



IDfriches
Auvergne-Rhône-Alpes



Quelles solutions pour accélérer la requalification des friches ?



Une initiative de la **Région Auvergne-Rhône-Alpes** | Aménagement



Guide IDfriches : Quelles solutions pour accélérer la requalification des friches ?

Auteur : Aurélie OHANNESSIAN (AXELERA)

Contributeurs : Claire BOURGEOIS (CERF), Laure HUGONET (AXELERA), Charlotte MARTINEZ (INDURA), Anne-Laure MARECHAL (Région Auvergne-Rhône-Alpes)

Relecteurs : Olivier DELESPAUL (ARKEMA), Stéphane FOURNY (ARTELIA), Laurent ROUVREAU (BRGM)

Mise en page : Bérengère ROURE (IDfriches)

Crédits photo : Fotolia

Date de publication : avril 2021

REMERCIEMENTS

Ce guide a été élaboré dans le cadre d'IDfriches, une action initiée par la Région Auvergne-Rhône-Alpes, soutenue par les fonds européens FEDER, et animée par trois réseaux partenaires : le pôle de compétitivité AXELERA, le centre d'échanges et de ressources foncières (CERF) Auvergne-Rhône-Alpes et le cluster régional INDURA.

Nous remercions l'ensemble des acteurs consultés pour leurs informations et leurs relectures et plus particulièrement :

- Vincent GISEL, Colas environnement
- Gaël PLASSART, Envisol
- Priscillia SEMAOUNE, Envisol
- Juliette CHASTANET, Ginger Burgeap
- Jean-Marie COME, Ginger Burgeap
- Fabrice BEDIN, Gone environnement
- Michel GARCIA, Kidova
- Antoine JOUBERT, Serpol
- Christophe CHÊNE, Soleo services
- Thomas PEREIRA, Suez
- Jean-Yves RICHARD, Suez
- Sébastien KASKASSIAN, TAUW
- Benjamin PAUGET, Tesora
- Laurent THANNBERGER, Valgo
- Xavier HEDEVIN Valterra
- Chloé LESOURD Valterra

Nous remercions particulièrement :

- Olivier DELESPAUL, ARKEMA
- Stéphane FOURNY, ARTELIA
- Laurent ROUVREAU, BRGM
- Jean-Marie COME, Ginger Burgeap

Pour le temps consacré à la relecture de l'introduction de ce guide

TABLES DES MATIÈRES

Remerciements.....	3
Introduction	5
Contexte.....	5
Améliorer les diagnostics par l'innovation.....	7
Développer des outils d'aide à la décision pour les fonciers à requalifier.....	11
Développer des techniques de traitement plus efficaces et respectueuses de l'environnement.....	12
Favoriser la valorisation des terres excavées.....	14
Renforcer les services écosystémiques des sols.....	15
Intégrer la digitalisation et le numérique à la filière.....	17
Fiches techniques	18
Améliorer les diagnostics par l'innovation, précision et performance	18
Développer des outils d'aide à la décision pour les fonciers à requalifier.....	33
Développer des techniques de traitement plus efficaces et respectueuses de l'environnement.....	46
Favoriser la valorisation des terres excavées.....	83
Renforcer les services écosystémiques des sols.....	87
Encourager la digitalisation de la filière.....	95

CONTEXTE

La protection des sols et la préservation de leurs fonctions constituent aujourd'hui un enjeu environnemental majeur, placé au cœur des préoccupations nationales et internationales, et affiché comme tel dans les actions de l'Agence Européenne pour l'environnement.

L'état français a clairement affiché un objectif de zéro artificialisation¹ nette, dont le Plan biodiversité de 2018² pose les bases. Si les sols ne font pas l'objet d'une loi spécifique en France, leur gestion est abordée au travers de plusieurs réglementations, notamment celles relatives à l'urbanisme et à l'environnement. Une méthodologie nationale des Sites et Sols Pollués (SSP), partagée par tous les acteurs de la profession, préconise une approche proportionnée, spécifique à chaque site, au travers d'une évaluation des risques

Ces outils réglementaires et méthodologiques doivent être mis en œuvre dans un cadre précis, la pollution des sols pouvant avoir de lourdes conséquences pour certains projets d'aménagement.

