Julien Toutain, Responsable de domaine SPID – SCE

16h40
Retour d'expérience : définition d'une stratégie optimale de valorisation sur site et de traitement de terres contaminées par des produits pyrotechniques, chimiques et radioactifs naturels / Case study: Selecting the optimal strategy for on-site recovery and treatment of soil contaminated by pyrotechnic, chemical, and natural radioactive compounds
Séverine Permingeat, Chargée d'activité Nucléaire/Radioactivité - Curium

17h00
Discussions

17h30
Fin de la troisième journée / End of Day of Three
Fin du congrès / End of the congress

BIODEGRADABILITY AS A WAY TO PREVENT AND REMEDIATE SOIL POLLUTION
LA BIODÉGRADABILITÉ COMME MOYEN DE PRÉVENIR ET DE TRAITER LA POLLUTION DES SOLS

Sylvain MOURARD
Responsable Commercial France - Water & Environment
sylvain.mourard@mxns.com

Mérieux NutriSciences Italia
Rag. Soc. Chelab S.r.l.
Europarc Ste Victoire Bat 1
1 route de Valbrillant |13590 Meyreuil
France
Tel. +33 (0) 684 63 69 49

INNOVATION: The use of safe chemicals is required from European "Chemicals Strategy for Sustainability Towards a Toxic-Free Environment": Biodegradability can be a new way to act for the future years both for prevention and remediation of polluted soils.

KEYWORDS: Sustainable chemicals, minimize impacts, biodegradable mulch films, bioremediation, microorganisms.

GOALS: To demonstrate that prevention and remediation is possible thanks to new technologies which are based on natural processes like biodegradability.

BIODEGRADABILITY AS A WAY TO PREVENT AND REMEDIATE SOIL POLLUTION

In the European "Chemicals Strategy for Sustainability Towards a Toxic-Free Environment", dated 2020, we find a very clear toxic-free hierarchy: before all there is the production and use of safe and sustainable chemicals, then the minimization and control of the use and the exposure, and then the elimination and remediation of the chemical pollution from the environment. Chemical pollution is described in the document as one of the key drivers for climate change, degradation of ecosystems and loss of biodiversity.

In the philosophy of this strategy we would like to highlight two main points: "prevention" and "remediation". We find the concept of prevention in the call for minimizing the impact on the environment due to anthropic activities; with "remediation" then, the strategy direct us to the depollution with "safe and clean" solutions. These concepts can be declined in particular to soils: we will show how biodegradability can be useful to act in this direction.

Prevention: biodegradable mulch films

Focusing on soils, an example of prevention can surely be the use of mulch films in agriculture. A mulch film is used in fields and gardens in order to reduce the presence of weeds. It is placed on the soil around the plants to be cultivated, preventing unwanted grasses from growing. The film also improves the general growing conditions, as it reduces evaporation, the onset of fungal diseases and it can facilitate photosynthesis in the cultivated plant thanks to the reflected light. The use of these films prevent from the use of chemical pesticides, or help to reduce it.

In recent years, mulch films are also manufactured in biodegradable materials: traditional plastic ones must be disposed in landfills and in the worst-case scenario, you can see illegal burning and storage in the open

field or, with the risk of dispersion of microplastics in the soil. On the contrary, biodegradable mulch films are designed to be ploughed into the soil and degraded by microorganisms naturally present in it.

In January 2018, the European specific standard for biodegradable mulching sheets, EN 17033, was published. It lists the requirements for biodegradable plastic films for mulching: their composition, biodegradability in soil, the effect on the "soil system", together with the mechanical and optical properties. The application of this standard helps to verify the use in soil of a product that really can meet the expected characteristics and help preventing soil pollution.

Remediation: bioremediation

Bioremediation involves the use of microorganisms able of processing pollutants in a site through their metabolism, breaking them down into innocuous substances.

This last point is very connected to our topic: in the EU Strategy there is a call for remediation of the polluted environments, explicitly. Bioremediation has this goal, as it involves the use of microorganisms able of processing pollutants in a site through their metabolism, breaking them down into innocuous substances. It can be applied to polluted soils and water and it does not require the addiction of supplementary chemical substances.

Before using a specific bioremediation strategy, a simulation test can be conducted, to investigate if the chosen approach is really able to biodegrade the undesired chemicals.

LA BIODÉGRADABILITÉ COMME MOYEN DE PRÉVENIR ET DE TRAITER LA POLLUTION DES SOLS

Dans la « Chemicals Strategy for Sustainability Towards a Toxic-Free Environment » européenne, datée de 2020, on retrouve une hiérarchie très claire du toxic-free: il y a avant tout la production et l'utilisation de produits chimiques sûrs et durables, puis la minimisation et le contrôle des l'utilisation et l'exposition, puis l'élimination et le traitement de la pollution chimique dans l'environnement. La pollution chimique est décrite dans le document comme l'un des principaux moteurs du changement climatique, de la dégradation des écosystèmes et de la perte de biodiversité.

Dans la philosophie de cette stratégie, nous voudrions souligner deux points principaux : la « prévention » et la « remédiation ». On retrouve le concept de prévention dans l'appel à minimiser l'impact sur l'environnement dû aux activités anthropiques ; avec « remédiation » ensuite, la stratégie nous oriente vers la dépollution avec des solutions « sûres et propres ». Ces concepts peuvent être déclinés notamment aux sols : nous montrerons comment la biodégradabilité peut être utile pour agir dans ce sens.

Prévention : films de paillage biodégradables

En se concentrant sur les sols, un exemple de prévention peut certainement être l'utilisation de films de paillage en agriculture. Il est utilisé dans les champs et jardins afin de réduire la présence de mauvaises herbes. Il est placé sur le sol autour des plantes à cultiver, empêchant la croissance des herbes indésirables. Le film améliore également les conditions générales de croissance, car il réduit l'évaporation, l'apparition des maladies fongiques et il peut faciliter la photosynthèse de la plante cultivée grâce à la lumière réfléchie. L'utilisation de ces films évite l'emploi de pesticides chimiques, ou contribue à les réduire.

Depuis quelques années, les films de paillage sont également fabriqués dans des matériaux biodégradables : ceux en plastique traditionnels doivent être jetés dans des décharges et dans le pire des cas, on peut assister à des brûlages et stockages illégaux en plein champ ou, avec risque de dispersion de microplastiques dans le sol. Au contraire, les films de paillage biodégradables sont conçus pour être enfouis dans le sol et dégradés par les micro-organismes naturellement présents dans celui-ci.

En janvier 2018, la norme spécifique européenne pour les films de paillage biodégradables, EN 17033, a été publiée. Elle liste les exigences des films plastiques biodégradables pour paillage : leur composition, leur biodégradabilité dans le sol, l'effet sur le « système sol », ainsi que les propriétés mécaniques et optiques. L'application de cette norme permet de vérifier l'utilisation dans le sol d'un produit qui peut réellement répondre aux caractéristiques attendues et contribuer à prévenir la pollution des sols.

Remédiation : bioremédiation

La bioremédiation implique l'utilisation de micro-organismes capables de traiter les polluants d'un site par leur métabolisme, en les décomposant en substances inoffensives.

Ce dernier point est très lié à notre sujet : dans la stratégie de l'UE, il y a un appel à la remédiation des environnements pollués. La bioremédiation a cet objectif, car elle implique l'utilisation de micro-organismes capables de traiter les polluants d'un site par leur métabolisme, en les décomposant en substances inoffensives. Il peut être appliqué sur des sols et des eaux pollués et ne nécessite pas l'ajout de substances chimiques supplémentaires.

Avant d'utiliser une stratégie de bioremédiation spécifique, un test de simulation peut être effectué pour déterminer si l'approche choisie est réellement capable de biodégrader les produits chimiques indésirables.

Amélie Cavelan
Postdoctoral researcher - LIEC - University of Lorraine

LIEC
Université de Lorraine
Faculté des Sciences et Technologies
Bd des Aiguillettes,
54506 Vandoeuvre-lès-Nancy, France
amelie.cavelan@univ-lorraine.fr

New experimentations to assess the effect of groundwater level fluctuations on light petroleum contaminants (LNAPLs) mobilization in contaminated soils and groundwaters in the climate change context

Amélie Cavelan [1], Stéfan Colombano [2], Hossein Davarzani [2], Jacques Deparis [2], Catherine Lorgeoux [3], Anne-Julie Tinet [3], Constantin Oltean [3], Noële Enjelvin [4], Fabrice Golfier [3], Pierre Faure [1]

Keywords: Groundwater, LNAPL, Climate change

Context: Light-non-aqueous phase liquids (LNAPLs) are an important source of soil and groundwater pollution worldwide but their remediation remains complex and not always successful. At contaminated sites, significant fluctuations of the soil bio/geochemical properties and spatial-temporal variations of the pollutant saturation occur, depending on the LNAPL phase (pure phase above the groundwater, dissolved plume, residual droplets). Hence, the real pollutant soil saturation often differs from the LNAPL thickness measured in monitoring wells, and gaps exist between results from modeling and site monitoring. Furthermore, the multiple imbibition/drainage cycles caused by seasonal (or pump-induced) groundwater level variations also affect the spreading of the contaminants across the soil, favoring the LNAPL release to the air and groundwater. The relation between the groundwater variation dynamic and the LNAPL mobilization mechanisms needs to be further understood, especially in the climate change context where increased groundwater fluctuations are expected (increasing groundwater use, extreme events, changes in precipitation, and recharge patterns).

Objectives and novelty: In this context, we present a new experimental system combining geophysical (electrical conductivity and permittivity), *in-situ* physical-chemical (pH, temperature, RedOx), and geochemical monitoring (gas and water analysis: µGC, GC-MS, COD) of two soil columns ($2m^3$) contaminated by diesel fuel during different climatic scenarios to assess the effect of groundwater level fluctuations on light petroleum contaminants (LNAPL) mobilization in the climate change context. One of the scenarios is based on regional climate records of precipitations and groundwater table fluctuations intensity while the other is based on the most extreme IPCC climate predictions. This work aims to introduce an intermediate scale between laboratory experiments and the real complexity of contaminated sites to meet two major objectives: (i) evaluate and compare the different monitoring methods that can be used at contaminated sites. (ii) Allow a better characterization and prediction of the LNAPL dynamics at contaminated sites in current and future climatic conditions. This project will make it possible to strengthen the recommendations concerning the characterization and monitoring programs for hydrocarbons polluted sites.

First results: The first months of monitoring reveal for example a decrease in the floating LNAPL thickness in monitoring wells as the groundwater table fluctuates, suggesting a spreading of the pollutants through the fluctuation zones. This phenomenon is accompanied by an increase in the gaseous surface emissions, especially for the most extreme scenario. This indicates a more important LNAPL remobilization towards the gas phase under climate change

[1]Université de Lorraine, CNRS, LIEC, France ; [2]BRGM, France ; [3] Université de Lorraine, CNRS, GeoRessources, France ; [4] Université de Lorraine, INRAE, LSE, GISFI, France

conditions. Water samples analyses (GC-MS, DOC) and geophysical data processing should soon lead to a better understanding of the effect of the intensity of groundwater table fluctuations on LNAPLs mobilization processes in the climate change context. These results will be presented to show the potential of the device and the first conclusions will be given about the effect of climate change on LANPL mobilization processes at contaminated sites.

Acknowledgements: This work is partly funded by the DEEPSURF project "Lorraine Université d'Excellence", ANR-15-IDEX-04-LUE". The authors thank the GISFI for providing field site devices at the experimental station in Homécourt and the technical staff (Cyrielle Bonne et Fabien Domptail).

LA CREATION DE TERRES FERTILES SUR CHANTIER D'ESPACES PUBLICS COMME DEMARCHE DE REEMPLOI MATIERE ET DE REDUCTION DES EMISSIONS CARBONE DES PROJETS URBAINS

Antoine FAURE[1,*], Arnaud BONNEVILLE[2,*], Lina BOUVET[3,*], Christophe SABATIER[4], Isabelle MOULIN[1], Stéphane MOUTOT[2,4] et François PIGAUX[3]

[1] setec lerm, F-13631 Arles, France.
[2] setec international, F-13127 Vitrolles, France.
[3] setec énergie-environnement, F-75012 Paris, France.
[4] setec als, F-69006 Lyon, France.

* Orateurs et correspondants :
antoine.faure@setec.com, arnaud.bonneville@setec.com et lina.bouvet@setec.com
(ingénieurs Groupe setec)

Abstract

Contexte et objectifs
Les projets urbains génèrent d'importants besoins en fourniture extérieure de terre végétale pour l'aménagement des espaces publics et extérieurs privés. Au niveau des fosses d'ensemencement et de plantation, le sol doit être fertile du point de vue physique, chimique et agronomique, de sorte à pouvoir procéder à la végétalisation.
L'enjeu est particulièrement prégnant sur les projets de reconversion de friches industrielles dont les terres ont été rendues stériles par l'artificialisation des sols et l'activité humaine exercée pendant plusieurs décennies.
A l'échelle d'un chantier, la création de terre fertile par réemploi de terres inertes du site, mélangées à de la matière organique issue d'une filière locale, constitue une alternative envisageable à l'apport extérieur de terres végétales et à la mise en décharge des excédents de terrassement.

Matériels et méthodes
Le cas étudié s'appuie sur le Projet Urbain Partenarial D-Side de Décines (à proximité de Lyon) dont setec est maitrise d'œuvre des espaces publics pour la Métropole de Lyon. Le matériau inerte étudié est une terre limono-graveleuse relativement homogène présente en couche superficielle sur site. La matière organique prise comme référence est un compost local issu de la filière biodéchet et déchets verts.
L'analyse matériaux se base sur les caractéristiques physico-chimiques connues au travers des reconnaissances géotechniques disponibles et de la littérature, et sur la typologie de chantier envisagée pour cette opération.
L'étude s'attache à définir les formulations possibles de mélanges, le process de mise en œuvre en plusieurs temps et échelles, et la quantification carbone par approche itérative des gains en termes d'émissions.

Résultats
Les résultats démontrent la faisabilité technique de création de terres fertiles par un mélange binaire de terre limono-graveleuse présente sur site et de compost produit localement. Ils montrent que le volume de terres fertiles pouvant être créé est supérieur au besoin d'apport en terre végétale du projet d'espaces publics. Enfin ils indiquent une réduction sensible des émissions carbone de ce poste de travaux.

Conclusions
La création de terres fertiles sur chantier d'espaces publics urbains est une disposition qui dans le cas étudié, permet de réduire le volume d'excédent de terres inertes non réemployés et mis en dépôt, et de réduire les émissions carbonées du chantier.
Cette approche s'inscrit dans une démarche d'économie circulaire par la valorisation matière des ressources du site et du compost issu des biodéchets et déchets verts produits localement. Une expérimentation in situ sera réalisée pour confronter ces résultats d'étude au terrain et comparer plusieurs mélanges.

Etude de l'empreinte carbone d'un chantier type de dépollution des sols – source d'optimisation par la régénération de charbon actif sur site

Présentation par Maxime EMERY – 06 27 39 02 86 – maxime.emery@aircovery.fr
Guillaume MOREL – 06 63 19 58 56 – guillaume.morel@aircovery.fr
AIRCOVERY - 1 route de Trévoux 69250 Neuville sur Saône

Dans notre monde soumis au dérèglement climatique, les émissions de gaz à effet de serre sont scrutées à la loupe et constituent un challenge quotidien. Plus qu'ailleurs, ces émissions de GES doivent être l'enjeu principal de notre secteur des SSP.

Les méthodologies existent et sont disponibles afin de quantifier les émissions de gaz à effet de serre pour une activité précise. Pour les activités de dépollution, il en est autrement. Chaque opération revêt un caractère unique (projet immobilier / contexte industriel / friche) qui nécessiterait une analyse méticuleuse et couteuse après coup.

Nous proposons de réaliser un bilan des émissions de gaz à effet de serre pour un projet type afin de déterminer les voies d'optimisation potentielles.

Dans un premier temps, les grands principes de la méthodologie mise en œuvre seront rappelés ainsi que les sources utilisées pour estimer les grandeurs d'émissions carbone.

La démarche simplifiée sera ensuite appliquée à un chantier de désorption thermique in-situ supposé énergivore. Le périmètre de l'étude sera précisé et l'évaluation du bilan carbone détaillée et interprétée. La démarche sera ensuite rapidement réitérée à périmètre équivalent avec de l'excavation, du venting in-situ et du traitement de polluant par biopile ventilée.

Enfin le sujet sera élargi de manière pragmatique sur les possibles voies de diminution des émissions de gaz à effet de serre sur un chantier de dépollution et présentera la solution ayant recours à de la régénération de charbon actif sur site.

Study of the carbon footprint of a typical soil depollution site – source of optimization through the on-site regeneration of activated carbon

In our world subject to climate change, greenhouse gas emissions are constantly monitored and represent a daily challenge. More than elsewhere, these GHG emissions must be the main challenge for our polluted sites sector.

Methodologies exist and are available to quantify greenhouse gas emissions for a specific activity. For depollution activities, it is different. Each operation has its own characteristics (real estate project / industrial context / wasteland) which would require meticulous and costly analysis afterwards.

We propose to carry out an assessment of greenhouse gas emissions for a typical project in order to determine the potential ways of optimization.

First, the main principles of the methodology will be reminded as well as the sources used to estimate the quantities of carbon emissions.

The simplified approach will then be applied to an high energy consuming technique, the in-situ thermal desorption. The scope of the study will be specified and the estimation of the carbon footprint detailed and interpreted. The approach will then be quickly repeated on an equivalent perimeter with excavation, in-situ venting and pollutant treatment by ventilated biopile.

Finally, the subject will be expanded on the possible ways of reducing greenhouse gas emissions on a depollution site and will present the solution using on-site activated carbon regeneration.

Influence du changement climatique sur les transferts de pollutions volatiles du sol vers l'air intérieur

Sylvie TRAVERSE[1] , Alain GUIAVARCH[1], Chi-Kien NGUYEN[1]

[1] *GINGER BURGEAP ; 19 rue de la Villette 69425 Lyon Cedex 3*

Mots clés QAI, COV, air intérieur, ventilation, changement climatique.

Résumé

La qualité de l'air intérieur est un enjeu de santé publique et les pollutions tant naturelles qu'anthropiques dans les sols en constituent une des sources de dégradation potentielle. La présente étude prospective s'inscrit dans le projet BARIAIR cofinancé par l'ADEME et le Ministère en charge de l'environnement (APR PRIMEQUAL). Elle vise à évaluer les évolutions prévisibles des impacts des pollutions des sols sur la qualité de l'air intérieur dans les conditions climatiques futures.

A travers le couplage de différents modèles mathématiques, les travaux menés ont trait aux impacts du changement climatique sur les transferts de pollutions de type COV vers les bâtiments et les concentrations dans l'air intérieur induites. Le travail a été réalisé pour une sélection de polluants (benzène, tétrachloroéthylène (PCE) et trichloroéthylène (TCE)), plusieurs hypothèses de sols (sables et limons) et différents systèmes de ventilation (double flux, simple flux par extraction) d'un bâtiment tertiaire. Les conditions climatiques actuelles et futures ont été modélisées sur une année entière.

Les outils couplés utilisés sont multiples : le logiciel FEFLOW pour les transferts thermiques et d'eau dans les sols, des équations empiriques de la littérature pour les modifications des propriétés physico-chimiques, et des équations analytiques (Bakker et al. 2008) couplées à la modélisation thermo-aéraulique du bâtiment (TRNSYS-CONTAM) pour la modélisation des transferts et des impacts. La base de données METEONORM a été utilisée en retenant la projection du scénario RCP 8.5 en 2080 pour les villes de Rennes, Trappes et Carpentras (données horaires sur une année type).

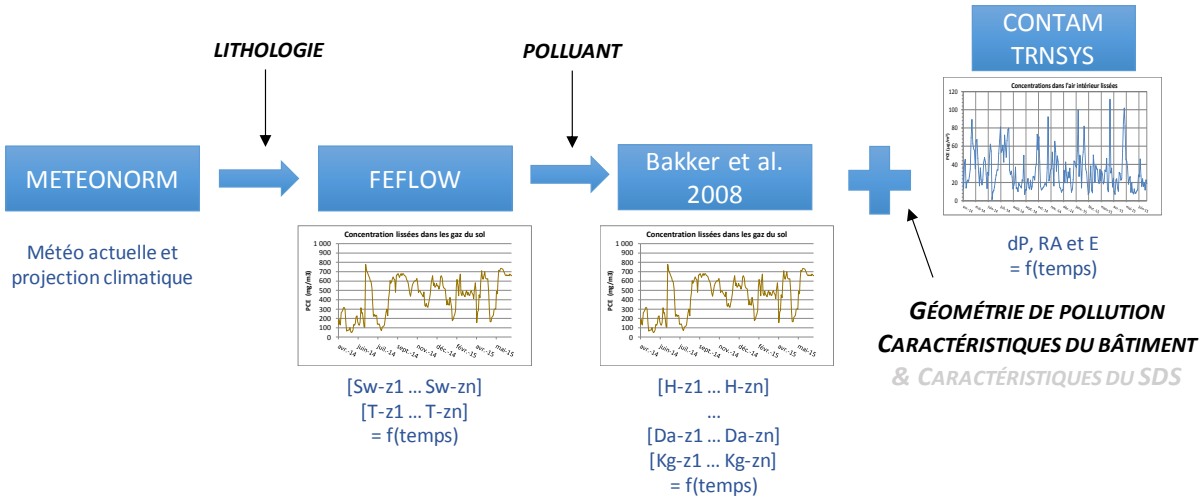
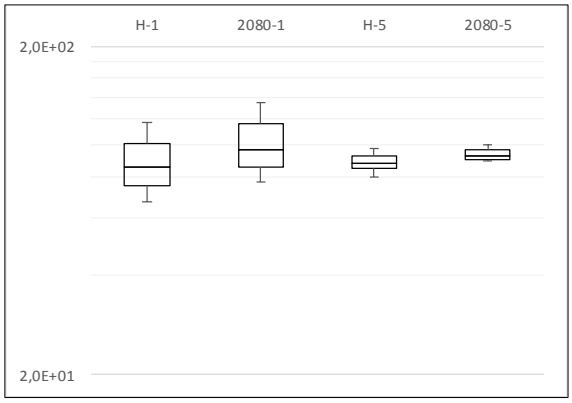


Figure 1 : Chaine de modélisation utilisée pour l'évaluation de l'incidence du changement climatique sur les concentrations et transferts de COV du sol vers l'air intérieur

Les travaux réalisés montrent ainsi qu'en considérant la projection RCP 8.5 en 2080 pour la zone climatique méditerranéenne (celle présentant les impacts en température les plus marqués), les concentrations en COV dans les gaz du sol pourraient augmenter en moyenne annuelle de 14, 21 et 22 % respectivement pour le benzène, le TCE et le PCE dans le cas d'une source sous bâtiment à 1 m de profondeur. Les modifications de concentrations entre la situation actuelle et la projection 2080 sont induites par la modification des propriétés physico-chimiques des polluants avec l'évolution de l température dans le sol. Du fait d'une atténuation des températures avec la profondeur, à 5 mètres sous le bâtiment, cette augmentation est moindre et se limite à 5 - 8%.



H-1 : météo historique et source à 1 mètre ; H-5 : météo historique et source à 5 mètres ; 2080-1 : météo projetée en 2080 et source à 1 mètre ; 2080-5 : météo projetée en 2080 et source à 5 mètres

Figure 2: Box plot des concentrations en benzène à la source (mg/m^3) pour les conditions météorologiques historiques et 2080 – cas des terrains sableux

Associées aux modifications de concentrations dans les gaz du sol et aux évolutions projetées des dépressions entre le bâtiment et les sols, les flux massiques de polluant vers l'air intérieur sont également modifiés. La figure ci-dessous présente la chronique de ces flux sur une année pour la période actuelle (historique) et la projection en 2080 pour le benzène.

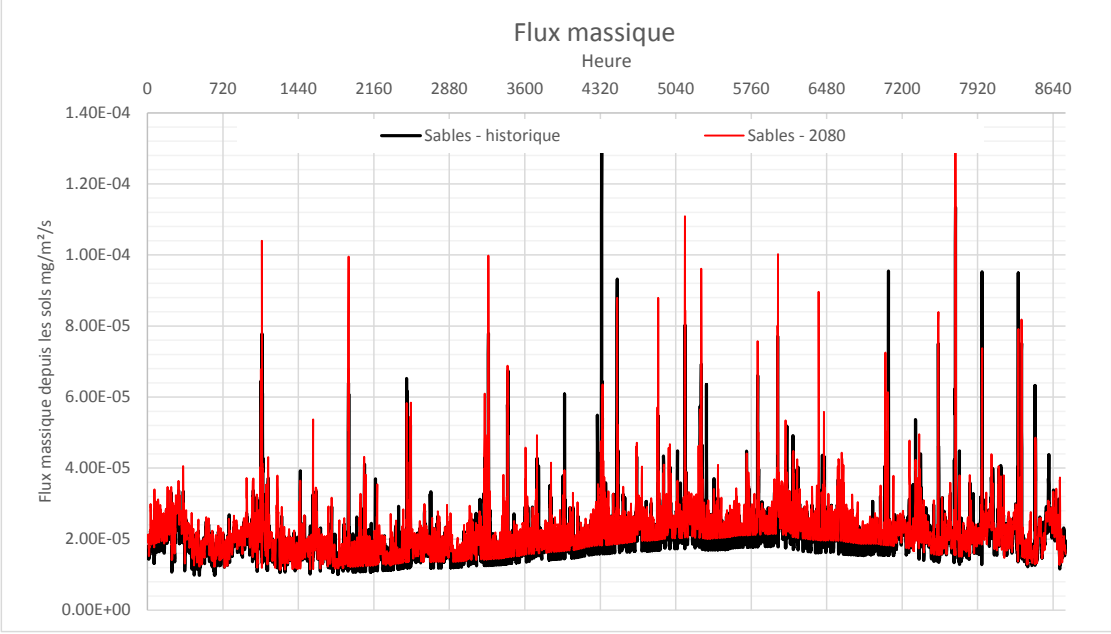


Figure 3 : Flux massiques vers l'air intérieur en benzène modélisés pour les météos historique et 2080, avec une perméabilité de dalle normale et une source dans les sables à 1 mètre (couplage TRNSYS-CONTAM et Bakker et al. 2008)

In fine, les concentrations induites dans l'air intérieur augmenteraient entre la période actuelle et 2080 en moyenne annuelle de 23, 44 et 45 % respectivement pour le benzène, le TCE et le PCE pour une pollution résiduelle dans des sols sableux située à 1 mètre de profondeur sous le bâtiment. Cet impact serait plus marqué pour des terrains limoneux pour lesquels les augmentations seraient comprises entre 46 et 58%. Les simulations réalisées avec une source à 5 mètres de profondeur montrent que l'impact du changement climatique sur les concentrations dans l'air intérieur serait plus faible d'un facteur 2 à 3 par rapport à une source à 1 mètre de profondeur.

Remerciements

Les auteurs remercient l'ADEME et le Ministère en charge de l'environnement pour le co-financement du projet BARAIR dans le cadre de l'APR PRIMEQUAL.

Le cas du bassin versant de la Vesdre au regard du changement climatique
Soils for climate : *the case of the Vesdre watershed*

Auteurs :

Prof. Martina Barcelloni Corte : Université de Liège – Faculté d'Architecture

Joël Privot : Université de Liège – Faculté de Sciences Appliquées

Abstract :

A la suite d'une série d'inondations survenues en Belgique dès le mois de mai 2021 dont l'évènement paroxystique des 14 et 15 juillet dans la vallée de la Vesdre (affluent de la Meuse parcourant l'Est de la Belgique vers Liège), la question de l'habitabilité du territoire, au sens large, et de son projet a été mise en avant au regard du changement climatique et de ses futurs impacts.

Le lit majeur de cette vallée, fortement urbanisé et marqué par une importante industrialisation (en déclin depuis les années soixante), a été particulièrement meurtri avec un bilan de plus de quarante morts et plusieurs milliers de bâtiments impactés tout au long des soixante kilomètres de son parcours.

Si, dans un premier temps, l'urbanisation a été identifiée parmi les principaux facteurs responsables de la catastrophe, une analyse plus approfondie démontre qu'une part importante de la problématique provient aussi des espaces non artificialisés (+/- 90% des 700 km² du bassin versant) ; des milieux dans lesquels les sols ont été incapables d'absorber les quantités exceptionnelles de précipitations tombées dans un délai très court.

Considérés jusqu'à aujourd'hui plus comme un support à l'activité humaine que comme véritable « agent » dans le projet de territoire et des politiques d'aménagement, les sols (urbains, ruraux, forestiers, etc.) avec leur capacité à juguler en partie les effets des événements climatiques extrêmes, constituent à présent un élément clé pour repenser nos villes et territoires et donc notre façon de « faire projet ».

Cette vision pourtant bien présente depuis les années 2010 dans les documents de l'UE, notamment préparatoires au Zéro Artificialisation Nette (ZAN), semble aujourd'hui estompée de la vision des aménageurs en Wallonie.

Le cas spécifique du bassin versant est l'occasion de mettre en place en Wallonie une méthodologie expérimentale de projet de territoire basée sur les sols incluant entre autres la compréhension de leurs capacités écologiques et fonctionnelles au regard des enjeux futurs. Cette méthodologie s'inspire d'expériences déjà menées en Suisse notamment et pourrait se généraliser à l'avenir aux pratiques courantes des aménageurs en Wallonie.

Les enjeux climatiques et les pertes de biodiversité nous obligent à repenser nos pratiques territoriales de manière transversale et décloisonnée entre les disciplines afin de composer avec la « nature ».

L'intervention présentera le contexte du bassin versant avant d'exposer la méthodologie expérimentale mise en place à l'égard des sols (naturels et anthropisés et leurs limites intrinsèques), les trajectoires de projets qui en découlent ainsi que les conséquences en termes de gestion du potentiel foncier urbanisable au regard du ZAN.

Intervention INTERSOL
(conférence "le sol dans tous ses états", les 21, 22 et 23 juin 2022 à Lyon)

Enjeux sanitaires : comment le juge prend en compte la santé environnementale ?

Tschanz Louise
Avocate fondatrice du cabinet Kaizen Avocat
Spécialiste en droit de l'environnement - Barreau de Lyon
louise.tschanz@kaizen.avocat.fr - www.kaizen.avocat.fr
04 28 38 20 01 - 35 rue du Tonkin, 69100 Villeurbanne

Clara Garnier
Étudiante en Master 2 droit de l'urbanisme et droit de l'environnement à Lyon 3
06 34 99 36 20
claragarnier17@hotmail.fr

Résumé :
Les sols sont des réservoirs de biodiversité, assurant de nombreux services écosystémiques tels que la production alimentaire, la régulation du climat, la qualité de l'eau ou le bien-être humain en général. La pollution des sols peut générer des risques sanitaires et cela préoccupe de plus en plus les citoyens. Pourtant, les sols demeurent, encore aujourd'hui, peu protégés par la réglementation.

Les liens entre santé et environnement sont nombreux et multifactoriels, ce qui rend difficile une compréhension juridique globale.

Cette présentation a donc pour objet de décrypter les enjeux juridiques liés à la pollution des sols et à la santé environnementale, à la lumière de la jurisprudence.

Cette présentation se conclura en évoquant les perspectives d'évolutions du cadre juridique lié à la santé environnementale.

Objectifs :

- Comprendre les problématiques de santé environnementale
- Comprendre les enjeux de responsabilité (lien de causalité indirecte, pollutions diffuses et multifactorielles)
- Exposer les perspectives d'évolutions du cadre juridique lié à la santé environnementale

Caractère innovant du sujet proposé :

- Analyse jurisprudentielle approfondie
- Analyse des nomenclatures existantes (préjudice corporel, préjudice environnemental)
- Présenter un panorama clair et opérationnel des responsables juridiques liés à la pollution des sols et à la santé environnementale

Mots clés : pollution des sols, jurisprudence, cadre juridique, santé environnementale, risques sanitaires

ENJEUX DES CERTIFICATIONS SITES ET SOLS POLLUES

STANDARDIZED REMEDIATION STEPS AND RELATED ISSUES



Marie-Léonie Vergnerie
Avocate Associée / Partner
Droit de l'Environnement / Environment Law

48 rue Cambon, 75001 Paris

Tel : +33 (0)1 70 37 81 00
Marie-Leonie.Vergnerie@fieldfisher.com

Depuis le 1er juin 2022, les exploitants d'installations classées cessant leurs activités sont tenus de se conformer aux nouvelles obligations issues de la loi « ASAP » et du décret n° 2021/1096 pris pour son application. En particulier, ils doivent faire attester par un bureau d'études certifié :

- La mise en sécurité effective,

- Avant la réhabilitation, l'adéquation des mesures qu'ils proposent,

- Après la réhabilitation, l'atteinte des objectifs prévus.

Au-delà de l'objectif assumé de cette réforme qui est de participer à l'Accélération et à la Simplification de l'Action Publique, quelles nouvelles obligations impose-t-elle aux exploitants et aux bureaux d'études et quels nouveaux enjeux en découlent ?

Since June 1st, 2022, operators of industrial facilities who terminate their activities must comply with new duties resulting from the "ASAP" law and its implementation decree no. 2021-1096. In particular, they must have certified consultants formally confirm:

- actual performance of their safety measures,

- prior to remediation, the adequacy of their proposed action plan,

- after remediation, that the expected goals have indeed been met.

Beyond the stated objective of this reform, which is to Accelerate and Simplify Actions by Public bodies, what are its new implications for operators and consultants?

intersol 2022
Congrès-Exposition International sur les Sols, les Sédiments et l'Eau
International Conference-Exhibition on Soils, Sediments and Water
Lyon / France, 21 – 23/06/2022
HPC INTERNATIONAL

ERP sensibles (Ecoles, Crèches) & Habitations et Diagnostics, Evaluation des Risques Toxicologiques et Traitements des PFAS, notamment les FTOH : Fluorotélomère-Alcools volatils

Public Site Use Scenarios (Schools, Kindergartens) & Residences and Site Investigation, Toxicological Health Risk Assessments (TERQ) and Treatments of PFAS, especially volatile FTOH: Fluorotelomere Alcohols

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

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

1. Introduction

PFAS : Per- & Polyfluoro-Alkyl Substances toxiques sont devenus depuis les années 1960 doucement un grand problème Environnemental et pour la Santé Publique, car leur application était (et l'est toujours) multiple et vaste. **Seulement depuis 2010 à 2015 la conscience publique a commencé doucement à comprendre la menace environnementale et pour la Santé Publique par les PFAS**. Par conséquent, nous trouvons aujourd'hui les PFAS dans les sols, les eaux souterraines, les aliments et l'eau potable ainsi qu'une famille des **PFAS volatils, les FTOH : Fluorotélomère-Alcools** dans les **Gaz du sol et de l'Air ambiant. Plus de 9 000 polluants** synthétiques de **PFAS ont été produits. Ils sont**, **non-existant naturellement.**

Les **PFAS polymères** du type « Teflon » (ou PFTE) etc. ne disposent pas une bonne biodisponibilité et sont donc beaucoup moins toxiques que les **PFAS monomères**. Ces PFAS monomères sont l'objet des travaux présentés ci-joint. Les PFAS sont connus notamment pour leurs **effets toxicologiques** des **perturbations endocriniennes**, d'hépatotoxicité, d'Immunotoxicité, le développement des fœtus et pour certains, la **cancérogénicité** (par ex. le PFOA) [26 – 67, 88, 123].

Une caractéristique importante des PFAS est leur comportement dans la **Chimie Environnementale**, car seulement les **PFAS polyfluorés** sont modifiés par **bio-transformation** microbiologique en **PFAS perfluorés, qui restèrent totalement stables et non-dégradables, voir même bioaccumulables.**

F. KARG / HPC INTERNATIONAL

Les sources de Pollutions par PFAS sont multiples et notamment présentes **sur les sites industriels, qui ont utilisés ces produits, les sites des anciens incendies ou de l'entrainement anti-incendie, où des mousses anti-incendie** (**AFFF** : Anti Fire Fighting Foams) **ont été utilisés,** ou **sur les terrains agricoles (**où des boues de STP : Stations d'Epuration ont été apportés, car ils comportent des PFAS accumulés).

En Allemagne on compte env. 40 000 – 50 000 sites contaminés par des PFAS et en France env. 15 000 – 25 000 sites selon les estimations. Le fait, que les PFAS ont presque tous un caractère tensioactif, ils **sont très solubles et provoquent des pollutions dans les eaux souterraines**, **les eaux de surface** et même dans l'**eau potable**. Dans le cas d'usage (sensible) d'un tel site pollué par des PFAS, certains produits volatils (FTOH) pourront migrer par émanations **à partir des sols et les eaux souterraines pollués vers les gaz du sol et de l'air ambiant**.

Dans le cas des ERP sensibles (Etablissements recevant le public), comme les écoles et les crèches, les émanations à partir des sols et eaux souterraines pollués vers les gaz du sol et l'air ambiant pourront poser un problème de Santé publique significatif pour les enfants et encadrants, si par. ex. l'établissement se trouve sur ou à proximité d'un site (historiquement) pollué par les PFAS. Dans le cas de présence des **sols pollués aux PFAS lourds un transfert vers les poussières transférées vers l'air ambiant intérieur et extérieur** est aussi possible sur des sites contaminés.

Un tel ERP sensible, sur ou à proximité d'un site (potentiellement) pollué par des PFAS, devrait faire l'objet d'un diagnostic de pollution PFAS et notamment concernant les FTOH : Fluotélomère alcools volatils dans les eaux souterraines, les gaz du sol et l'air ambiant. Dans le cas d'un résultat positif en PFAS-FTOH, une Evaluation Quantitative des Risques (EQRS) devrait être réalisée, afin de décider sur la nécessité de mesures de gestion par un traitement de ces pollutions.

2. Sites pollués aux PFAS et études historiques

Afin d'identifier si un site à usage sensible (ERP : Ecoles, Crèches mais aussi les & Habitations) **pourra se trouver sur ou à proximité d'un site** (potentiellement) pollué par des **PFAS**, une **étude historique est nécessaire**. Le **risque des pollutions par des PFAS pourra être augmenté par l'accumulation** d'une (ancienne) activité industrielle aux PFAS sur un site, l'arrivée d'une **pollution par des PFAS via la migration dans les Eaux souterraines ou des Gaz du sol (comportant des FTOH)** et par des anciens **événements d'incendies**, qui ont été soumis aux applications des **mousses anti-incendie**

F. KARG / HPC INTERNATIONAL

(AFFF). Une co-pollution par des COV (Composés Organiques Volatils, comme les hydrocarbures HC_{5-16}, BTEX, Solvants chlorés ou Solvants polaires, etc.) **pourra renforcer les migrations des FTOH dans les gaz du sol vers l'air ambiant.**

Une méthodologie de score et de priorisation de sites concernant les **besoins des diagnostics des pollutions par des PFAS & FTOH** a été élaborée par HPC, afin d'**identifier les ERP (Ecoles & Crèches,** etc.) et autres sites (sensibles) **prioritaires à risque sanitaire potentiel**. Cette méthodologie de score et de priorisation est entre autres basée sur les critères suivants :

Activité (historique) sur site (ou à proximité) depuis 1946 ou après 1961 [1 – 25] :

- Entrainements anti-incendie,
- Aéroport ou base aérienne site militaire,
- Site d'incendie et utilisation des AFFF,
- Galvanisation électrochimique,
- Production des papiers ou cartons « cirés »,
- Production des Textiles imperméables,
- Sprays, peintures, laques d'imperméabilisation,
- Production et application des Téflons (PTFE, etc.),
- Sites pétroliers et de l'industrie chimique et/ou production et application des peintures, des teintures, des encres, des pigments, les cires chimiques et les produits de polissage,
- Applications des solvants (garages, pressings, blanchisseries, etc.,
- Décharges et anciennes décharges municipales, etc. (ISDD, ISDND, ISDD, etc.),
- Teintureries & Tanneries,
- Moquettes, tapis, tissues et plastiques avec des retardateurs des flammes,
- Production des objets et meubles contentant des surfaces,
- Production des produits de nettoyage,
- Chimie photographique (laboratoires, et production des papiers et films, etc.),
- Production des Eléments électroniques,
- Production et applications des Pesticides et biocides,
- Production des produits cosmétiques,
- Sites ayant reçus des Boues de STEP.

3. Chimie Environnementale des PFAS

La Chimie environnementale des PFAS est particulièrement importante et compliquée. Il n'existe aucun groupe de polluants montrant une chimie environnementale plus complexe que les PFAS. Tout d'abord, il faut constater qu'il existe **plus que 9 000 substances PFAS**, divisées en **33 catégories de substances**. Les plus connues sont les Acides perfluoroalkane-sulfoniques (PFASs), les Acides perfluoroalkyliques-carboxyliques (PFCA), les Perfluoroalkyliques-phosphates & leurs esters, les

F. KARG / HPC INTERNATIONAL

Fluorotélomére-alcooles (**FTOH**), etc. (dont plus **29 autres groupes**…). Certains d'entre eux, comme par ex. le **PFOA** : Acide perfluoro-octanoïque et le **PFOS** : Perfluoro-octane-sulfonate (cf. Fig. 1) sont bannis (et **interdit en CE et USA & Canada**) par la **Convention de Stockholm** dans la catégorie des **POP** : Persistent Organic Pollutants. Le PFOA est cancérigène. Les **produits commerciaux** contiennent principalement des **mélanges**.

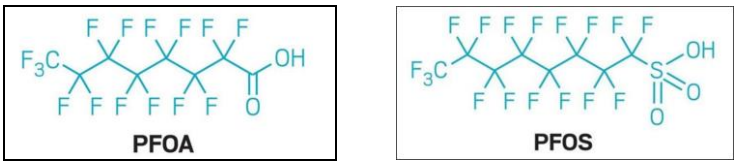


Fig. 1& & b : Formules structurelles des PFOA & PFOS

La raison de la forte solubilité dans l'eau et d'une lipophilie en même temps est basée sur le fait qu'il existe des **PFAS** :

- **Anioniques** (par ex. les sulfonates, les sulfates, les carboxylates et les phosphates),
- **Cationiques** (par ex. ammonium quaternaire),
- **Amphotères** (par ex. taines et sulfo-taines) : base + acide et
- **Non ioniques** (par ex. polyéthylène glycols, oligomères d'acrylamide).

Biotransformation des PFAS poly-fluorés (Précurseurs) vers des PFAS per-fluorés persistants :

Il est très important de souligner, que les PFAS poly-fluorés non entièrement fluorés (« Précurseurs ») peuvent être convertis par bio-transformation en produits chimiques persistants et entièrement fluorés = PFAS per-fluorés [7, 24, 25]. La dégradation complète microbiologique des PFAS n'a pas encore été démontrée.

Un Schéma de l'UBA (2020) montre bien cette **bio-transformation des PFAS poly-fluorés (précurseurs vers les PFAS per-fluorés persistants** en environnement (cf. Fig. 2.).