La Région Auvergne-Rhône-Alpes, qui s'est emparée très tôt de ce sujet, met en œuvre de nombreuses actions pour favoriser la reconversion des friches et gérer la présence de sols pollués sur son territoire. Dans ce cadre, la région a initié en 2015 le programme IDfriches, qui s'appuie sur un travail collaboratif mené avec les multiples acteurs de la filière dans une ambition régionale : « Trouver des solutions pour accélérer la reconversion des friches ». La présence, sur le territoire la région Auvergne-Rhône-Alpes, d'un écosystème riche et diversifié, joue un rôle de catalyseur dans toutes les dimensions et toutes les étapes de la requalification des friches.

Les compétences engagées couvrent l'ensemble des domaines, du diagnostic à la réalisation des projets, en passant par toutes les étapes de dimensionnement et de conception. Des dizaines de corps de métiers apportent leurs compétences à la reconversion des sites : bureaux d'études et ingénieries, maîtres d'œuvres (MOE), assistants à maîtrise d'ouvrage (AMO), entreprises de transports divers, entreprises de dépollution, de « terrassement », de démolition et de démantèlement, filières de traitement et de valorisation des déchets et des matériaux, entreprises de pose de réseaux, de réalisation de fondations, de construction gros oeuvre...

La réflexion collective des acteurs d'IDfriches a mis en exergue la complexité des jeux d'acteurs qui se mettent en place au fur et à mesure du déroulement d'un projet. Cela s'est traduit par l'élaboration d'un logigramme de la filière qui met en lumière, à chaque étape, les actions à engager et le type d'acteurs s'impliquant au long du processus.

IDfriches se caractérise par sa volonté d'être à l'écoute des acteurs pour aller vers toujours plus d'efficacité technique et de performance environnementale et sociétale. Cette volonté s'exprime au travers de la mise en place d'actions différenciantes et novatrices destinées à apporter des solutions aux verrous identifiés qu'ils soient de nature organisationnelle, contractuelle, financière, juridique ou technique.

Les nombreuses consultations menées auprès des différents corps de métier impliqués dans le processus de requalification ont abouti à un double constat :

1. Les maîtres d'ouvrage (MOA) souhaitent être informés des dernières actualités de la filière en matière de solutions et technologies émergentes
2. Les entreprises peinent à faire connaître certaines de leurs solutions auprès des MOA

Le déploiement de certaines innovations nécessite la réalisation de chantiers pilotes ou de démonstrateurs, en environnement réel, tandis que d'autres, bien qu'abouties techniquement, ne parviennent pas encore à trouver leur place face à des solutions déjà plus classiques.

1 : <https://upds.org/wp-content/uploads/2019/06/Les-enjeux-de-l%E2%80%99artificialisation-des-sols.pdf>

2 : <https://www.novethic.fr/actualite/environnement/agriculture/isr-rse/l-artificialisation-des-sols-progresse-plus-vite-que-la-croissance-demographique-et-economique-147106.html>



Pour apporter une réponse à ces deux problématiques, qui sont intimement liées, IDfriches se propose de mettre en place des outils destinés à faciliter le partage des connaissances et des informations. Ceci est indispensable pour que les MOA puissent intégrer dans leur pratique les innovations portées par les entreprises, favoriser leur mise en œuvre sur le terrain, et accompagner leur déploiement, tout ceci bien évidemment au profit des aménageurs publics et privés et de la collectivité dans son ensemble.

Le renforcement de cette filière économique régionale bénéficiera à tous, depuis la collectivité qui pourra bénéficier des techniques les plus innovantes dans ses projets, jusqu'à la filière économique que constituent tous ces acteurs (bureaux d'études, entreprises, aménageurs...), créatrice d'emploi sur le territoire de la région et de savoir faire exportables.

Un recueil présentant des solutions techniques : pour qui et pourquoi ?

Ce recueil dresse un panorama de solutions existantes. Il n'est pas exhaustif, et fera l'objet d'une actualisation au fur et à mesure des évolutions organisationnelles et techniques qui résulteront de la démarche d'innovation dans laquelle s'inscrit l'écosystème IDfriches.

Ce premier recueil concerne la gestion des sites et sols pollués avec deux volets distincts :

1. Les diagnostics et les études approfondies
2. La dépollution des nappes et des sols

Des grands défis restent encore à relever dans le domaine des sites et sols pollués. Six d'entre eux sont mis en avant dans ce recueil, illustrés par les éléments de connaissance actuels et les objectifs vers lesquels il faudrait tendre en matière de développement.

Des solutions portées par les acteurs de la filière régionale sont présentées sous forme de fiches pédagogiques pour faciliter leur appropriation par les MOA et la mise en relation avec les porteurs de ces innovations. Ces solutions sont pour certaines déjà commercialisées et à la recherche de terrains d'expérimentation.