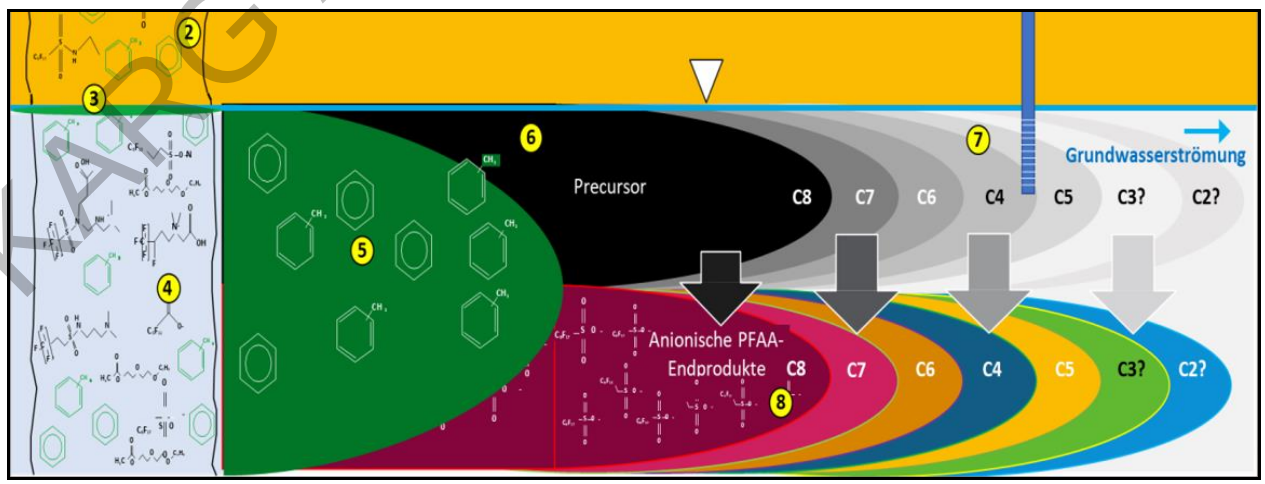


Fig. 2 : Schéma de Biotransformation des PFAS poly-fluorés (Precursors) vers des PFAS per-fluorés (UBA 2020 [85])

F. KARG / HPC INTERNATIONAL

Concernant les PFAS poly-fluorés, il existe un processus de transformation fondamental dans lequel les atomes de carbone terminaux non-fluorés sont séparés. Cette dégradation partielle est relativement rapide. Par ex. les alkylphosphates polyfluorés (PAP) et les esters d'acide carboxylique etc. peuvent être décomposés en alcools fluorotélomères volatils (FTOH), par ex. tels que le 6:2-mono-PAP & 6:2-di-PAP envers le 6:2-FTOH.

Le schéma en Fig. 3 montre un **exemple de biotransformation des Alkylphosphates polyfluorés (PAP) dans les sols et eaux souterraines vers les Fluorotélomère alcools (FTOH) volatils** qui migrent par la suite **dans les gaz du sol et vers l'air ambiant**. Par la suite, **les FTOH sont transformés microbiologiquement en PFAS per-fluorés stables**. Par exemple ; le **6:2-FTOH** est bio-transformé en PFHpA, PFHxA et PFPeA et le **8:2-FTOH** en PFHpA, **PFOA** et 2H-PFOA (cf. Fig. 4 & 5).

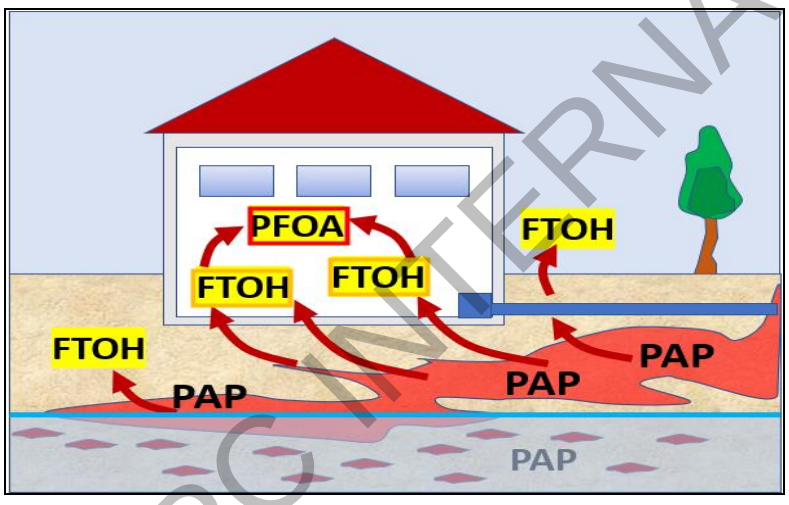


Fig. 3 : Exemple de **biotransformation des Alkylphosphates polyfluorés (PAP)** dans les sols et eaux souterraines vers les **Fluorotélomère alcools (FTOH)** volatils et en **PFAS per-fluorés stables**, comme par ex. le **PFOA** cancérigène (F. KARG, 2021 [25]).

Le Schéma en Fig. 4 montre un **exemple de la biotransformation du 8:2-FTOH** (**$F(CF_2)_8CH_2CH_2OH$**) via des produits intermédiaires **vers des PFAS per-fluorés stables**, comme par exemple le **PFPA** (Acide perfluoro-pentanonic), le **PFHxA** (Acide perfluoro-hexanonic), le **PFHpA** (Acide perfluoro-heptanonic), le **2H-PFOA,** l'**Acide 7:3** et le **PFOA** (Acide perfluoro-octanonic) **cancérigène**.

F. KARG / HPC INTERNATIONAL

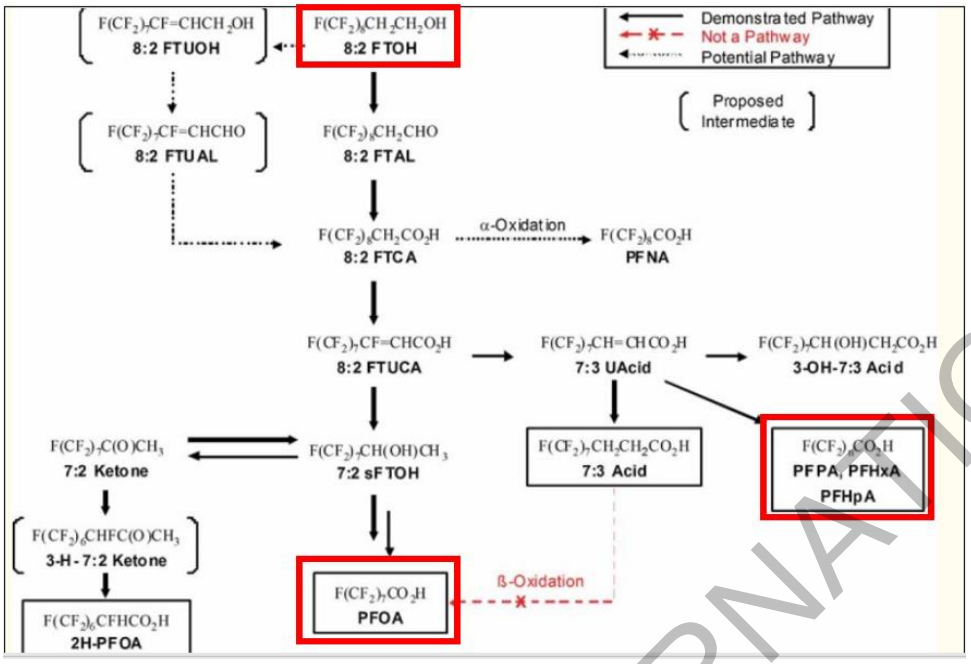


Fig. 4 : Biotransformation des Fluorotélomère alcools : Exemple du **8:2-FTOH** ($F(CF_2)_8CH_2CH_2OH$) via des produits intermédiaires vers des PFAS per-fluorés stables, comme par exemple le **PFPA** (Acide perfluoro-pentanonic), le **PFHxA** (Acide perfluoro-hexanonic), le **PFHpA** (Acide perfluoro-heptanonic), le **2H-PFOA**, l'**Acide 7:3** et le **PFOA** (Acide perfluoro-octanonic) **cancérigne** (selon WANG et al. 2009 et |98]).

4. Diagnostic des pollutions PFAS (et FTOH) et évaluation des Risques Toxicologiques

Investigations des pollutions PFAS :

Si les « Précurseurs" (PFAS poly-fluorés) ne sont pas pris en compte par des investigations, une évaluation des risques peut conclure qu'aucun PFAS perfluoré n'est (encore) présent. La biotransformation des Précurseurs peut conduire à la formation de nouveaux carbones perfluorés et acides sulfoniques. Ces nouvelles formations issues de la biotransformation des PFAS poly-fluorés doivent être prises en compte dans une analyse des risques, car les **PFAS per-fluorés** deviennent de plus en plus présents au fil du temps.

Une entrée de ces polluants solubles dans les eaux souterraines peut provoquer de très longs panaches de polluants qui, lors de la surveillance des eaux souterraines, montrent une présence de plus en plus forte en composés PFAS perfluorés stables.

Concernant les investigations des **prélèvements & analyses** des sols, sédiments, des eaux souterraines, des eaux superficielles, des gaz du sol et de l'air ambiant, il faut éviter que certains outils d'échantillonnage et équipements de laboratoire puissent ajouter des PFAS à des échantillons, notamment

F. KARG / HPC INTERNATIONAL

via le poly-tétrafluoro-éthylène (PTFE) et Téflons (PFAS polymères) en contact avec des solvants. L'emploi de ces matériaux est donc à éviter.

Il faut tenir compte de la biotransformation potentielle des PFAS dans l'environnement qui créera davantage des PFAS persistants comme le PFOA en particulier. Les analyses doivent être réalisées par Chromatographie Liquide – Spectrométrie de Masse (LC-SM), par ex. selon la norme : DIN 38407-42.

Des **analyses des Clusters PFAS** pourront identifier les origines industrielles ou des produits commerciaux ayant provoqués les pollutions environnementales par les PFAS, cf. Fig. 5).

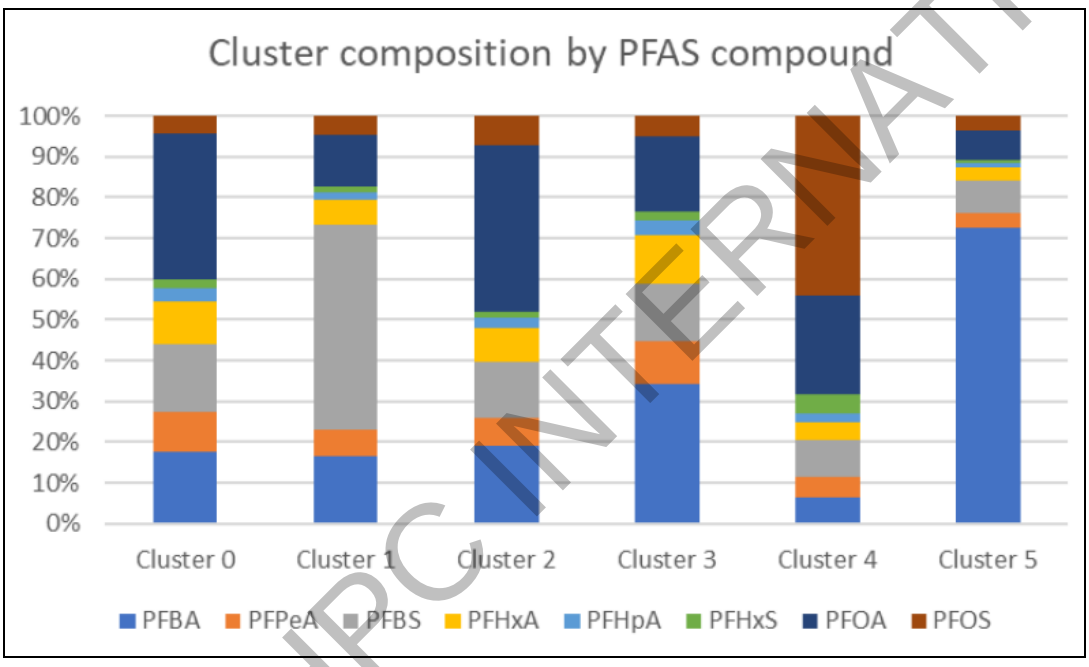


Fig. 5 : Clusters PFAS typiques des produits commerciaux et des industries différents PFAS (MONTI et al. 2021) [96]

Il est important d'investiguer dans les sols, eaux souterraines et notamment dans les gaz du sol et l'air ambiant potentiellement impacté par des PFAS volatils, les FTOH : Fluorotélomère alcools, par ex. les 6:2- et 8:2-FTOH. Cette méthodologie est particulièrement à appliquer concernant les ERP (Ecoles & Crèches, etc.) et d'autres sites (sensibles) prioritaires à risque sanitaire potentiel.

Il est aussi important de co-investiguer la présence d'autres polluants volatils, come les COV (HC_{5-16}, BTEX, Solvants chlorés, Solvants polaires, etc.), car les émanations des FTOH pourront être renforcées par ces polluants.

F. KARG / HPC INTERNATIONAL

Il est recommandé d'intégrer dans les diagnostics des contaminations par les PFAS au minimum les polluants suivants :

N°	Polluant PFAS de base	Synonyme	VTR existantes
1	Acide perfluoro-butanoïque	PFBA	Oui
2	Acide perfluoro-pentanoïque	PFPeA	Oui
3	Acide perfluoro-hexanoïque	PFHxA	Oui
4	Acide perfluoro-heptanoïque	PFHpA	Oui
5	Acide perfluoro-octanoïque	PFOA	Oui
6	Acide perfluoro-nonanoïque	PFNA	Oui
7	Acide perfluoro-decanoïque	PFDA	Oui
8	Acide perfluoro-butane-sulfonique	PFBS	Oui
9	Acide perfluoro-hexane-sulfonique	PFHxS	Oui
10	Acide perfluoro-heptane-sulfonique	PFHpS	Oui
11	Perfluoro-octane-sulfonate	PFOS	Oui
12	Acide H4-polyfluoro-octane-sulfonique	H4-PFOSA	associé au PFOS
13	Perfluoro-octane-sulfonamide	PFOSA	Oui
14	6:2 Fluorotélomère alcool	6:2-FTOH	Oui
15	8:2 Fluorotélomère alcool	8:2-FTOH	Oui
Si possible:			
16	Perfuorobutane sulfonate	PFBS	Oui
17	Perfuoropentane sulfonate	PFPeS	Oui
18	Perfuorohexane sulfonate	PFHxS	Oui
19	Perfuoroheptane sulfonate	PFHpS	Oui
20	Perfuorodecane sulfonate	PFDS	Oui
21	Acide perfluoro-undecanoïque	PFUnDA	Oui
22	Acide perfluoro-dodecanoïque	PFDoDA	Oui
23	Acide perfluoro-tridecanoïque	PFTrDA	Oui
24	Acide perfluoro-tetradecanoïque	PFTeDA	Oui
25	Acide perfluoro-hexadecanoïque	PFHxDA	Oui
26	Acide perfluoro-octadecanoïque	PFODA	Oui
27	Acide Hexafluoro-propylèneoxydimer	HFPO-DA	Oui
28	Acide 3H-perfluoro-3-[(3-methoxy-propoxy) propanoïque	ADONA	Oui

F. KARG / HPC INTERNATIONAL

Evaluation des Risques Toxicologiques :

Pour l'évaluation des risques sanitaires, des données toxicologiques (VTR : Valeurs Toxicologiques de Référence) sont à chercher et à actualiser en niveau international quasiment de façon hebdomadaire. Les VTR les plus récents sont disponibles surtout aux USA (EPA…), ATSDR et l'EFSA [25, 78 – 95, 123]. L'AFSET avait publié aussi en 2017 des VTR des PFAS, mais vu l'avancement forcé des études toxicologiques ces VTR sont dans une grande partie dépassée.

Dans le **cas des FTOH** présents dans les Sols, eaux souterraines et gaz du sol, il faudra impérativement réaliser aussi les investigations des FTOH dans **l'Air ambiant des bâtiments aux usages sensibles (ERP : Ecoles, Crèches, etc.) ou résidentiels**, sur une base des **seuils de quantification** (ou au moins pour les seuils de détection), pas plus élevée que 4 – 8 ng/m^3, afin de posséder une bonne base exploitable pour les **EQRS : Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires.**

Une première approche d'évaluation des risques simplifiée est possible via des valeurs limites existantes, comme par ex. en Allemagne ou publiées par la Communauté Européenne. En Allemagne il existe des valeurs limites pour l'eau potable, pour les sols et pour les eaux souterraines (cf. Fig. 6).

La US-EPA considère, que la plus grande partie des expositions provienne aujourd'hui de l'eau potable en dehors des sites pollués, du fait de l'absence de surveillance et du traitement contre les PFAS.

Selon la Directive (UE) 2013/39/UE « Cadre sur l'eau » européenne (DCE), **concernant le PFOS & dérivés** (et pour d'autres substances prioritaires) une **Norme de Qualité Environnementale (NQE-MA) de 0,65 ng/l pour les Eaux superficielles et de 0,13 ng/l pour les Eaux du milieu marin (et des NQE-CMA: Concentrations Maximales Admissibles) sont fixées.**

F. KARG / HPC INTERNATIONAL

N°	Polluant PFAS (PFC / PFT)	Synonyme	Eau potable [µg/l]	Eaux souter-raines [µg/l]
1	Acide perfluoro-butanoïque	PFBA	10	-
2	Acide perfluoro-pentanoïque	PFPeA	-	3
3	Acide perfluoro-hexanoïque	PFHxA	6	-
4	Acide perfluoro-heptanoïque	PFHpA	-	0,3
5	Acide perfluoro-octanoïque	PFOA	0,1	-
6	Acide perfluoro-nonanoïque	PFNA	0,06	-
7	Acide perfluoro-decanoïque	PFDA	-	0,1
8	Acide perfluoro-butane-sulfonique	PFBS	6	-
9	Acide perfluoro-hexane-sulfonique	PFHxS	0,1	-
10	Acide perfluoro-heptane-sulfonique	PFHpS	-	0,3
11	Perfluoro-octane-sulfonate	PFOS	0,1	-
12	Acide H4-polyfluoro-octane-sulfonique	H4-PFOSA	-	0,1
13	Perfluoro-octane-sulfonamide	PFOSA	-	0,1

Fig. 6 : Valeurs limites pour l'eau potable et les eaux souterraines en Allemagne (UBA 2016)

Il faut annoter, qu'en Allemagne existe aussi des Valeurs limites pour les sols, qui sont exprimées en fractions lixiviables des PFAS [18].

Il est important d'annoter, qu'une simple application des Valeurs limites, génériques et individuelles dans le cadre d'une évaluation simplifiée des risques ne prend pas en compte les scénarios d'expositions spécifiques et non plus les expositions aux mélanges (« Cocktails ») des polluants avec au minimum une prise en compte de l'additivité des risques des polluants du mélange concernant les mêmes cibles et effets toxicologiques. Par conséquent, il faut mieux appliquer les EQRS (ou ARR, HRA, TERQ), ce qui correspond bien à la Méthodologie Française de Gestion des Sites Pollués, selon le Ministère en charge de l'Environnement, du 19/04/2017.

Un autre aspect important est le fait que seulement via une EQRS (ou ARR, TERQ, HRA) il est possible de définir des Valeurs de Contrôle de conformité sanitaire, sous forme des CMA (Concentration Maximalement Acceptables) pour des Excès des Risques Individuels (de cancer) maximalement acceptables : ERI $\leq$ 10E-5 (10^{-5}) ou d'un Indice de Risque systémique de IR $\leq$ 1 (= DJE / DJT : Dose Journalier d'Exposition par rapport à la Dose Journalière Tolérable).

F. KARG / HPC INTERNATIONAL

Concernant les EQRS : Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires, la base est soit la mesure des concentrations dans les milieux d'exposition ou la modélisation du transfert des polluants d'un compartiment à l'autre (par ex. des polluants dans les eaux souterraines ou du sol vers les gaz du sol et de l'air ambiant [100 – 122].

Une étape importante de l'EQRS est le **choix des VTR (Valeurs Toxicologiques de Référence)**, car leur évolution est rapide. Par ex., un bon guide PFAS de l'**ANSES** de 2017 comporte certaines VTR pour les PFAS, mais vu les nombreuses publications des VTR jusqu'à aujourd'hui, ces valeurs sont partiellement dépassées, car aujourd'hui elles sont devenues beaucoup plus sévères. Une **Dose Hebdomadaire Tolérable** (DHT) de 4,4 ng/kg/Semaine (ou la Dose Journalière Tolérable (DJT) de 0,63 ng/kg/j pour des PFAS : PFOA, PFOS, PFNA & PFHxS) a été publiée par l'**EFSA**, le 17/09/2020. En 2020 des **facteurs d'équivalence de toxicité** par rapport au PFOA ont été aussi publiés par Wienecke et al. 2020 sous forme des **RPF : Relative Potency Factors** (cf. Fig. 7).

Per- and polyfluorinated congeners	RPF
Sulfonic acids	
PFBS	0.001
PFPeS*	0.001 ≤ RPF ≤ 0.6
PFHxS	0.6
PFHpS*	0.6 ≤ RPF ≤ 2
PFOS	2
PFDS*	2
Carboxylic acids	
PFBA	0.05
PFPeA*	0.01 ≤ RPF ≤ 0.05
PFHxA	0.01
PFHpA*	0.01 ≤ RPF ≤ 1
PFOA	1
PFNA	10
PFDA*	4 ≤ RPF ≤ 10
PFUnDA	4
PFDoDA	3
PFTrDA*	0.3 ≤ RPF ≤ 3
PFTeDA	0.3
PFHxDA	0.02
PFODA	0.02
Ether carboxylic acids	
HFPO-DA	0.06
ADONA	0.03
Telomer alcohols	
6:2 FTOH	0.02
8:2 FTOH	0.04

[a] RPF values using relative liver weight increase as input. RPFs are presented for 14 perfluoroalkyl acids (PFAAs) and two PFAA precursors (the telomer alcohols).
*RPF based on read-across.

Fig. 7 : Facteurs d'équivalence de toxicité sous forme des RPF : Relative Potency Factors (Wienecke et al. 2020).

F. KARG / HPC INTERNATIONAL

Afin d'assurer le bon choix des VTR des PFAS, il est à recommander d'appliquer des critères de choix scientifiques et non pas des critères nationaux. Le Fig. 8 montre des critères de choix des VTR applicables, afin de prendre en compte les meilleures connaissances toxicologiques concernant les relations de dose à effet des PFAS.

No	TRD: Toxicological Reference Dose Choice Criteria	Appreciation			
		Favorable	Correct	Not favorable	Exclusion
1	Variability of indicated TRD	(+/- 0 %)	≤ (+/- 30 %)	> (+/- 30 %)	
2	Class (potential) Carcinogenic: EC: Class 3/ US-EPA: Class B2, C / IARC: Group 1	3 Organisms : CE, US-EPA, IARC, etc.	2 Organisms	1 Organisms	
3	Several Organisms shows similar TRD (+/- 50 %)	➢ 3 Organisms	2 Organisms	1 Organism	
4	Age of base Study	≤ 15 a	15 – 25 a	< 25 a	
5	Mechanistic toxicological basement Study (for ex. Genotoxicity):	Epidemiology	Mamifer	In-Vitro / In-silico	
6	Basement Study : Klimisch Quality Criteria	Class 1	Class 2	Class 3	Class 3
7	Verified Purity of Compound	Yes	< 95 %	No	
8	Excipient potentially toxic	Non		Yes	
9	Presence of population without exposure (test witness)	Yes		No	
10	General Quality Criteria (Klimisch) of toxicological effect studies	Standardized Study (OCDE, UE, US EPA, FDA, etc.)	Standardized Study without Details, but correctly documented	Document insufficient for evaluation, systematic deficiencies	
11	POD : Point of Departure	Quantified Epidemiological Data, BMLD, etc. (PBPK)	NOAEL sensitive NOAEL	LOAEL sensitive, LOAEL, Other	
12	Uncertainty (or Assessment) Factors	1 – 100	> 100 – 1000	> 1 000 – 10 000	> 10 000
13a	Transpositions: Between Exposure Pathways	Non		Yes	
13b	Transposition: Animal to Human	Non	Yes		
13c	Transpositions : From in-Vitro	Non		Yes	
13d	Transpositions : From in-Silico	Non		Yes	
14	Study time-representatively	≥ chronic (> 180 d)	sub-chronic (90 d) to chronic (180 d)	< sub-chronic (< 90 d)	
15	Integration of bio-disponibility / Bio-resorption capacity (ex.: DIN 19 738)	Yes	Not known (100 %)	Known, but not considered	

Fig. 8 : Critères de choix des VTR (F. KARG 2021)

Basé sur des critères de choix, il est possible de choisir par ex. les **VTR** indiquées en Fig. 9 en début 2022. Il est important de prendre en compte, que les Administrations de certains états US-américaines sont très avancées dans la recherche toxicologique et la publication des VTR concernant des PFAS, du fait de la forte présence d'industrie chimique et pétrolière (avec les fortes utilisations historiques des AFFF) ou de la forte présence des grandes décharges industrielles (et les pollutions environnementales associées). Il s'agit notamment des états du Texas, du Michigan et de New Jersey. Ces VTR sont souvent les bases pour les publications des VTR des PFAS de la US-EPA fédérale.

F. KARG / HPC INTERNATIONAL

Substance	Cancerogen / not cancerogen	Chronic toxicological value			Species	Sigle	Security Factor	Organization
		Exposure path	Target organ	Value				
PFBA	NC	oral	Hepatic	2,9 µg/kg/d	Rate	RfD	NOAEL / 2400	TCEQ 2016
		inhalation	Hepatic	10 µg/m^3	Rate	RfC	from oral value	TCEQ 2016
PFPeA	NC	oral	Hepatic	3,8 µg/kg/d	Rate	RfD	same than PFHxS LOAEL/(263*300)	TCEQ 2016
PFHxA	NC	oral	Hepatic	3,8 µg/kg/d	Rate	RfD	same than PFHxS LOAEL/(263*300)	TCEQ 2016
PFHpA	NC	oral	Hepatic	25 ng/kg/d	Rate	DJT	Extrapolation of DJT of Health Canada	ANSES 2017
PFOA	NC	oral	Hematologic	0,86 ng/kg/d	Rate	TDI	BMDL5	UBA 2020 BfR & EFSA 2018
			Hepatic, Mammar, Hematologic	12 ng/kg/d	Mice	RfD	LOAEL (81*100)	TECQ 2016
		inhalation	Hepatic	4,1 ng/m^3	Rate	RfC	NOAEL / (81*3000)	TCEQ 2016
	C	oral	Testicular tumors	2,52 (mg/kg/d)$^{-1}$	Epidemio	SF	-	New Jersey 2017
PFNA	NC	oral	Hematologic	2,5 ng/kg/d	Mouse	RfD	NOAEL / 300	EPA IRIS 2019 New Hampsire DES 2019
		inhalation	Lung, respiratory system	28 ng/m^3	Rate	RfC	NOAEL / (81*30 000)	EPA IRIS 2019 TCEQ 2018
PFDA	NC	oral	Hepatic	15 ng/kg/d	Rate	RfD	NOAEL / (81*1000)	TCEQ 2016
		inhalation		53 ng/m^3	Rate	RfC	from oral value	TCEQ 2016
PFBS	NC	oral	Hematologic and renal	1,4 µg/kg/d	Rate	RfD	NOAEL / (142*300)	TCEQ 2016
		inhalation		4,9 µg/m^3	Rate	RfC	from oral value	TCEQ 2016
PFHxS	NC	oral	Hematologic and thyroïdal	3,8 µg/kg/d	Rate	RfD	LOAEL / (263*300)	TCEQ 2016
		inhalation		13 ng/m^3	Rate	RfC	from oral value	TCEQ 2016
PFHpS	NC	oral	Hepatic	0,43 ng/kg/d	Rate	TDI	Potency Factor : 0,6-2	UBA 2020, EFSA 2018, BfR 2018
PFOS	NC	oral	Hepatic	1,86 ng/kg/d	Monkey	TDI	NOAEL	UBA 2020 BfR & EFSA 2018
		inhalation	Thyroidal, neurological and foetal development	81 ng/m^3	Rate	RfC	from oral value (23 ng/kg/j)	TCEQ 2016
PFOSA	NC	oral	Mammary glands	12 ng/kg/d	Mice	RfD	Same than PFOA NOAEL/(81*300)	TCEQ 2016
		inhalation		4,1 ng/m^3	Rate	RfC	same than PFOA NOAEL/(81*3000)	TCEQ 2016

Fig. 9 : Choix de certains VTR selon les critères en Fig. 7 (F. KARG 2021) :

ANSES: Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (2017)
ATSDR: Agency for Toxic Substances and Disease Registry
EFSA: European Food and Safety Authority
IRIS : Integrated Risk Information of Substances (U.S. - EPA)
UBA : Umweltbundesamt (Germany)
BfR: Bundesinstitut für Risikobewertung (Germany)
OEHHA : Office of Environmental Health Hazard Assessment
WHO: World Health Organization
RIVM : Netherlands Environmental & Health Institute
MDHHS: Michigan Department of Health and Human Services, Division of Environmental Health
TCEQ: Texas Commission on Environmental Quality
NJ-DWQIHES: New Jersey Drinking Water Quality Institute Health Effects Subcommittee
Wieneke et al. 2020 : Toxicological Equivalence factors on PFOA RfD

F. KARG / HPC INTERNATIONAL

Il est important de prendre en compte dans l'évaluation des risques sanitaires (EQRS, ARR, TERQ, HRA & HHRA), que les PFAS *poly*-fluorés présents dans les milieux d'exposition pourront être biotransformés en PFAS *per*-fluorés. Par ex., si l'EQRS est basée sur le 8:2-FTOH, une évaluation des risques doit intégrer aussi dans les incertitudes la biotransformation complète du 8:2-FTOH et l'exposition aux PFOA, PFHpA, PFHxA et PFPA dans la même réciprocité moléculaire comme celle du le 8:2-FTOH, présente au moment du diagnostic des pollutions. La même méthodologie s'applique pour le 6:2-FTOH et d'autres PFAS poly-fluorés précurseurs, selon les chaines de bio-transformation correspondantes.

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

(*) : EQRS : Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires - ARR : Analyse des Risques Résiduels - TERQ : Toxicological Exposure Risk Quantification – HHRA ou HRA : Human Health Risk Assessment.

5. Traitements des pollutions par des PFAS et notamment par les FTOH

La réhabilitation microbiologique n'est pas possible actuellement. La **réhabilitation des sols** comprend l'excavation et l'élimination ou l'incinération hors site, le lavage des sols, la stabilisation et les confinements (y compris la mise en décharge contrôlée ISDND & ISDD). Dans le cas des pollutions par des PFAS les traitements sont souvent assez couteux, notamment dans le cas des aménagements des sites, car l'élimination des terres excavées n'est pas facile du point de vue de faisabilité économique.

Concernant la **dépollution des eaux souterraines** des solutions in-situ existent, afin d'éviter les dépollutions trop onéreuses par P&T (Pompage et Traitement). Ces traitements in-situ sont par ex. l'application des charbons actifs colloïdaux. Les applications in situ pour les eaux souterraines sont possibles mais ont besoin d'une **étude de faisabilité technico-économique** (cf. Fig. 10).

F. KARG / HPC INTERNATIONAL

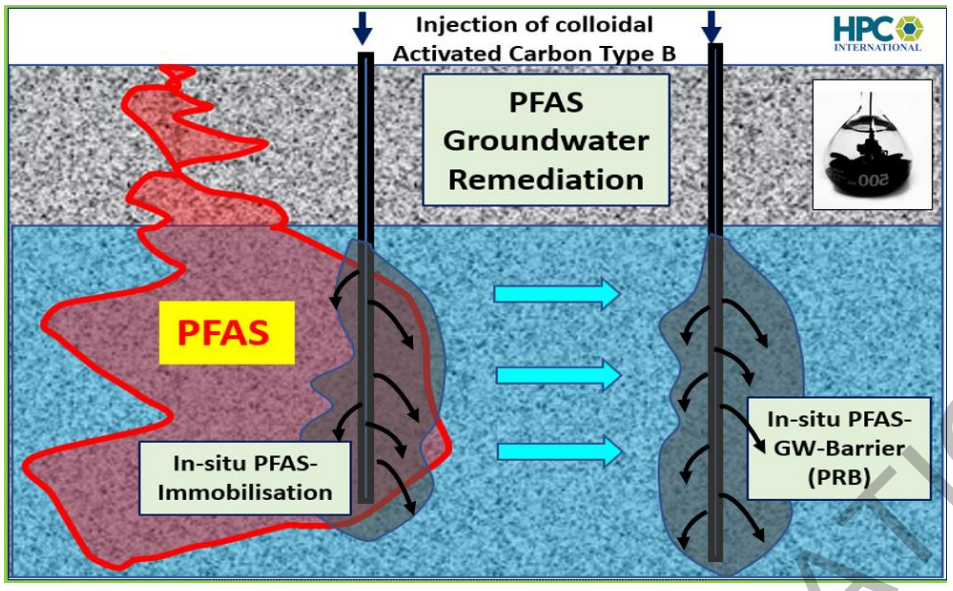


Fig. 10 : Application des traitements in-situ par Charbon actif colloïdal de Type B (F. KARG 2021) [25]

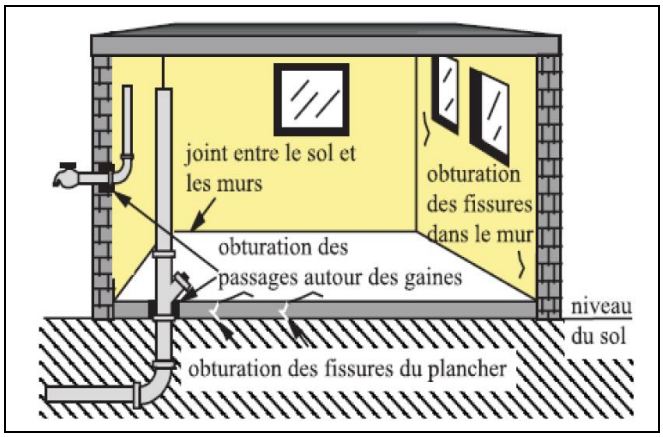
Dans les eaux superficielles, les PFAS pourront aussi être piégés par l'adsorption via des microalgues [25, 97]. Les traitements des pollutions par des PFAS volatils sous forme des FTOH, surtout dans l'emprise des ERP sensibles (Etablissements recevant le publique), comme les écoles et les crèches et même dans les zones résidentielles, pourront être réalisés par des **aspirations des gaz du sol** (SVE : Soil Vapor Extraction ou « Venting », mais avec des traitements adaptés des gaz d'évacuation) ou par des **dispositifs constructifs de gestion.**

Les **dispositifs constructifs de gestion dans le cas de pollution par des FTOH (PFAS volatils)** pourront être **moins onéreux**, comme par ex. :

- **Etanchéification à l'intérieur des bâtiments (par ex. des ERP ; écoles et crèches, etc.) + une ventilation des vides sanitaires (et/ou des éventuels drainages des gaz)** et la surveillance de l'air ambiant. Les Fig. 11 & 12 montrent des dispositifs constructifs de gestion possibles [122].

- Dans certains cas la **dépollution des gaz du sol** est nécessaire du fait de la présence significative des PFAS volatils ou leurs précurseurs (FTOH ou PAP), par ex. par Venting-SVE, intégré dans les bâtiments (cf. Fig. 12a & b) [122].

F. KARG / HPC INTERNATIONAL



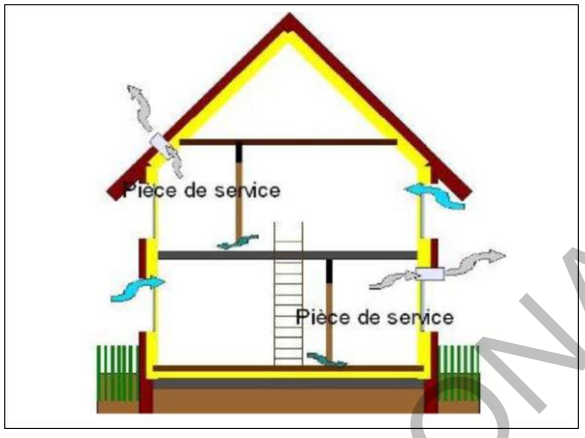
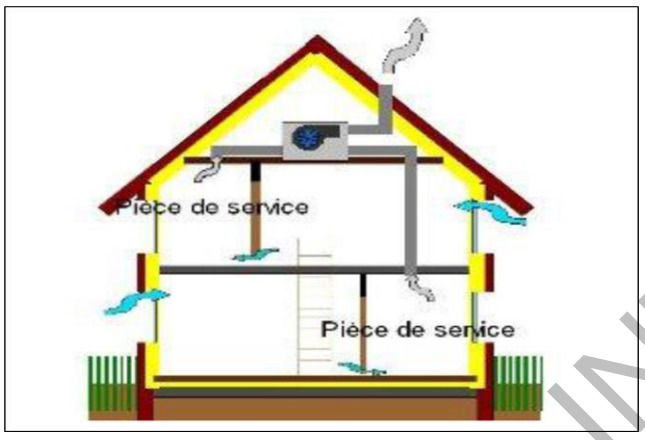


Fig. 11a & b: Example des dispositifs constructifs de gestion possibles (ROBE & BRGM 2014) : Etanchéifications [121, 124] et Ventilation naturelle par balayage [121, 124].



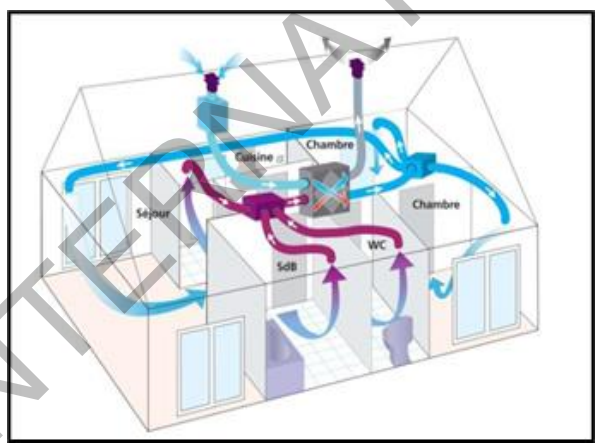


Fig. 11c & d : Ventilation à VMC simple flux à balayage et Ventilation à VMC double flux [124]

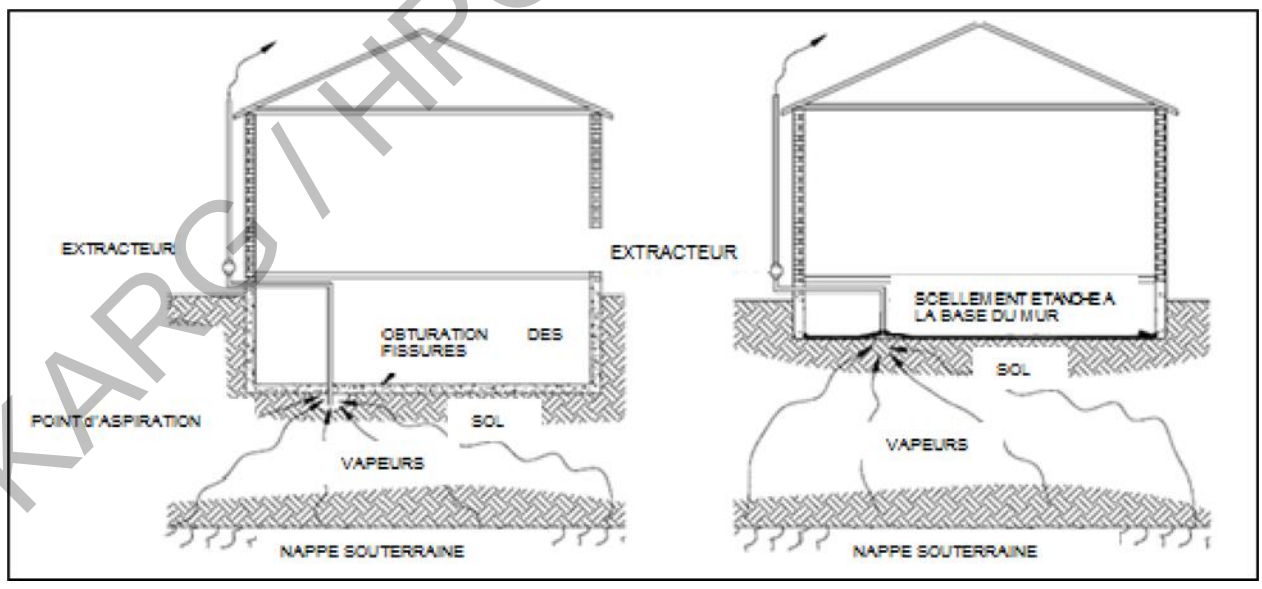


Fig. ; 12a & b : Dépollution et/ou prévention par Venting sous forme de Dépressurisation du sous-sol (SDS) et dépressurisation Sous Dalle (SDSD) [124]

F. KARG / HPC INTERNATIONAL

6. Conclusion

Il existe plus que 9 000 composés per- et poly-fluoroalkyles PFAS, Ils sont très solubles mais aussi bio-accumulables et dans la plupart des cas non-volatils, à l'exception des FTOH volatils, les Alcools fluorotélomères. Les PFAS poly-fluorés sont bio-transformés en PFAS per-fluorés stables et souvent plus toxiques (PFOA, PFPA, PFHxA, PFHpA, etc.).

Il existe des milliers de sites pollués par les PFAS. Il s'agit de sites de lutte contre l'incendie (comme sur les aéroports…), de multiples (anciennes) sites industriels, de terres agricoles ayant reçues des boues de STEP, etc. Des investigations des sites et des évaluations quantitatives des risques sanitaires (EQRS, ARR, TERQ, HRA, etc.) sont nécessaires en cas de présences des contaminations PFAS et notamment dans les sols, eaux souterraines, gaz du sol et l'Air ambiant. Les dépollutions sont difficiles mais possibles, suite à des études de faisabilité technico-économiques. **Une liste minimum des PFAS à investiguer lors des diagnostics de pollution et des évaluations des risques sanitaires est recommandée.**

7. Références

1. ITRC (2020): History and use of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS): New Jersey Department of Environmental Protection. https://pfas-1.itrcweb.org/fact_sheets_page/PFAS_Fact_Sheet_History_and_Use_April2020.pdf
2. Buck, R.C.; Franklin, J.; Berger, U.; Conder, J.M.; Cousins, I.T.; de Voogt, P.; Jensen, A.A.; Kannan, K.; Mab ury, S.A.; van Leeuw,S.P.J. Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in the environment: Terminology, classification, and origins. Integr. Environ. Assess. Manag. **2011**, 7, 513–541.
3. Barbarossa, A.; Masetti, R.; Gazzotti, T.; Zama, D.; Astolfi, A.; Veyrand, B.; Pession, A.; Pagliuca, G. Perflu oroalkyl substances in human milk: A first survey in Italy. Environ. Int. **2013**, 51, 27–30. [CrossRef] [PubMed]
4. 3M Voluntary Use and Exposure Information Profile for Perfluorooctanoic Acid and Salts. USEPA Ad ministrative Record AR226-0595. 2000. Available online: https://www.regulations.gov/document?D=EPA-HQ-OPPT-2002-0051-0009
5. Directive (UE) 2013/39/UE « Cadre sur l'eau » européenne (DCE), concernant le PFOS & dérivés (et pour d'autres substances prioritaires) **https://www.efsa.europa.eu/fr/news/pfas-food-efsa-assesses-risks-and-sets-tolerable-intake**
6. US EPA. EPA and 3M Announce Phase out of PFOS. Available online: https://archive.epa.gov/epapages/newsroom_archive/newsreleases/33aa946e6cb11f35852568e1005246b4.html
7. Chen, H.; Peng, H.; Yang, M.; Hu, J.; Zhang, Y. Detection, occurrence, and fate of fluorotelomer alcohols in municipal wastewater treatment plants. Environ. Sci. Technol. **2017**, 51, 8953–8961. [CrossRef] [PubMed]
8. Martin, J.W.; Mabury, S.A.; O'Brien, P.J. Metabolic products and pathways of fluorotelomer alcohols in isolat ed rat hepatocytes. Chem. Biol. Interact. **2005**, 155, 165–180. [CrossRef] [PubMed]
9. Backe, W.J.; Day, T.C.; Field, J.A. Zwitterionic, cationic, and anionic fluorinated chemicals in aqueous film f orming foam formulations and groundwater from U.S. military bases by nonaqueous large volume injection HPLC-MS/MS. Environ. Sci. Technol. **2013**, 47, 5226–5234. [CrossRef] [PubMed]

F. KARG / HPC INTERNATIONAL

10. European Parliament. Directive 2006/122/EC of the European Parliament and of the Council of 12 Dece mber 2006. Off. J. Eur. Union 372, 32–34.
11. UNEP (United Nations Environmental Programme). Report of the Conference of the Parties of the Stoc kholm Conventionon Persistent Organic Pollutants on the Work of Its Fourth Meeting. Available online: http://chm.pops.int/TheConvention/ConferenceoftheParties/Meetings/COP4/COP4Documents/tabid/531/D efault.aspx .
12. Maga, D.; Aryan, V.; Bruzzano, S. Environmental assessment of various end-of-life pathways for treating per- and polyfluoroalkyl substances in spent fireextinguishing waters. Environ. Toxicol. Chem. **2020**. [CrossRef]
13. Stoiber, T.; Evans, S.; Naidenko, O.V. : Disposal of products and materials containing per and polyfluoroalkyl substances (PFAS): A cyclical problem. Chemosphere **2020**, 260, 127659. [CrossRef]
14. Solo-Gabriele, H.M.; Jones, A.S.; Lindstrom, A.B.; Lang, J.R. : Waste type, incineration, and aeration are associated with per- and polyfluoroalkyl levels in landfill leachates. Waste Manag. **2020**, 107, 191-200. [CrossRef]
15. US EPA. Per-and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS): Incineration to Manage PFAS Waste Streams Background. https://www.epa.gov/sites/production/files/2019-09/documents/technical_brief_pfas_incineration_ioaa_approved_final_july_2019.pdf
16. Avendaño, S.; Liu, J. Production of PFOS from aerobic soil biotransformation of two perfluoroalkyl sulfonamide derivatives. Chemosphere **2015**, 119, 1084–1090. [CrossRef]
17. Eggen, T.; Moeder, M.; Arukwe, A. Municipal landfill leachates: A significant source for new and emerging pollutants. Sci. To-tal Environ. **2010**, 408, 5147–5157. [CrossRef]
18. Lang, J.R.; Allred, B.M.; Field, J.A.; Levis, J.W.; Barlaz, M.A. National estimate of per- and poly-fluoroalkyl substance (PFAS) release to U.S. municipal landfill leachate. Environ. Sci. Technol. **2017**, 51, 2197–2205. [CrossRef]
19. LfU (Bavarian Environment Agency). Per- und Polyfluorierte Chemikalien in Bayern: Untersuchungen 2006–2018. Available https://www.bestellen.bayern.de/application/applstarter?APPL=eshop&DIR=eshop&ACTIONxSETVAL(artdtl.htm,APGxNODENR:200594,AARTxNR:lfu_all_00153,AARTxNODENR:353133,USERxBODYURL:artdtl.htm,KATALOG:StMUG,AKATxNAME:StMUG,ALLE:x)=X
20. McMurdo, C.J.; Ellis, D.A.; Webster, E.; Butler, J.; Christensen, R.D.; Reid, L.K. Aerosol enrichment of the surfactant PFO and mediation of the water-air transport of gaseous PFOA. Environ. Sci. Technol. **2008**, 42, 3969–3974. [CrossRef]
21. Sinclair, E.; Mayack, D.T.; Roblee, K.; Yamashita, N.; Kannan, K. Occurrence of perfluoroalkyl surfactants in water, fish, and birds from New York State. Arch. Environ. Contam. Toxicol. **2006**, 50, 398–410. [CrossRef]
22. Ghisi, R.; Vamerali, T.; Manzetti, S. Accumulation of perfluorinated alkyl substances (PFAS) in agricultural plants: A review. Environ. Res. **2019**, 169, 326–341. [CrossRef]
23. Kannan, K.; Tao, L.; Sinclair, E.; Pastva, S.D.; Jude, D.J.; Giesy, J.P. Perfluorinated compounds in aquatic organisms at various trophic levels in a Great Lakes food chain. Arch. Environ. Contam. Toxicol. **2005**, 48, 559–566. [CrossRef]
24. Karg, F. (2021): Per et Polyfluoro Alkyl Substances: Pollution environnementale et Risque pour la Sante. Webinaire 22/10/2021. ARET : Association pour la Recherche en Toxicologie. https://aret.asso.fr/prochain-webinaire-de-laret-le-22-octobre-2021-inscription-gratuite-ouverte/
25. Kopf, L ; (2017) : Biotransformationsprozesse von Fluortelomeralkoholen/ PFC-Chemismus und FTOH-Analytik in der Bodenluft. Duale Hochschule Baden-Würtemberg, Karlsruhe TSHE14.
26. Sunderland, E.M.; Hu, X.C.; Dassuncao, C.; Tokranov, A.K.; Wagner, C.C.; Allen, J.G. A review of the pathways of human exposure to poly- and perfluoroalkyl substances (PFASs) and present understanding of health effects. J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol. **2019**, 29, 131–147. [CrossRef]

F. KARG / HPC INTERNATIONAL

27. Khalil, N.; Ducatman,A.M.;Sinari,S.;Billheimer,D.;Hu,C.;Littau,S.;Burgess,J.L: .Per-and polyfluoro alkyl substance and cardiometabolic markers in fire fighters. J.Occup. Environ. Med.2020,62,1076–1081.[CrossRef] [PubMed]
28. Leary, D.B.; Takazawa, M.; Kannan, K.; Khalil, N. Perfluoroalkyl substances and metabolic syndrome in firefighters. J. Occup. Environ. Med. **2020**, 62, 52–57. [CrossRef] [PubMed]
29. Russell, M.H.; Himmelstein, M.W.; Buck, R.C. Inhalation and oral toxicokinetics of 6:2 FTOH and its meta bolites in mammals. Chemosphere **2015**, 120, 328–335. [CrossRef]
30. Domingo, J.L.; Nadal, M. Human exposure to per- a nd polyfluoroalkyl substances (PFAS) through drinking water: A review of the recent scientific literature. Environ. Res. **2019**, 177, 108648. [CrossRef]
31. Winkens, K.; Vestergren, R.; Berger, U.; Cousins, I.T. Early life exposure to per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs): A critical review. Emerg. Contam. **2017**, 3, 55–68. [CrossRef]
32. Faure, S.; Noisel, N.; Werry, K.; Karthikeyan, S.; Aylward, L.L.; St-Amand, A. Evaluation of human biomonitoring data in a health risk based context: An updated analysis of population level data from the Canadian Health Measures Survey. Int. J. Hyg. Environ. Health **2020**, 223, 267–280. [CrossRef]
33. Lau,C.;Anitole,K.;Hodes, C.;Lai,D.;Pfahles- Hutchens,A.; Seed,J.: Perfluoroalkyl acids: A review of monitoring and toxicologicalfindings.Toxicol.Sci.2007,99,366–394.[CrossRef]
34. Li, Y.; Fletcher, T.; Mucs, D.; Scott, K.; Lindh, C.H.; Tallving, P.; Jakobsson, K. Half-lives of PFOS, PFHxS and PFOA after end of exposure to contaminated drinking water. Occup. Environ. Med. **2018**, 75, 46–51. [CrossRef]
35. Butt, C.M.; Muir, D.C.G.; Mabury, S.A. Biotransformation pathways of fluorotelomer-based polyfluoroalkyl substances: A review. Environ. Toxicol. Chem. **2014**, 33, 243–267. [CrossRef] [PubMed]
36. Nilsson, H.; Kärrman, A.; Rotander, A.; van Bavel, B.; Lindström, G.; Westberg, H. Biotransformation of fluor otelomer compound to perfluorocarboxylates in humans. Environ. Int. **2013**, 51, 8–12. [CrossRef] [PubMed]
37. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR): Toxicological Profile for Perfluoroalkyls (Draft for Public Comment). https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp.asp?id=1117&tid=237
38. DeWitt, J.C.; Shnyra, A.; Badr, M.Z.; Loveless, S.E.; Hoban, D.; Frame, S.R.; Cunard, R.; Anderson, S.E. ; Meade, B.J.; Peden-Adams, M.M.; et al. Immunotoxicity of perfluorooctanoic acid and perfluoro-octane sulfonate and the role of peroxisome proliferator-activated receptor alpha. Crit. Rev. Toxicol. **2009**, 39, 76–94. [CrossRef]
39. Dewitt, J.C.; Peden-Adams, M.M.; Keller, J.M.; Germolec, D.R. Immunotoxicity of perfluorinated compounds: Recent developments. Toxicol. Pathol. **2012**, 40, 300–311. [CrossRef] [PubMed]
40. Foguth, R.; Sepúlveda, M.S.; Cannon, J. Per-and polyfluoroalkyl substances (PFAS) neurotoxicity in sentinel and non-traditional laboratory model systems: Potential utility in predicting adverse outcomes in human health. Toxics **2020**, 8, 42. [CrossRef]
41. Thompson, C.M.; Fitch, S.E.; Ring, C.; Rish, W.; Cullen, J.M.; Haws, L.C. Development of an oral ref erence dose for the perfluorinated compound GenX. J. Appl. Toxicol. **2019**, 39, 1267–1282. [CrossRef] [PubMed]
42. Knutsen, H.K.; Alexander, J.; Barregård, L.; Bignami, M.; Brüschweiler, B.; Ceccatelli, S.; Cottrill, B.; Dinovi, M.; Edler, L.; Grasl-Kraupp, B.; et al. Risk to human health related to the presence of perfluoro-octane sulfonic acid and perfluorooctanoic acid in food. EFSA J. **2018**, 16, e05194. [CrossRef]
43. US EPA. Health Effects Support Document for Perfluorooctanoic Acid (PFOA). https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-05/documents/pfoa_hesd_final-plain.pdf **2020**
44. Fenton, S.E.; Ducatman, A.; Boobis, A.; DeWitt, J.C.; Lau, C.; Ng, C.; Smith, J.S.; Roberts, S.M. Per-and polyfluoroalkyl substance toxicity and human health review: Current State of knowledge and strategies for informing future research. Environ. Toxicol. Chem. **2020**. [CrossRef] [PubMed]
45. NTP (National Toxicology Program). Monograph on Immunotoxicity Associated with Exposure to Perfluoroocta noic Acid (PFOA) and Perfluorooctane Sulfonate (PFOS). Available online: https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/ohat/pfoa_pfos/pfoa_pfosmonograph_508.pdf (2020).

F. KARG / HPC INTERNATIONAL

46. Oulhote, Y.; Steuerwald, U.; Debes, F.; Weihe, P.; Grandjean, P. Behavioral difficulties in 7-year old children in relation to developmental exposure to perfluorinated alkyl substances. Environ. Int. **2016**, 97, 237–245. [CrossRef] [PubMed]
47. Luo, J.; Xiao, J.; Gao, Y.; Ramlau-Hansen, C.H.; Toft, G.; Li, J.; Obel, C.; Andersen, S.L.; Deziel, N.C.; Tseng, W.L.; et al : . Prenatal exposure to perfluoroalkyl substances and behavioral difficulties in childhood at 7 and 11 years. Environ. Res. **2020**, 191, 110111. [CrossRef]
48. Blake, B.E.; Fenton, S.E. Early life exposure to per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) and latent health outcomes A review including the placenta as a target tissue and possible driver of peri- and postnatal effects. Toxicology **2020**, 443, 152565. [CrossRef]
49. Ballesteros, V.; Costa, O.; Iñiguez, C.; Fletcher, T.; Ballester, F.; Lopez-Espinosa, M.J. Exposure to perfluoroalkyl substances and thyroid function in pregnant women and children: A systematic review of epidemiologic studies. Environ. Int. **2017**, 99, 15–28. [CrossRef]
50. Kim, M.J.; Moon, S.; Oh, B.-C.; Jung, D.; Ji, K.; Choi, K.; Park, Y.J. Association between perfluoroalkyl substances exposure and thyroid function in adults: A meta-analysis. PLoS ONE **2018**, 13, e0197244. [CrossRef]
51. Blake, B.E.; Pinney, S.M.; Hines, E.P.; Fenton, S.E.; Ferguson, K.K. Associations between longitudina l serum perfluoroalkyl substance (PFAS) levels and measures of thyroid hormone, kidney function, and body mass index in the Fernald Community Cohort. Environ. Pollut. **2018**, 242, 894–904. [CrossRef]
52. Reardon, A.J.F.; Khodayari Moez, E.; Dinu, I.; Goruk, S.; Field, C.J.; Kinniburgh, D.W.; MacDonald, A.M.; M artin, J.W. Longitudinal analysis reveals early-pregnancy associations between perfluoroalkyl sulfonates and thyroid hormone status in a Canadian prospective birth cohort. Environ. Int. **2019**, 129, 389–399. [CrossRef]
53. Stanifer, J.W.; Stapleton, H.M.; Souma, T.; Wittmer, A.; Zhao, X.; Boulware, L.E. Perfluorinated chemicals as emerging environmental threats to kidney health: A scoping review: Clin. J. Am. Soc. Nephrol. **2018**, 13, 1479–1492. [CrossRef] [PubMed]
54. Di Nisio, A.; Sabovic, I.; Valente, U.; Tescari, S.; Rocca, M.S.; Guidolin, D.; Dall'Acqua, S.; Acquasalient e, L.; Pozzi, N.; Plebani, M.; et al. Endocrine disruption of androgenic activity by perfluoroalkyl substances: Clinical and experimental evidence. J. Clin. Endocrinol. Metab. **2019**, 104, 1259–1271. [CrossRef] [PubMed]
55. Ding, N.; Harlow, S.D.; Randolph, J.F.; Loch-Caruso, R.; Park, S.K. Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFAS) and their effects on the ovary. Hum. Reprod. Update **2020**, 26, 724–752. [CrossRef]
56. Liew, Z.; Luo, J.; Nohr, E.A.; Bech, B.H.; Bossi, R.; Arah, O.A.; Olsen, J. Maternal plasma perfluoroalkyl subs tances and miscarriage: A nested case-control study in the Danish National Birth Cohort. Environ. Health Perspect. **2020**, 128, 047007. [CrossRef]
57. Di Nisio, A.; Rocca, M.S.; De Toni, L.; Sabovic, I.; Guidolin, D.; Dall'Acqua, S.; Acquasaliente, L.; De Filippis, V.; Plebani, M.; Foresta, C. Endocrine disruption of vitamin D activity by perfluoro-octanoic acid (PFOA). Sci. Rep. **2020**, 10, 16789. [CrossRef]
58. Consonni, D.; Straif, K.; Symons, J.M.; Tomenson, J.A.; Van Amelsvoort, L.G.P.M.; Sleeuwenhoek, A.; Cherrie, J.W.; Bonetti, P.; Colombo, I.; Farrar, D.G; **Cancer risk** among tetrafluoroethylene synthesis and polymerization workers. Am. J. Epidemiol. **2013**, 178, 350–358. [CrossRef] [PubMed]
59. Barry, V.; Winquist, A.; Steenland, K. Perfluorooctanoic acid (PFOA) exposures and incident cancers amon g adults living near a chemical plant. Environ. Health Perspect. **2013**, 121, 1313–1318. [CrossRef]
60. Vieira, V.M.; Hoffman, K.; Shin, H.-M.; Weinberg, J.M.; Webster, T.F.; Fletcher, T. Perfluorooctanoic Acid exposure and cancer outcomes in a contaminated community: A geographic analysis. Environ. Health Perspect. **2013**, 121, 318–323. [CrossRef]
61. Chang, E.T.; Adami, H.-O.; Boffetta, P.; Cole, P.; Starr, T.B.; Mandel, J.S. A critical review of perfluoro-octanoate and perfluorooctanesulfonate exposure and cancer risk in humans. Crit. Rev. Toxicol. **2014**, 44, 1–81. [CrossRef]
62. Hanahan, D.; Weinberg, R.A. The hallmarks of cancer. Cell **2000**, 100, 57–70. [CrossRef]
63. Hanahan, D.; Weinberg, R.A. Hallmarks of cancer: The next generation. Cell **2011**, 144, 646–674. [CrossRef]

F. KARG/HPC INTERNATIONAL

64. Temkin, A.M.; Hocevar, B.A.; Andrews, D.Q.; Naidenko, O.V.; Kamendulis, L.M. Application of the Key characteristics of carcinogens to per and polyfluoroalkyl substances. Int. J. Environ. Res. Public Health **2020**, 17, 1668. [CrossRef]

65. Smith, M.T.; Guyton, K.Z.; Gibbons, C.F.; Fritz, J.M.; Portier, C.J.; Rusyn, I.; DeMarini, D.M.; Caldwell, J.C. ; Kavlock, R.J.; Lambert,P.F.; et al. Key characteristics of carcinogens as a basis for organizing data on me chanisms of carcinogenesis. Environ. Health Perspect. **2016**, 124, 713–721. [CrossRef] [PubMed]

66. Guyton, K.Z.; Rusyn, I.; Chiu, W.A.; Corpet, D.E.; van den Berg, M.; Ross, M.K.; Christiani, D.C.; Bel and, F.A.; Smith, M.T. Application of the key characteristics of carcinogens in cancer hazard identification. Carcinogenesis **2018**, 39, 614–622. [CrossRef] [PubMed]

67. Emerce, E.; Çetin, Ö. Genotoxicity assessment of perfluoroalkyl substances on human sperm. Toxicol. Ind. H ealth **2018**, 34, 884–890. [CrossRef] [PubMed]

68. Butenhoff, J.L.; Kennedy, G.L.; Chang, S.C.; Olsen, G.W. Chronic dietary toxicity and carcinogenicity st udy with ammonium perfluorooctanoate in Sprague-Dawley rats. Toxicology **2012**, 298, 1–13. [CrossRef] [PubMed]

69. Peters, J.M.; Shah, Y.M.; Gonzalez, F.J. The role of peroxisome proliferator-activated receptors in carcinogenesis and chemoprevention. Nat. Rev. Cancer **2012**, 12, 181–195. [CrossRef]

70. Behr, A.C.; Lichtenstein, D.; Braeuning, A.; Lampen, A.; Buhrke, T. Perfluoroalkylated substances (PFAS) affect neither estrogen
and androgen receptor activity nor steroidogenesis in human cells in vitro. Toxicol. Lett. **2018**, 291, 51–60. [CrossRef]

71. Wielsøe, M.; Kern, P.; Bonefeld-Jørgensen, E.C. Serum levels of environmental pollutants is a risk factor for breast cancer in Inuit: A case control study. Environ. Health A Glob. Access Sci. Source **2017**, 16, 56. [CrossRef]

72. International Agency for Research on Cancer (IARC). Some Chemicals Used as Solvents and in Polymer Manu facture. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans; International Agency for Research on Cancer: Lyon, France, **2016**; Volume 110, ISBN 978-92-832-0148-9.

73. US EPA. Health Effects Support Document for Perfluorooctane Sulfonate (PFOS). Available online: https://www.epa.gov/sites/
production/files/2016-05/documents/pfos_hesd_final_508.pdf (2020).

74. Brasse, R.A. ; Mullin, E.J. & Spink, D.C. (2021): Legacy and Emerging Per- and Polyfluoroalkyl Substances. International Journal of Molecular Science MDPI, 22? 995. https://doi.org/10.3390/ijms22030995

75. ANSES (2015) : Connaissances relatives à la réglementation, à l'identification, aux propriétés chimiques à la production et aux usages des composés de la famille des Perfluorés (Tome 1). https://www.anses.fr/fr/system/files/SUBCHIM2009sa0331Ra-101.pdf

76. ANSES (2015) : Connaissances relatives aux données de contamination et aux expositions par descomposés de la famille des Perfluorés (Tome 2). https://www.anses.fr/fr/system/files/SUBCHIM2009sa0331Ra-102.pdf

77. ANSES (2015) : Connaissances relatives aux données de toxicité sur les composés de la famille desPerfluorés (Tome 3). https://www.anses.fr/fr/system/files/SUBCHIM2009sa0331Ra-103.pdf

78. Wieneke, B. ; Zeilmaker, M. ; Fragki, S.; Lijzen, J.; Verbruggen, E.; Bokkers, B. (2020): Risk Assessment of Per- and Polyfluoroalkyl Substance Mixtures: A Relative Potency Factor Approach. Environmental Toxicology and Chemistry Volume 40, Issue 3 p. 859-870https://doi.org/10.1002/etc.4835 https://setac.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/etc.4835

79. ANSES (2017): AVIS de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à l'évaluation des risques sanitaires d'alkyls per- et polyfluorés dans les eaux destinées à la consommation humaine. Saisine n° 2015-SA-0105 Saisine liée n° 2012-SA-0001 https://www.anses.fr/fr/system/files/EAUX2015SA0105.pdf

80. US-EPA (2016) : Health Effects Support Document for Perfluorooctanoic Acid (PFOA).EPA 822-R-16-003. https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-05/documents/pfoa_hesd_final_508.pdf

81. ATSDR (2021): Toxicological Profile for Perfluoroalkyls. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp200-p.pdf

F. KARG / HPC INTERNATIONAL

82. MDHHS (2019): Michigan Department of Health and Human Services, Division of Environmental Health Michigan PFAS Action Response Team Human Health Workgroup. Public health drinking water screening levels for PFAS. https://www.michigan.gov/documents/pfasresponse/MDHHS_Public_Health_Drinking_Water_Screening_Levels_for_PFAS_651683_7.pdf

83. TCEQ (2016) : Perfluoro Compounds (PFCs): RfD Values. Texas Commission on Environmental Quality https://www.tceq.texas.gov/assets/public/implementation/tox/evaluations/pfcs.pdf

84. UBA (2010): Sanierungsmanagement für lokale und flächenhafte PFAS-Kontaminationen. Texte 137/2020. Umweltbundesamt, Berlin. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-07-13_texte_137-2020_handbuch_pfas.pdf

85. UBA (2010): Sanierungsmanagement für lokale und flächenhafte PFAS-Kontaminationen Anhang A. Texte 137/2020. Umweltbundesamt, Berlin. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-07-13_texte_137-2020_handbuch_pfas-anhang-a.pdf

86. UBA (2010): Sanierungsmanagement für lokale und flächenhafte PFAS-Kontaminationen Anhang B. Texte 137/2020. Umweltbundesamt, Berlin. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-07-13_texte_137-2020_handbuch_pfas-anhang-b.pdf

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

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

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

90. State of New Hampshire Environmental Services (2019): Direct Contact Risk-Based Soil Concentrations for Perfluorooctanoic acid (PFOA), Perfluorooctane sulfonate (PFOS), Perfluorohexane sulfonic acid (PFHxS) and Perfluorononanoic acid (PFNA): State of New Hampshire, December 11, 2019. https://www4.des.state.nh.us/nh-pfas-investigation/wp-content/uploads/PFAS-DCRB-value-121119.pdf

91. US Department of Defense (Assessed 27/02/2022): Appendix I - PFAS Toxicity Profiles. https://defence.gov.au/Environment/PFAS/docs/Tindal/Reports/201806HHRAAppIToxicityProfiles.pdf

92. UBA (2016): HBM I values for Perfluorooctanoic acid (PFOA) and Perfluorooctanesulfonic acid (PFOS) in blood plasma Statement of the German Human Biomonitoring Commission (HBM Commission). Announcement of the German Environment Agency (UBA). Bundesgesundheitsbl 2016 · 59:1364 DOI 10.1007/s00103-016-2437-1. https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00103-016-2437-1.pdf https://link.springer.com/article/10.1007/s00103-016-2437-1

93. Wie-Chun Chou, Zhoumeng Lin (2020): Probabilistic human health risk assessment of perfluorooctane sulfonate (PFOS) by integrating in vitro, in vivo toxicity, and human epidemiological studies using a Bayesian-based dose-response assessment coupled with physiologically based pharmacokinetic (PBPK) modeling approach. nvironment International, Volume 137, April 2020, 105581. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016041201933805X https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S016041201933805X?token=134AF5A3441CFB49FFE7BBA90CE64A74DDF7936B3178BEF86DE71342FFBADF1A81613100CDB6638F9DEE07BFEF182C65&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220227001829

94. US-EPA (2021): Health & Environmental Research Online (HERO). United States Environmental Protection Agency. https://hero.epa.gov/hero/index.cfm/reference/details/reference_id/5026091

95. US-EPA (2019): Systematic Review Protocol for the Perfluorodecanoic Acid (PFDA) IRIS Assessments (Prelimary Assessment Materials). United States Environmental Protection Agency. https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=NCEA&count=10000&dirEntryId=345088&searchall=&showcriteria=2&simplesearch=0&timstype=

F. KARG / HPC INTERNATIONAL

96. Monti, C.: Rose, N.; Negley, T. (2021): PFAS Fingerprinting: A multivariate forensic analysis to detect the origin and extent of PFAS contamination in Northern Italy. SETAC 2021 ; 3- 6 May, 2021.

97. UPDS (2021): Les Polluants emergent. La Magasine des Professiones de dépollution des sites. No 9, Juin 2021. https://www.fnade.org/ressources/_pdf/2/3425-UPSD_Mag_9.pdf

98. Held, T. (2020) : Precursor. Altlastenspektrum . 06/2020.p. 225. https://www.altlastenspektrum-itva.de/neuheft6_20.html

99. Georgi, J., Bsch, J., Bruns, J., Mackenzie, K., Saeidi, N., Kopinke, F.D. (2020): Precursor. Altlastenspektrum . 06/2020, p. 232. https://www.altlastenspektrum-itva.de/neuheft6_20.html

100. AFSSET, Karg, F. et al (2010) : Valeurs toxicologiques de référence (VTR) pour les substances cancérogènes (Toxicological Reference Values for cancerogenic Compounds) - Méthode de construction de VTR fondées sur des effets cancérogènes - Saisine n°2004/AS16. Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail, 05/2010 (aujourd'hui ANSES : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire). http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/141844903203317036420911165719/VTR_cancer_methodologie_afsset_mars10.pdf

101. Karg, F. (2010) : Recensement des menaces environnementales pour la santé publique et l'importance de la pollution de l'air ambiant. Rapport de l'INVS / Inventory of environmental threats on public health and links with ambient air pollution. INVS report – Minutes AtmosFair, Lyon 28/09/2010.

102. Solal, C. Jabbour, V., El Ghissassi, F., Karg, F., Enriquez, B., Rousselle, C., Bodin, L. (2010) : Carcinogenic Toxicological Reference Values for Chloronitrobenzene Isomers. Poster : IUTOX Barcelona : 07/2010.

103. Karg, F. (2011): Methodology of risk management in case of exposure uncertainties on working places with special regard on contaminated sites and buildings. Minutes INTERSOL, Lyon le 29/03/2011.

104. Karg, F. & Vircondelet, S. (2011): Méthodologies EQRS & ARRp de Gestion et Technologies de Réhabilitation des Zones contaminées par le Chlordécone: La Gestion Globale (Methodology of Quantified and preventive Health Risk Assessments for site specific Remediation Goals and Remediation Technologies for Zones contaminated with the Chlordecone Pesticide). Remédiation à la Pollution par la Chlordécone aux Antilles. PRM : Cahier du Pôle de Recherche Agro-environnnementale de la Martinique. N° 9-10, 04-2011, p. 76 – 84.
https://www.caec-carib.org/content/download/4541/33344/version/2/file/Rem%C3%A9diation+%C3%A0+la+pollution+par+la+chlord%C3%A9cone+aux+Antilles.pdf

105. Glorennec, P., Karg, F. et al. (2011) : Améliorations de la démarche d'évaluation des risques sanitaires : contribution de la section « Méthodologie d'évaluation des risques sanitaires » de la SFSE. (Optimization of Health Risk Assessments). ERS : Evironnement, Risques & Santé. Vol. 10. No 2, March – April 2011.

106. Karg, F. (2012): Internationaler State-of-the-Art der standortspezifischen Risikobewertung / International State-of-the-Art concerning Contaminated Site HRA: Health Risk Assessents. Script of Symposium. ITVA-Symposium. Hamburg 22-23/03/2012.

107. Karg, F. & Kopytynski, W. (2012) : EQRS : Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires et réhabilitation dans le cas des pollutions par des additifs, impuretés et métabolites / Exemples : Picloram, Bromacile, Chlordécone, 2,4-D et Glyphosate/AMPA en Europe, Asie (Chine et Vietnam) et Amérique du Sud / TERQ: Toxicological Exposure Risk Quantification and remediation in case of environmental contamination by pesticide additives, impurities and metabolites: Examples of Picloram, Bromacile, Chlordecone, 2,4-D and Glyphosate/AMPA in Europe, Asia (China & Vietnam) and South America). Minutes of INTERSOL 2012, Paris-Ivry 27-30/03/2012.

108. Glorennec, P., Imbert, M., Ronga-Pezeret, S., Karg, F., Bonvallot, N., Boulanger, G., Maurau, S., Guillossou, G. & Rouhan, A. (2012) : Objectifs et résultats attendus d'une évaluation des risques sanitaires. (Goals of Health Risk Assessments) Section "Méthodologie d'évaluation des risques sanitaires" de la SFSE. Objectifs et résultats attendus d'une évaluation des risques sanitaires. Environnement Risque Sante 2012 ; 11 : 240-2.doi : 10.1684/ers.2012.0541

109. Karg. F. (2012): Combined professional and Residential Toxicological Exposure Risks by VOC. AtmosFair Congress Book, Lyon / France 26-27/09/2012.

F. KARG / HPC INTERNATIONAL

110. Karg. F. (2013) : Les risques combines professionnels et résidentiels d'éxposition toxicologiques via l'air ambiant par les COV / Ambient Air Combined professional and Residential Toxicological Exposure Risks by VOC. Minutes of Congress, Intersol Lyon / France : 26 – 28th of March 2013.

111. Karg, F. (2013): Consideration of emerging pollutants in the indoor air / La prise en compte des polluants émergents dans l'air intérieur. Minutes of Congress. AtmosFair, Paris, 25-26 September 2013.

112. Karg, F. (2013): Using the Toxicological Exposure Risk Quantification (TERQ) to assess potential combination effects; Fresenius Akademie Mainz / Mayence / Germany: Public Seminar Documents: "Human Health" 13./14. November 2013.

113. Karg, F., Robin-Vigneron, L., Vircondelet, S. (2013): Cancer Risk Occurrence on Contaminated Sites: Experience Feed-back on HRA: Health Risk Assessments on 160 sites in France and Germany. Poster on Congress: Congès National de la SFSE (Société Française de la Santé – Environnement) : Cancer et l'Environnement – CNRS, Lyon 28 – 29 November 2013.

114. Karg, F. (2013): Health risk based Dioxin & POP Management in EC: European Community: PCDD/F-& PCB-Contaminations & Methodology for site investigations, health risk assessment and remediation. Sharing Lessons-Learned - Dioxin/POPs Pollution Assessment and Remediation in Vietnam. Minutes of Congress - Da Nang, Vietnam, December 1-4, 2013.

115. Karg. F. (2016): MOA-Methodology of Risk Assessment and Exposure on Pollutant Cocktails (Agent Orange & Agent Blue, Dioxins, Pesticides, Chloro-phenols, Arsenic). Méthodologie MOA des évaluations des expositions aux cocktails de polluants : Agent Orange et Agent Bleu, etc. (Dioxines, Pesticides, Chlorophenols, Arsenic). Intersol Congess Minutes, Lille 16th of March 2016

116. PORTELIUS, E., DURIEU, E., BODIN, M., CAM, M., PANNEE, J., LEUXE, C., MABONDZO, A., OUMATA, N., GALONS, H., LEE, Y., CHANG, Y-T., STÜBER, K., KOCH, P., FONTAINE, G., POTIER, M-C., MANOUSOPOULOU, A., GARBIS, S., COVACI, A., VAN DAM, D., DE DEYN, P., KARG, F., FLAJOLET, M., OMORI, C., HATA, S., SUZUKI, T., BLENNOW, K., ZETTERBERG, K. and MEIJER, L. (2016): Specific triazine herbicides induce amyloid β 42 Production. Journal of Alzheimer's Disease, 54 (2016) p.1593–1605. DOI 10.3233/JAD-160310, IOS Press.

117. Karg, F. (2017) : CWA Chemical Warfare Agents: Case Studies on Environmental Chemistry, Site Investigations, Risk Assessment and Site Decontamination & Remediation. Intersol, Lyon / France, 16th of March 2017. Minutes of Congres.

118. Karg, F. (2017): Identification, Monitoring, Risk Assessment and Management of Cities' & Quarter specific Air Pollution in addition to « standard » Pollutants Parameters. Minutes of Congress: AtmosFair, Lyon France, 10-11th of October 2017.

119. Karg, F. (2018): Internationale Ansätze in der Gefährdungsabschätzung im Vergleich zum deutschen Bodenschutzrecht. (International Approaches of Health Risk Assessments in Comparaison with German Regulations) Seminar: Wirkungspfad Boden – Mensch: Regierungspräsidium Stuttgart (Seminar: Exposures from Soil to Humans. Stuttgart / Germany 20/02/2018. Minutes of Seminar.

120. Karg, F. (2019): Needs for Technical & Regulatory Management for contaminations by PFT (PFAS): Poly- & Perflourinated Tensides: Study cases for Environmental Chemistry, site Investigations, Risk Assessment and Site Decontamination & Remediation (Besoins de Gestion technico-réglementaire des Contaminations par des TPF : Tensioactifs Poly- & Perfluorés : Etudes de cas concernant la chimie environnementale, les évaluations des risques et la décontamination & réhabilitation des sites pollués. Minutes of Congres INTERSOL Lille / France: 26th to 28th of March 2019.

121. Karg, F. (2021): Case Studies of Polluted Site Management in Case of non-acceptable toxic Risks by Indoor Air Contamination via volatile Pollutants (Polar & Chlorinated Solvents: TCE, PCE, DCE, VC and also BTEX, HC5-16, etc.) / Etudes de Cas de Gestion des Sites Pollués à Impact à Risque Sanitaire non-acceptable des polluants volatils des Sites pollués sur l'air ambient intérieur des entreprises et des locaux résidentiels (Solvants polaires & chlorés : TCE, PCE, DCE, VC et aussi BTEX, HC5-16, etc.). Minutes of Congress INTERSOL , Paris, 07 – 09/09/2021.

122. Karg, F. (2022): TERQ*-Modell zur Rückrechnung von Raumluftkonzentrationen (PCB aus Fugen, Anstrichen, Deckenplatten, etc.) sowie bei anderen Schadstoffen zur Ermittlung der Notwendigkeit von Sanierungsmaßnahmen (TERQ*-Model for Definition of Needs for Building Remediation & Decontamination in Case of PCB-Presence in In-Door Ambient Air)/ Gesundheitsgefahren durch PCB in Gebäuden (Health Risks by PCB in Buildings). DECONex Fachkongress Schadstoffmanagement / Congress Pollution Management in Buildings. Essen / Germany 19-20/01/2022. Congress Minutes.

F. KARG / HPC INTERNATIONAL

123. ATSDR (2021) : Toxicological Profile for Perfluoroalkyls. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp200-p.pdf

124. BRGM (2014): Guide relatif aux mesures constructives utilisables dans le domaine des SSP ; BRGM/RP-63675-FR https://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-63675-FR.pdf

F. KARG / HPC INTERNATIONAL

Outil de calcul de risques sanitaires préliminaires facile d'utilisation pour la classification de sites pollués requérant une réhabilitation

MORAES, Rosana, Consultant senior en environnement - WSP Golder
31 rue Gorge de Loup, 69009 Lyon - France
M : +33 (0) 7 77 23 71 92, T : +33 (0)4 72 53 73 10
rosana.moraes@wsp.com

Auteurs: R Moraes[1], S Crouzy[1], M Gehin[2], L Botteloup[2], O Bagard[1]

[1] WSP Golder ; [2] Engie

Le parc immobilier d'ENGIE est impacté par l'histoire industrielle de Gaz de France. En effet, la majorité des actifs immobiliers portés par ENGIE SA ont accueilli par le passé des activités gazières, notamment des usines à gaz.

Dans ce contexte, ENGIE a mandaté Golder (membre de WSP) pour mettre à jour et optimiser son outil historique de calcul préliminaire permettant une analyse des risques préliminaire et son guide d'utilisation.

Cet outil n'a pas pour but de s'affranchir d'une ARR post-travaux, mais a vocation à répondre à un besoin d'un maître d'ouvrage comme ENGIE gérant un patrimoine conséquent avec des sites ayant des problématiques semblables.

Cet outil est destiné à être utilisé en première approche pour identifier les sites potentiellement à risques. Pour cela, l'outil permet de réaliser très rapidement et a priori, une première modélisation des risques sanitaires estimés selon les concentrations mesurées sur site dans les gaz du sol principalement, et/ou dans les sols, par rapport au projet/usage futur envisagé. Cet outil ARR préliminaire consiste en un ensemble de feuilles de calculs Excel prêtes à l'emploi, requérant 2 choix (scénario et type de sol) et le renseignement de concentrations d'entrée pour calculer des risques résiduels préliminaires. Il s'agit d'un outil dont l'utilisation est simplifiée par rapport à un logiciel de calcul de risques sanitaires classique et qui permet de dégager rapidement une tendance et soutenir la réflexion engagée par ENGIE. Si les conclusions de l'ARR préliminaire sont défavorables, cela conduit à entreprendre une analyse complémentaire pouvant donner lieu à de nouvelles investigations, l'ajustement de travaux de dépollution et/ou l'ajout de mesures constructives.

L'outil s'applique pour les usages futurs industriel/tertiaire et résidentiel collectif sans jardin potager et/ou verger. Deux voies d'exposition potentielles distinctes ont été intégrées : la voie inhalation de vapeurs, engendrée par la volatilisation de composés volatils issue des sols et/ou des eaux souterraines et la voie ingestion de sols. Pour la voie d'exposition inhalation de vapeurs en intérieur, des coefficients d'atténuation entre le gaz du sol et l'air ambiant intérieur ont été modélisés pour plusieurs substances volatiles pour les différents types de bâtiments et les paramètres correspondants avec le modèle de Johnson et Ettinger.

L'utilisation de l'outil ARR préliminaire ne se substitue aucunement à la réalisation d'une Analyse des Risques Résiduels réalisée dans le cadre de la réception des travaux de réhabilitation, avec les données mesurées en fin de chantier de réhabilitation, qui est le seul document faisant foi pour attester de la compatibilité sanitaire d'un site pour l'usage spécifié.

Caractérisation des risques sanitaires et environnementaux dans le cadre de la remédiation d'une friche industrielle par le phytomanagement : projet ECOPOLIS

B. Pauget[1], A. De Vaufleury[2], M. Chalot[2], C. Guyeux[3], N. Kieffer[4], C. Kuhn[5]
benjamin.pauget@tesora.fr

[1] TESORA ; [2]UMR Laboratoire Chrono-environnement UMR Université Bourgogne Franche-Comté/ CNRS ; [3]Institut FEMTO-ST ; [4]Pays de Montbéliard Agglomération ; [5]Agence de Développement Urbain (ADU-PMA)

L'objectif général d'ECOPOLIS est la réhabilitation d'une friche industrielle située sur la commune de Vieux-Charmont dans le Nord-Franche Comté.

La mise en œuvre repose sur trois objectifs spécifiques :

- caractériser pleinement, spatialement et quantitativement la pollution, la mobilité et les impacts sanitaires et environnementaux des contaminants du site. Cet objectif sera atteint en utilisant des méthodes innovantes (bioaccessibilité, bioindication…) qui seront déployées sur site pour répondre aux besoins technologiques liés à la gestion des sites et sols pollués

- mettre en place un living-lab afin de tester différents scénarios de gestion de la pollution en accord avec les principes de la Méthodologie Nationale de Gestion des Sites et Sols Pollués et sa norme associée (NF X31-620). Ce démonstrateur permettra de fédérer les collectivités locales, publiques et privées acteurs, entreprises, associations et acteurs individuels et à convaincre du bienfondé de la gestion des sites à passifs environnementaux par phytomanagement

- évaluer le potentiel de reproductibilité sur d'autres friches industrielles du territoire.

Ainsi, les résultats attendus sont de démontrer qu'il est possible de gérer efficacement la pollution industrielle grâce au phytomanagement ; de faire de la friche un laboratoire dédié à l'innovation scientifique et pédagogique mettant en œuvre des outils de terrain pertinents et innovants, complémentaires aux approches de laboratoire ; de développer un outil pédagogique permettant d'aborder de nombreux thèmes: sensibilisation à l'environnement, biologie, chimie, géographie, histoire industrielle, gestion des écosystèmes, urbanisme; de faire revivre ces espaces dégradés en ville sans perdre leur trace historique.

L'objectif, à plus long terme, est de capitaliser sur la méthode permettant de lancer des actions de phytomanagement sur une partie des autres friches du Nord Franche-Comté.

Démonstration sur le site de Vieux-Charmont

Caractérisation initiale du site



Identification et caractérisation des sources de contamination. Mesures réalisées sur la plateforme PEA²t

Les sols, les eaux et des indicateurs biologiques et humains sont mesurés à l'état initial pour réaliser une approche d'évaluation intégrative des risques





Le plan de gestion actuel est redéfini par le bureau d'étude certifié (Tesora)

Mise en place du living-lab en contexte urbain

Le couvert végétal est géré



Un réseau de capteurs sans fil est mis en œuvre



L'administration est consultée

Surveillance du devenir des polluants

Les transferts entre les matrices (sol, eau, atmosphère) sont suivis à travers le réseau de capteurs et d'autres indicateurs mesurés



BIOindicateurs



Les indicateurs biologiques et la bioaccessibilité permettent de suivre l'évolution des risques pour la santé humaine et l'environnement

Des guides sont élaborés pour répondre aux besoins des parties prenantes

Les résultats sont utilisés pour estimer la reproductibilité

Potentiel de réplication

Le phytomanagement est investigué en NFC

Le SIG, la prospection de sites et les entretiens avec les parties prenantes sont appliqués sur le territoire industriel du Nord Franche-Comté

Les sites potentiels sont sélectionnés et triés par ordre de priorité, les programmes de restauration sont définis, le phasage et les coûts sont évalués



Diffusion

Les citoyens sont impliqués à toutes les étapes de la mise en œuvre et les élus locaux sont mobilisés



HAL archives-ouvertes.fr

Les publications ECOPOLIS sont publiées dans le référentiel Open Access HAL

Projet TRIPODE

TRIADE, transférabilité de la norme, sols POllués et évaluation Des risques pour les Ecosystèmes

N. Manier[1], B. Pauget[2], M. Noël[2], V. Bert[1], G. Lemoine[3], N. Pucheux[1]

[1] INERIS Rue Jacques Taffanel, 60550 Verneuil-en-Halatte

[2] TESORA, 41 Rue Périer, 92120 Montrouge

[3] EFP Nord-Pas-De-Calais, 594 Av. Willy Brandt, 59777 Lille

nicolas.manier@ineris.fr

nicolas.pucheux@ineris.fr

De nombreuses friches présentent une situation de blocage de reconversion d'usage lorsque la valeur du foncier est dégradée (site orphelin, milieu rural ou de faible activité socio-économique).

Il existe pourtant plusieurs voies de valorisation en dehors de la réalisation d'habitations. Ainsi, certaines friches peuvent trouver une seconde vie à travers des projets de revégétalisations favorisant la biodiversité et leur intégration dans le paysage. Le blocage vient alors de la difficulté à se prononcer vis-à-vis du risque qu'elles représentent pour les écosystèmes. C'est en partie lié au fait que la politique de gestion des SSP est essentiellement guidée par des critères sanitaires. Les rares outils méthodologiques et réglementaires pour guider les acteurs concernés dans la prise en compte du risque pour les écosystèmes sont méconnus et les retours d'expérience quant à leur applicabilité restent peu nombreux.

Le projet TRIPODE a pour objectif de fournir aux acteurs des sites et sols pollués un outil opérationnel d'évaluation du risque pour les écosystèmes (ERE). Pour cela, il prévoit d'améliorer la méthode décrite dans la norme ISO 19204 (approche TRIADE de la qualité du sol) et d'assurer son opérationnalité.

La norme ISO 19204 (approche TRIADE de la qualité du sol) décrit comment caractériser la qualité d'un sol et le risque pour les écosystèmes qu'il représente. Toutefois, la norme, descriptive et complexe est rarement utilisée en France. Elle a été mise en œuvre par l'Ineris dans le cadre du projet Triple (convention Ademe 2016-2018). Il en ressort un besoin d'amélioration et de clarification.

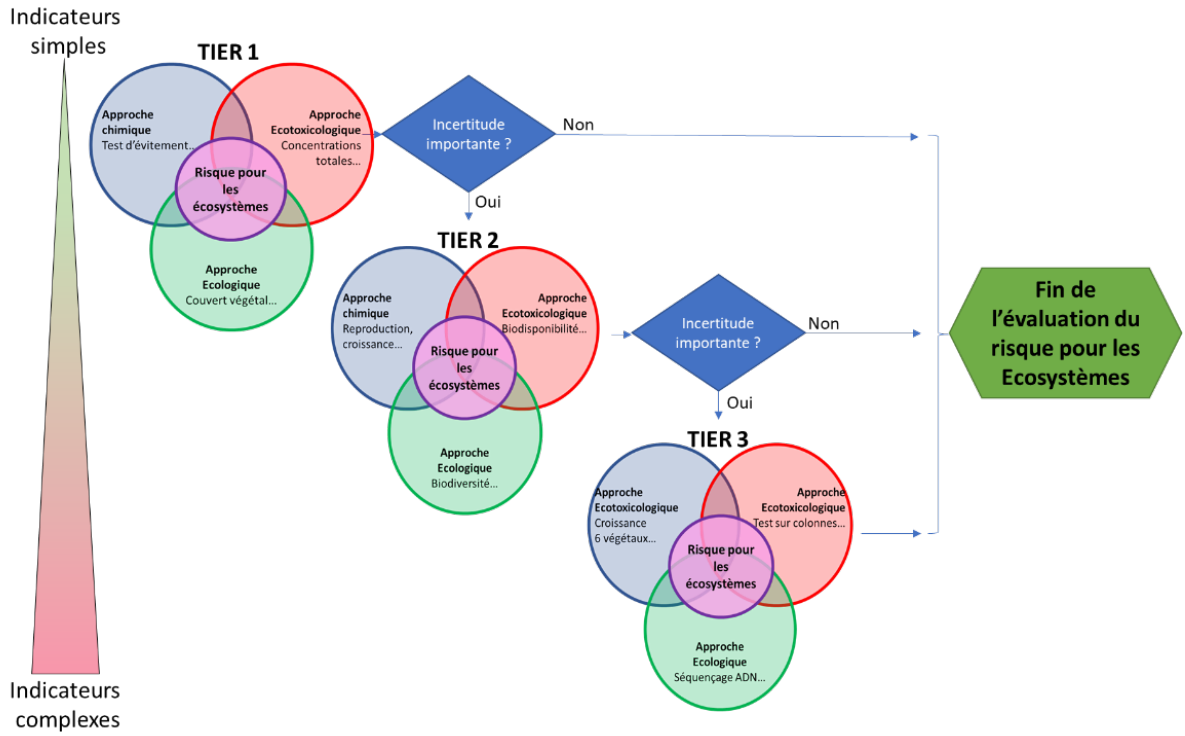


Figure 1 : les trois approches du risque pour les écosystèmes utilisés dans la norme ISO 19204 TRIADE.

Le projet TRIPODE considère un environnement représentatif des sites auxquels sont confrontés les bureaux d'études et les maitres d'ouvrages sur lequel sera appliqué la méthodologie TRIADE. Dans le cadre de ce projet, la méthode sera déroulée jusqu'à son niveau le plus exigeant (TIER 3) afin d'apprécier la plus-value et la pertinence apportée par les outils supposément les plus précis. Afin de se placer dans une optique d'application pragmatique de la méthode TRIADE, un cas d'étude sera réalisé par un bureau d'étude afin d'estimer l'opérationnalité de la méthode. Le retour d'expérience permettra d'apprécier les limites actuelles à l'application de la norme TRIADE et permettra de créer un guide technique prescriptif et opérationnel à destination des bureaux d'études. Enfin, ce retour d'expérience permettra d'alimenter les discussions quant à la nécessité de faire évoluer la norme actuelle dont l'examen systématique aura lieu prochainement.

En améliorant puis en facilitant le transfert de cette méthode d'évaluation des risques pour les écosystèmes terrestres aux bureaux d'étude, le projet Tripode œuvre à dynamiser la revalorisation des friches industrielles.

Monitoring en continu des COV totaux et prélèvement automatisé en sites et sols pollués

Laurent Rémy, Business Development Manager – Ecomesure
laurent.remy@ecomesure.com

Pour répondre au besoin d'analyse d'air sur les sites et sols pollués et pour optimiser les coûts, ECOMESURE a récemment conçu l'ECOMCAPTURE.

L'ECOMCAPTURE est un boitier connecté utilisant un protocole Bluetooth Low Emission (BLE), associé à un canister. Lors d'un dépassement de seuil de pollution détecté par nos solutions de mesure en continu de la qualité de l'air, l'ECOMCAPTURE reçoit l'ordre de déclencher le prélèvement d'air effectué par le canister. L'utilisateur est averti par Email ou SmS du début et de la fin du prélèvement pour ensuite procéder à la récupération du canister et à son analyse en laboratoire.

Cette innovation s'adapte astucieusement à la réalité du terrain en permettant d'effectuer des prélèvements par canister uniquement lorsque l'air est contaminé. Les prélèvements font ensuite l'objet d'une analyse plus précise en laboratoire sous accréditation COFRAC.

En termes de coût d'opération, cela représente une vraie économie pour les maitres d'ouvrages et les bureaux d'études qui n'interviennent qu'en cas de pollution réelle et peuvent ainsi optimiser la mobilisation de leur personnel, tout en surveillant attentivement les variations de concentration sur site.

Le cas d'usage d'EUROFINS

EUROFINS, expert de l'analyse environnementale depuis plus de 15 ans, utilise les systèmes ECOMESURE dont ECOMCAPTURE pour définir la pollution environnante d'une zone d'habitation à proximité de site industriel. L'étude du site est réalisée en s'appuyant sur les guides et rapports de l'INERIS relatifs à l'évaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires et à la surveillance de l'air autour des installations classées.

Pour cette application, EUROFINS a mesuré en continu les Composés Organiques Volatils (COV). Le seuil COV de 20 ppbv a été défini pour déclencher un prélèvement d'une heure sur canister. Un canister d'1L a été choisi pour obtenir des échantillons plus concentrés. Ces derniers ont ensuite été analysés en suivant la méthode EPA TO-15.

Cette étude a permis de s'assurer de l'absence d'une substance chimique et de relever l'attention sur la présence d'autres volatils liée à un événement momentané extérieur, à proximité du site.

Pour EUROFINS, le principal avantage du couplage capteur au canister se trouve dans la possibilité de définir un prélèvement d'air soit en continu, soit perlé, au moment même où le pic de pollution apparaît.

De plus, les solutions étant facilement transportables et déployables, EUROFINS a pu les placer à différents endroits sur le chantier de réhabilitation pour évaluer l'impact sur le voisinage en fonction des vents (mode sentinelle) et déterminer par l'analyse sur canister une composition exacte des composés en présence (mode signature chimique), permettant d'apporter des pistes sur l'origine de la pollution.

Quantification de la dispersion des contaminations de l'eau souterraine vers les eaux de surface par mesure directe des flux

Bosmans E., Joris M., Verreydt G.; iFLUX; Belgique et W. Ahoulou ; ELEMENT TERRE ; France

- *Caractère innovant* : approche par mesure directe des flux, horizontaux et verticaux
- *Mots clés* : Darcy, flux massiques, charge polluante, dynamique de l'eau et des polluants
- *Objectifs* : Présenter des techniques de mesures innovantes qui veulent contribuer à une meilleure compréhension du comportement des polluants dans l'eau souterraine en termes de flux.

Les cours d'eau sont des systèmes variables complexes dont la dynamique est généralement caractérisée en termes de flux. Dans le contexte de sites contaminés dont l'eau souterraine interfère avec une eau de surface, les capteurs numériques et échantillonneurs iFLUX permettent de mesurer directement les flux horizontaux dans l'eau souterraine et les flux verticaux à l'interface avec l'eau de surface. Les capteurs mesurent simultanément et en continu la vitesse et la direction d'écoulement tandis que les échantillonneurs passifs mesurent les flux massiques et les vitesses moyennes d'écoulement sur une période donnée.

Deux cas d'études récents sont présentés dans l'objectif de décrire le champ d'application des mesures de flux et montrer la valeur ajoutée des résultats obtenus.

Le premier cas concerne un ancien site industriel (France) étudié en partenariat avec Element-Terre, éOde et l'ADEME et faisant l'objet d'un plan de conception des travaux (PCT) de dépollution .

Le second concerne l'ancien site Lumco à Gand (Belgique) étudié en partenariat avec l'OVAM, Tauw, Envisan et Witteveen&Bos dans le cadre du projet RESANAT d'Interreg, promouvant des techniques de remédiations basées sur la nature pour traiter les contaminations résiduelles des sols.

Le site industriel (France), bordé au nord par un petit cours d'eau, s'écoulant vers l'Est, a accueilli divers ateliers (encaustique, savon, peinture) ainsi qu'une activité de récupération des huiles usagées. Le site n'est officiellement plus en activité depuis 1994.

A la demande de l'ADEME, des investigations (étude géophysique, sondages, prélèvements et analyses de sol, de sédiment, d'eau, d'air, de gaz du sol et de végétaux) ont été menées à l'issue desquelles 6 sources de pollution ont pu être caractérisées. Une des 6 sources concerne une contamination de l'eau souterraine en solvants chlorés du fond de vallon caractérisée en 2016.

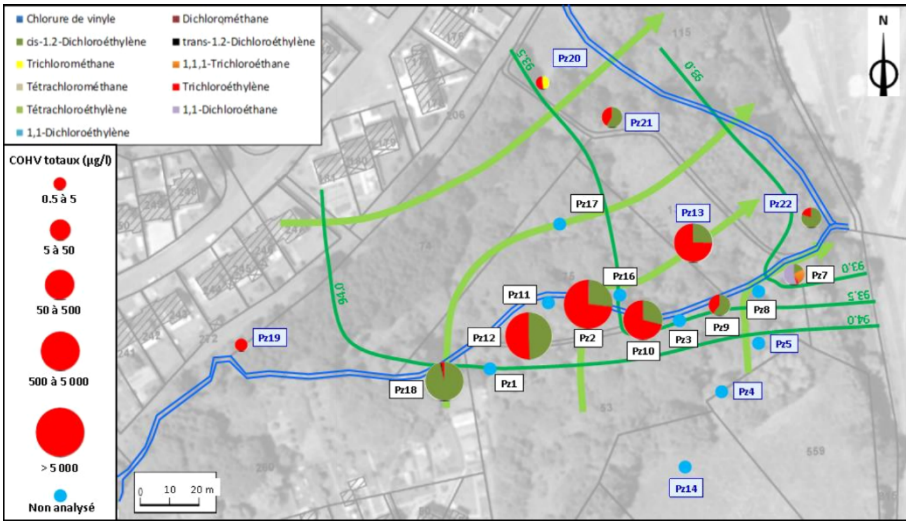


Figure 2 Carte de répartition des COHV dans les eaux souterraines (juin 2016)

En 2021, celle-ci a également fait l'objet de mesures de flux horizontaux dans 3 piézomètres (un Pz18 amont, un Pz10 intermédiaire et un Pz8 aval) le long du cours d'eau et à 2 profondeurs dans chaque piézomètre. L'objectif était de déterminer la charge polluante mobile et de localiser avec plus de précision les chenaux préférentiels d'écoulement.

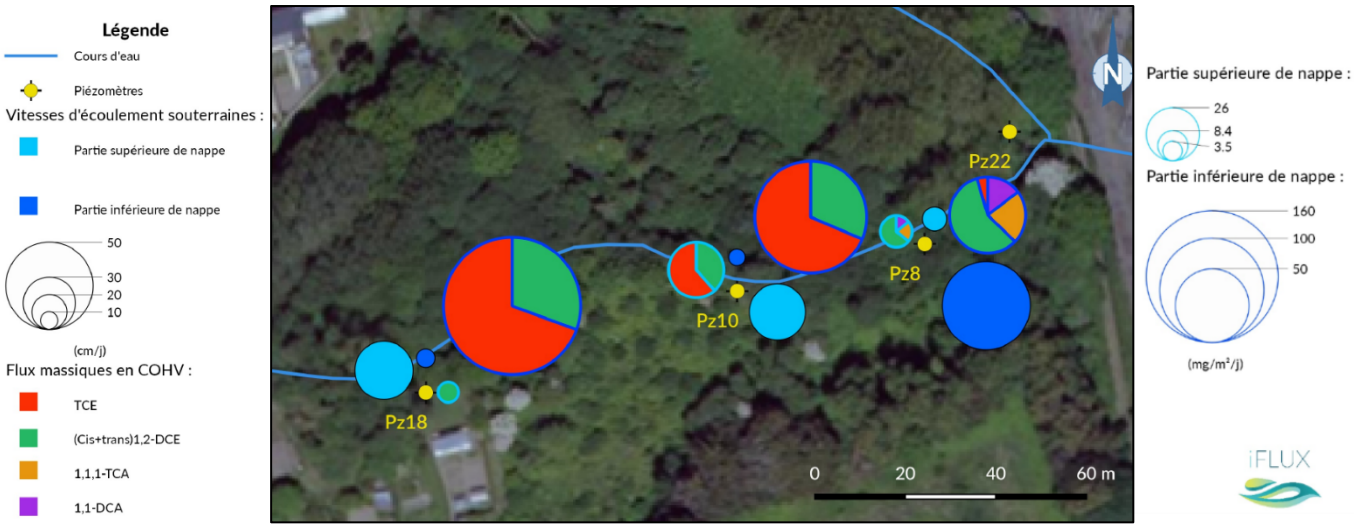


Figure 2 Carte de résultats des mesures de vitesses de Darcy et des flux en COHV (octobre 2021)

Les vitesses d'écoulement mesurées étaient relativement élevées dans les échantillonneurs supérieurs et très faibles dans les échantillonneurs inférieurs, à l'exception du piézomètre aval, où la vitesse était beaucoup plus élevée dans l'échantillonneur inférieur.

Les flux massiques les plus élevés ont exclusivement été enregistrés dans les échantillonneurs inférieurs, bien qu'une légère contribution affecte également la partie supérieure de la nappe au droit du piézomètre intermédiaire. La charge polluante totale pour la partie inférieure de la nappe est 10 fois plus élevée que celle pour sa partie supérieure.

Les résultats du piézomètre aval indiquent la présence sur site d'une seconde source, moins active, en chloroéthanes. Ils attestent également du potentiel de biodégradation, certes incomplète, des chloroéthènes et chloroéthanes.

Dans le cadre du PCT, ces données de flux confirment les résultats d'essais in situ (Test de Désorption Massique - TDM) réalisés dans l'environnement immédiat des ouvrages équipés en iFLUX. En effet, ces méthodes ont permis de mettre en évidence une rapide recharge en COHV en amont et une faible recharge dans la partie aval du cours d'eau. Par ailleurs, les zones sources identifiées ne semblent pas abriter de masses résiduelles significatives en COHV piégées dans la porosité de la nappe. Elles indiquent également la présence de certains produits de dégradation des COHV. Ces informations cruciales ont permis de conclure que seule une mesure de surveillance devait être engagée en priorité dans le cadre du PCT. En revanche, un traitement par oxydation chimique devra être mis en œuvre si une éventuelle réalimentation en COHV était observée en cours de suivi.

Le projet RESANAT à Gand (Belgique) porte sur un test pilote grandeur réelle d'application d'un tapis réactif dans un canal urbain menacé par une contamination des eaux souterraines, provenant d'anciennes activités industrielles sur sa rive.

Fin 2019, la restauration de la capacité de drainage du canal était nécessaire et le sédiment qui l'obstruait a été excavé. L'augmentation de la capacité de drainage provoquée par ce curage a entraîné une mobilité accrue des contaminants et une pollution des eaux de surface.

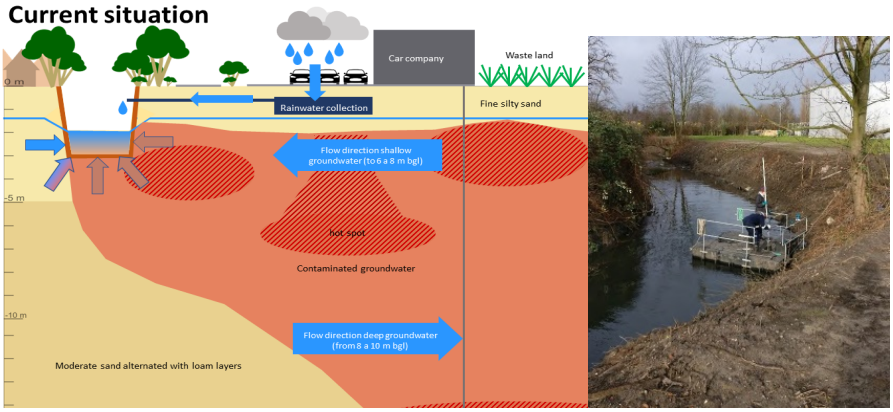


Figure 3 Schéma conceptuel actuel du site (g.) et installation des échantillonneurs de flux verticaux (d.) dans le cadre du dimensionnement de la barrière réactive (février 2020).

Les mesures des vitesses de Darcy et des flux massiques réalisées avant et après le curage ont permis d'établir les profils verticaux et horizontaux d'écoulements et de déterminer la charge polluante se déversant dans le canal. Ces données ont contribué au dimensionnement de la barrière en termes de conductivité hydraulique et de sa capacité à filtrer et dégrader les contaminants. Le modèle conceptuel du site a également été affiné, garantissant une meilleure compréhension de la dynamique et par conséquent une efficacité de traitement accrue.



Figure 4 Flux de masse dans la berge du canal, avant (g.) et après (dr.) son curage (novembre 2019 et février 2020). Le flux de masse vers le canal " a augmenté d'un facteur 15. Sa composition a également changé.

L'utilisation des échantillonneurs passifs de flux, en combinaison avec des mesures en continu aux capteurs numériques de flux, a permis de caractériser les échanges à l'interface entre l'eau souterraine et l'eau de surface, fournissant des informations détaillées sur la dynamique qui influence la qualité du cours d'eau.

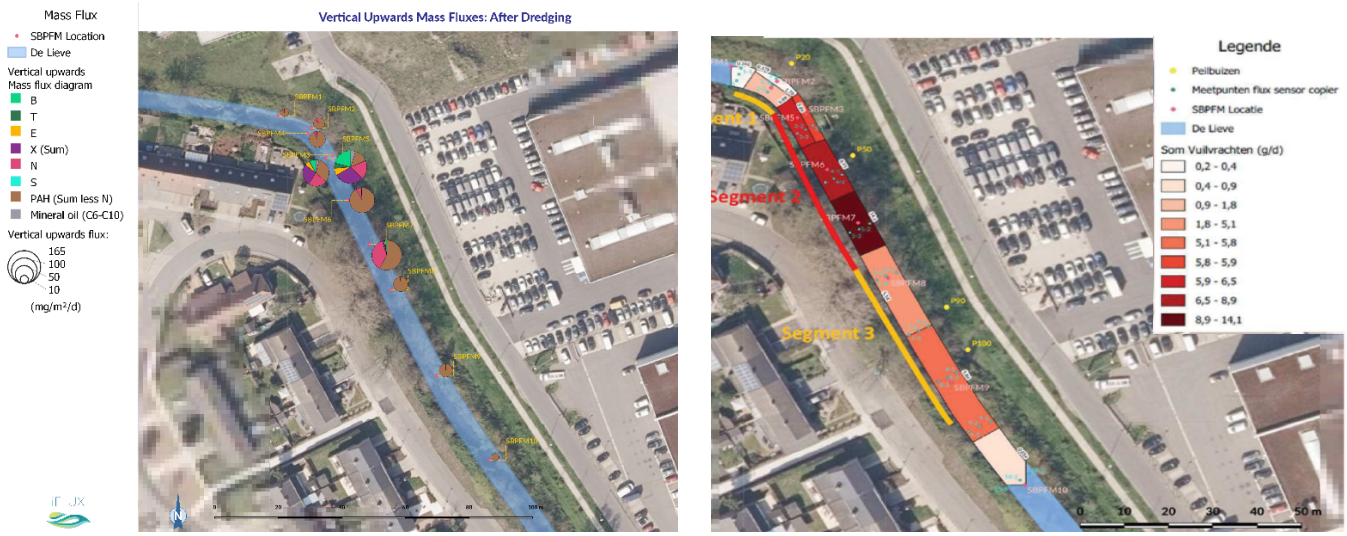


Figure 5 Flux verticaux mesurés (g) et définition de 3 segments à distinguer dans le concept de remédiation (dr.)

Sur base des mesures de flux, il est clairement apparu qu'une action ciblée pouvait être envisagée et trois segments de canal ont été distingués. Un concept de remédiation efficace inspiré de processus naturels (capacité de drainage, adsorbant vert et activité biologique) a été mis en place pour faire face à l'afflux de contaminants et améliorer nettement la qualité du cours d'eau en attendant le traitement de la source résiduelle de contamination. En outre, un plan de suivi avec des mesures de flux est en cours dans le but d'évaluer l'efficacité et la pérennité du traitement.

PFAS - Next Level analysis

Oliver BUCHHOLZ
Country Manager – France
SGS Environmental Analytics B.V.
Oliver.Buchholz@sgs.com

Context:

PFAS are known as Poly and Per Fluorinated Alkyl Substances. Poly Fluorinated compounds are subject to degradation phenomena which will lead in the long run to "new" degradation products being the Per Fluorinated who are that stable that nature cannot degrade them anymore. It consists of a large group of estimated 4000 – 6000 compounds from which only a few are well studied (type PFOA/PFOS). At present both legislators as well as consultants and laboratories are focusing on only +/- 40 – 50 compounds. This means a risk of underestimation of the actual PFAS presence in the environment as they are not covered from an analytical point of view.

Target:

Contribute from an analytical point of view to the PFAS subject being a combined technical approach for a complete PFAS presence in the environment. Supply all stakeholders involved in this business (consultants, problem owners, remediation companies but as well as the authorities) with the correct global PFAS information present in the environment.

Innovation to be presented:

By means of a combination of (new) existing analytical techniques allowing to have a complete picture on the presence of PFAS presence for the majority of the estimated 4000 – 6000 compounds and not only on a nowadays identified +/- 40 – 50 compounds. This means that both actual presence of known compounds style PFOA/PFOS are being identified and quantified as well as future deploying contaminations (due to degradation of actual long and unknown Poly Fluorinated Alkyl Substances).

Notre approche sécuritaire pour gérer les sites pollués est-elle toujours « durable » ?

TOUTAIN Julien
Responsable de Pôle/Domaine - Sites Pollués, Industries et Déchets
SCE
4 rue Viviani - CS 26220
44262 Nantes Cedex 2
Tél. 06 24 01 34 23
julien.toutain@sce.fr

SAUSSEREAU Amélie
Cheffe de projets - Sites Pollués, Industries et Déchets
SCE
4 rue Viviani - CS 26220
44262 Nantes Cedex 2
Tél. 06 04 65 29 44
amelie.saussereau@sce.fr

A l'heure où notre société multiplie les réflexions et les actions en faveur de la protection de l'Environnement en considérant les enjeux et besoins à long terme, peut-on considérer que la gestion des sites et sols pollués s'inscrit dans une démarche aussi vertueuse ?

En tant que professionnel, nous rencontrons quotidiennement des situations qui nous amènent à nous interroger. Si les mécanismes ayant engendré ce constat sont probablement complexes, 2 éléments l'expliquent en partie :

1. Il n'existe pas en France de définition partagée de la notion de « Pollution ». De plus, cette notion est régulièrement abusivement confrontée à la notion de « Dangerosité » qui est définie différemment selon les référentiels sollicités (santé, déchets, …)
2. La méthodologie des sites et sols polluées a été construite il y a maintenant une trentaine d'années pour répondre à des enjeux de gestion de passifs industriels alors que nous sommes aujourd'hui davantage face à la gestion d'un passif « urbain » plus diffus et hétérogène. Appliquer les mêmes méthodes sur des objets différents est-il adapté ?

Pour illustrer ce questionnement et ses conséquences, nous proposons de partager une partie de notre retour d'expérience.

L'approche de gestion de « Sites et Sols Pollués » est aujourd'hui basée sur la maîtrise des pollutions concentrées et/ou des risques sanitaires. Dans le cas où l'une et/ou l'autre des thématiques est identifiée et avérée sur un site, des mesures de gestion sont à mettre en œuvre.

Concernant la notion de « Dangerosité », l'application systématique d'une approche sécuritaire établie sur la base de données présentant des incertitudes, ne conduit-elle pas à une surconsommation de ressources pour dépolluer et/ou protéger ? Comment évaluer cet impact de façon absolue en l'absence de référentiel commun ? Ainsi, la gestion du risque immédiat est-elle durablement compensée/efficace ? Cette question semble légitime au regard par exemple de la fréquente préconisation du recouvrement simple de sols par des revêtements minéraux ou de la terre végétale provenant de zones rurales (démarche de protection des ressources, limitation de l'extension urbaine, ZAN, …). En outre, au-delà de la sollicitation de ces ressources non renouvelables, nous observons que leur mise en œuvre pose question après usage sans prise de recul sur leur forme ou leurs caractéristiques chimiques intrinsèques.

Concernant la méthodologie de gestion des sites et sols pollués, elle vise en premier lieu à la gestion des pollutions concentrées. Or, dans un contexte urbain plus diffus et aux sources potentielles de pollution moins identifiables que dans un contexte industriel, les incertitudes liées à la caractérisation ponctuelle des sols (hétérogénéité des sols, ponctualité des échantillons/des analyses) permettent-elles de statuer sur une « qualité représentative » au regard des seules analyses ? Compte tenu des enjeux liés à la préservation des ressources non renouvelables comme le sol, une caractérisation ponctuelle ne semble-t-elle pas limitée ? Quel poids donner à la

représentativité de l'analyse ponctuelle ? Quelles sont les contaminants à enjeux (faction soluble, forme ionique, …) ? Dans ce contexte, une approche contextualisée et plus globale serait davantage appropriée pour expliquer les résultats et adapter une méthode de gestion adéquate. Enfin, cette prise de recul, voire ce besoin d'ouverture méthodologique (écotoxicologie, biodisponibilité, polluants émergeants, …), sont-ils aujourd'hui possibles considérant la temporalité des études et la forte concurrence du marché en sites et sols pollués ?

En contexte urbain, l'approche convenue ne doit-elle donc pas évoluer vers une approche globale plutôt qu'une approche systématique, souvent plus couteuse environnementalement, socialement et économiquement, et moins attrayante pour nos techniciens ?

Is our approach to manage polluted sites always “sustainable”?

TOUTAIN Julien
Responsable de Pôle/Domaine - Sites Pollués, Industries et Déchets
SCE
4 rue Viviani - CS 26220
44262 Nantes Cedex 2
Tél. 06 24 01 34 23
julien.toutain@sce.fr

SAUSSEREAU Amélie
Cheffe de projets - Sites Pollués, Industries et Déchets
SCE
4 rue Viviani - CS 26220
44262 Nantes Cedex 2
Tél. 06 04 65 29 44
amelie.saussereau@sce.fr

Currently, our society is multiplying reflexions and actions to protect Environnement, considering challenges and long term needed. In this context, does the management of polluted sites is sufficiently integrating these reflexions?

As professional, we currently experience situations that questioned ourselves. Several explanations can be given to explain our observations:

1- In France, there is no precise definition for the « pollution » term. This term is currently abusively confronted with the notion of « Dangerousness”, which is defined differently depending on the referential used (health, waste, …)

2- Methodology used for polluted sites was created thirty years ago, to manage industrial contaminations. Today, we are more faced to manage “urban” contaminations, which are quite different (not located, more disseminated). Therefore, is applying the same methods to manage different type of contaminations, in different context, appropriate?

We propose to share with you part of our feedback to illustrate our purposes and its consequences.

The current approach conducted on polluted site is to manage “concentrated pollution” and/or health risks. If one of these two items is identified, then, management measures have to be done.

Regarding the notion of « Dangerousness”, management measures are based on data that present uncertainties and follow a security approach. Does this method lead to an overconsumption of resources to clean up and/or to protect? How can we evaluate this impact? Is the management of the immediate risk sustainable and efficient? This question seems justified regarding for example the frequent recommendation of simply covering soil with mineral coverings or topsoil from rural areas. In addition, we observe that their implementation raises questions after use without taking a step back on their form or their intrinsic chemical characteristics.

The French methodology to manage polluted sites recommends to treat in first instance concentrated pollutions. However, in an urban context, pollution is disseminated and less punctual than in an industrial context. Therefore, is the methodology currently use for polluted site to identify a “concentrated pollution “(punctual samples and analysis), in a context of a disseminated pollution, adapted? Is this method limited, regarding challenges to preserve non-renewable resources? What is the representativity of a punctual analysis? What pollutant represents a real issue (soluble fraction, ionic form, …). In this context, is a global approach would be more adapted to explain results and recommends suitable management measures? Finally, is this global approach, or even the potential need of the evolution of the regulatory to adapt suitable management measure for each context, il currently possible given the temporality of studies and the strong competition in the market for polluted sites and soils?

In an urban context, does the methodology to manage a polluted site should evolve towards a global approach rather than a systematic approach, which is often more costly environmentally, socially and economically, and less attractive for our technicians?

Retour d'expérience : définition d'une stratégie optimale de valorisation sur site et de traitement de terres contaminées par des produits pyrotechniques, chimiques et radioactifs naturels

Case study: Selecting the optimal strategy for on-site recovery and treatment of soil contaminated by pyrotechnic, chemical, and naturally radioactive products

Stéphane Poncet, Directeur Général – Curium

Caractère innovant : Méthodologie de développement d'une solution de gestion de terres contaminées radiologiquement privilégiant leur valorisation sur site

Mots-clés : remédiation, confinement sur site, pollution pyrotechnique, pollution radioactive

Objectifs : Valorisation de terres polluées sur site en fonction de l'usage futur

Dans le cadre de la remédiation de certaines friches industrielles, les niveaux de pollution et les caractéristiques physico-chimiques des contaminants dans les sols nécessitent la définition d'une approche stratégique complexe. Le coût environnemental global de l'opération (incluant par exemple les émissions de gaz à effets de serre générés par le transport et le traitement des terres hors site), l'optimisation des coûts de la dépollution et sa cohérence avec le devenir du site doivent également être pris en considération afin de définir une stratégie favorisant l'économie circulaire et les optimums technico-économiques de gestion.

Le projet réalisé par les sociétés GOLDER et CURIUM illustre le développement d'une solution de gestion de terres contaminées privilégiant leur valorisation sur site, qui a permis des économies de temps, de ressources et d'émissions de gaz à effets de serre. Cette étude de cas présente une stratégie spécifique de réhabilitation d'un site à risques complexes combinés (chimique, pyrotechnique, radioactif naturel) et la méthodologie qui a mené à sa définition, tenant compte des besoins en termes de gestion du risque prioritaire et de maîtrise de l'impact environnemental. En particulier, la définition de la stratégie de gestion de radioactivité a été réalisée en conformité avec les obligations de protection des travailleurs, la réglementation, ainsi que les conditions de prise en charge des sols pollués radiologiquement. En outre, les coûts de gestion ont également été optimisés en cohérence avec les objectifs de dépollution et prenant en compte les contraintes techniques, organisationnelles et économiques du donneur d'ordre, et des recommandations ont été faites quant à l'usage futur du site.

Un site industriel historique présentant des risques complexes du fait de la présence d'une contamination croisée chimique et pyrotechnique était en cours de réhabilitation sous la supervision de GOLDER. Un risque complémentaire radiologique a été découvert suite à un déclenchement de portique de détection de radioactivité d'un centre de stockage de déchets.
CURIUM a ainsi été sollicitée pour définir la stratégie de gestion de 1350 m^3 de terres impactées radiologiquement, dont 350 m^3 ont été excavées et entreposées sur site et le restant a pu être laissé en place. Pour ce faire, une étude a été réalisée comprenant les volets suivants:

- Expertise des données d'entrée et du plan de gestion ;
- Evaluation Quantitative de l'Exposition Radiologique (EQER) des terres excavées laissées sur site ;

- Evaluation Quantitative de l'Exposition Radiologique (EQER) des sols en place.

Afin d'assoir la stratégie de gestion basée sur la réalisation de l'EQER et la prise en compte des usages futurs, les données d'entrée ont été consolidées par le biais de prélèvements d'échantillons analysés chimiquement et radiologiquement dans le laboratoire interne de CURIUM. Ont ainsi été définis des seuils de gestion de terre pouvant être laissée en place ou confinée sur site.

intersol'2022

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

International Conference-Exhibition on Soils, Sediments and Water

POSTERS



Error estimation in Polluted Soil Volume Calculation (EePSVC) from a sample set: A multi-dimensional approach based on deep neural networks and prediction models

I. Guridi, Suez Remediation, 17 Rue de Périgod, 69330 Meyzieu – France, ignacio.guridi@veolia.com
O.Atteia, EA4592, Bordeaux-INP, 1 Alľ ee Daguin, Pessac, France
R. Chassagne, Institute of Geoenergy Engineering, Heriot-Watt University, Campus The Avenue, Edinburgh, United Kingdom

Abstract

On contaminated sites, the estimation of the extension and consequently the volume of soil to remediate plays an essential role in the decision of the management plan to be followed. This estimation is based on the assessment of the contamination of the site, for instance, quantitative localisation of the pollution, evaluation of the level of pollution, uncertainty attached to measurement and estimation.

To better assess and drive the decision process, we propose a methodology named, Error estimation in Polluted Soil Volume Calculation (EePSVC), to estimate the error on a specific sample set on a real hydrocarbon contaminated site. The methodology combines the use of a multi-dimensional approach with prediction techniques such as, geostatistical, but also non-geostatistical and the use of a deep learning algorithm. The methodology lies on a created synthetic model from a conditional simulation that has the same spatial distribution and statistics than our study site. From there, multiple sample sets are taken on our synthetic model until 400 different samples sets are obtained. The multi-dimensional approach is after applied based on the analysis of measurable features from each of the sample sets (samples density, sampling design, data variability) and the results from the prediction techniques. These selected features are used to build a Deep Neural Network (DNN) model to predict an error on the polluted volume for a given threshold.

The results show that the created Deep Neural Network model provides an accuracy in the volume error estimation of 91% for the given site. Further inference tests were performed based on a synthetic model, delivering a high accuracy prediction with Pearson's Correlation Coefficient (PCC) between the error from the original values and the predicted values, of 0.9812. However, the DNN model is site specific because it works with an specific statistical an spatial data distribution. The same DNN model was tested for other synthetic models with different characteristics obtaining less precise results due It is highly influenced by the data statistical and spatial distribution. Given the specificity of the DNN model, the methodology is tailored specific and must be fully developed for each new site.

The EePSVC methodology can have three main outcomes in the remediation of polluted sites. A guide to promote accurate sampling strategies, a tool for error estimation in the conception of a remediation project and an indirect way to reduce the needed samples on ongoing remediation projects by knowing the areas with higher error.

Key words
Soil contamination, error estimation, multi-dimensional approach, deep learning, Deep Neural Network (DNN), sample set analysis.

Converting an urban wasteland into a sustainable and educational living-lab, based on a replicable phytomanagement approach

M. Chalot[1], C. Bertheau[1], P. Binet[1], L. Ciadamidaro[1], J. Collot[1], A. De Vaufleury[1], J. Parelle[1], F. Tatin Froux[1], B. Pauget[2], C. Guyeux[3], S. Domas[3], N. Kieffer[4], C. Kuhn[5]
michel.chalot@univ-fcomte.fr

[1]UMR Laboratoire Chrono-environnement UMR Université Bourgogne Franche-Comté/ CNRS ; [2]TESORA ; [3]Institut FEMTO-ST UMR Université Bourgogne Franche-Comté/ CNRS ; [4]Pays de Montbéliard Agglomération ; [5]Agence de Développement Urbain (ADU-PMA)

The general objective of ECOPOLIS is the rehabilitation of an industrial wasteland located in the city of Vieux-Charmont in the Nord-Franche-Comté. The implementation is based on three specific objectives:

- Fully characterize, spatially and quantitatively, the pollution, mobility and health and environmental impacts of the site's contaminants. This objective will be achieved by using innovative methods (bioaccessibility, bioindication, etc.), which will be deployed, on site to meet the technological needs related to the management of polluted sites and soils.
- Innovatively set up a living-lab to test different pollution management scenarios in accordance with the principles of the National Methodology for the Management of Polluted Sites and Soils and its associated standard (NF X31-620). This demonstrator will make it possible to federate local authorities, public and private actors, companies, associations and individual actors and to convince of the merits of the management of sites with environmental liabilities by phytomanagement
- Assess the potential for reproducibility on other industrial wastelands in the territory.

Thus, the expected results are to demonstrate that it is possible to effectively manage industrial pollution through phytomanagement; to make the wasteland a laboratory dedicated to scientific and educational innovation implementing relevant and innovative field tools, complementary to laboratory approaches; to develop an educational tool to address many themes: environmental awareness, biology, chemistry, geography, industrial history, ecosystem management, urban planning; to revive these degraded spaces in the city without losing their historical trace. The longer-term objective is to capitalize on the method for launching phytomanagement actions on some of the other wasteland in northern Franche-Comté.

Keywords: phytomanagement, industrial wasteland, living-lab, network of sensors

Démonstration sur le site de Vieux-Charmont

Caractérisation initiale du site



Identification et caractérisation des sources de contamination. Mesures réalisées sur la plateforme PEA²t

Les sols, les eaux et des indicateurs biologiques et humains sont mesurés à l'état initial pour réaliser une approche d'évaluation intégrative des risques





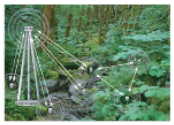
Le plan de gestion actuel est redéfini par le bureau d'étude certifié (Tesora)

Mise en place du living-lab en contexte urbain

Le couvert végétal est géré



Un réseau de capteurs sans fil est mis en œuvre



L'administration est consultée

Surveillance du devenir des polluants

Les transferts entre les matrices (sol, eau, atmosphère) sont suivis à travers le réseau de capteurs et d'autres indicateurs mesurés



BIOindicateurs



Les indicateurs biologiques et la bioaccessibilité permettent de suivre l'évolution des risques pour la santé humaine et l'environnement

Des guides sont élaborés pour répondre aux besoins des parties prenantes

Les résultats sont utilisés pour estimer la reproductibilité

Potentiel de réplication

Le phytomanagement est investigué en NFC

Le SIG, la prospection de sites et les entretiens avec les parties prenantes sont appliqués sur le territoire industriel du Nord Franche-Comté

Les sites potentiels sont sélectionnés et triés par ordre de priorité, les programmes de restauration sont définis, le phasage et les coûts sont évalués



Diffusion

Les citoyens sont impliqués à toutes les étapes de la mise en œuvre et les élus locaux sont mobilisés



HAL archives-ouvertes.fr

Les publications ECOPOLIS sont publiées dans le référentiel Open Access HAL

EN 2022, LE CD2E VOUS ANNONCE LA 2ÈME ÉDITION DES ASSISES NATIONALES DE LA VALORISATION DES SÉDIMENTS

#ANVS2022

ASSISES NATIONALES DE LA VALORISATION DES SÉDIMENTS

15 et 16 novembre 2022 - LILLE

3 ans après la première édition à Paris, le CD2E, et son centre de ressources sur la valorisation des sédiments de dragage, souhaitent à nouveau vous rassembler pour une "mise à jour" sur le sujet des sédiments.



Que s'est-il passé depuis 3 ans ? Quoi de neuf au niveau des filières de recyclage ? Quels sont les projets phares (révolutionnaires ?) sur le sujet ? Quelle visibilité sur les volumes de sédiments à gérer à l'avenir ?

Pour le savoir, nous vous donnons rendez-vous aux Assises de la valorisation des sédiments les 15 et 16 novembre 2022, à Lille.

Infos sur sedilab.com rubrique Agenda