Un recueil organisé autour de six enjeux scientifiques et techniques

- 1. Améliorer les diagnostics par l'innovation : précision et performance**
pour des résultats plus rapides, moins onéreux et plus efficaces
pour améliorer le dimensionnement des traitements et faire face aux pollutions complexes
- 2. Développer des outils d'aide à la décision pour les fonciers à requalifier**
pour dépasser le paradigme coût / avantage pris sous le seul angle économique
et intégrer les enjeux en termes de santé publique, d'économie circulaire et de protection de l'environnement.
- 3. Développer des techniques de traitement plus efficaces et respectueuses de l'environnement**
notamment biologiques ainsi que des techniques de traitement in situ.
- 4. Favoriser la valorisation des terres excavées**
- 5. Renforcer les services écosystémiques des sols**
pour favoriser la reconstruction de sols,
pour favoriser les mesures raisonnées de restauration de propriétés du sol
pour redonner de la valeur aux sols et à ses fonctions
- 6. Encourager la digitalisation de la filière**

AMÉLIORER LES DIAGNOSTICS PAR L'INNOVATION : PRÉCISION ET PERFORMANCE



Les solutions proposées par les acteurs de la filière IDfriches sont les suivantes et sont présentées sous forme de fiches pédagogiques :

- La géostatistique appliquée aux SSP : Modéliser le comportement des polluants en fonction de leur localisation sur un site - *ENVISOL*
- Diagnostic 2.0 – SCAN 360® : Diagnostic de pollutions plus précis et plus rapide grâce à des mesures in situ - *ENVISOL*
- Diagnostic innovant des pollutions par phytoscreening : Les plantes au service du diagnostic - *TAUW*
- Modélisation 3D et visualisation par réalité virtuelle : Modélisation des données relative au diagnostic d'un site pollué - *TAUW*
- Bioaccessibilité : « Caractérisation de la fraction bioaccessible des contaminants des sols » - *TESORA*
- Bioindicateurs & Risques environnementaux : Couplage innovant d'indicateurs pour l'évaluation des risques environnementaux - *TESORA*

Le diagnostic est la première étape du processus de requalification des friches. Sa qualité est essentielle pour une poursuite de projet sans dérive des coûts. L'innovation est un des leviers pour permettre un diagnostic plus précis et plus fiable. Les acteurs d'IDfriches innovent en permanence dans ce domaine et ont des exemples concrets à présenter. Des projets de recherche sont en cours dont certains nécessitent des terrains d'expérimentation.

Contexte

L'amélioration du diagnostic et de la caractérisation des sources de pollution est une étape cruciale pour le devenir d'un site en quête de reconversion. Des études optimales permettent de faire les bons choix en matière de dimensionnement des techniques de traitement si une dépollution s'avère nécessaire.

La filière IDfriches s'est attelée à cette problématique dès l'origine du programme en 2015. Un groupe de travail a édité le guide «Optimiser le diagnostic sites et sols pollués»³ à l'attention des MOA.

A l'avenir, l'ambition est désormais d'améliorer le diagnostic et la détection des pollutions en développant des techniques :

- Plus rapides
- Moins onéreuses
- Plus précise

Les gestionnaires de sites se préoccupent grandement de la qualité des diagnostics qu'ils commandent et de la prise en compte des incertitudes. Ils veulent sécuriser le dimensionnement des traitements et faciliter la gestion de leurs pollutions complexes.

Verrous à lever

Concernant le diagnostic, les verrous à lever restent encore assez nombreux :

1. Caractérisation des polluants présents dans le milieu souterrain
2. Connaissance de leur comportement
3. Impact sur la santé et l'environnement

3 : <https://www.idfriches-auvergnerhonealpes.fr/actualite/guide-diagnostic-sites-et-sols-pollues>

A. Utilisation de la biologie au service du diagnostic de sols :

1. Les tests de biodisponibilité et de bioaccessibilité
2. Les indicateurs biologiques issus de la directive cadre sur l'eau (DCE)
3. La biologie moléculaire
4. La dendrochimie
5. Le phytoscreening
6. Les indices « SET escargots » et l'indice « Phytomet », les bryophytes terrestres et aquatiques



Exemple de l'utilisation des bioindicateurs : les nématodes

Objectif: Compléter les caractérisations physicochimiques classiques des sols en tenant compte de la réaction de la biodiversité présente dans les sols

Verrou: Complexité de la matrice sol et diversité des organismes du sol

Solution : Utilisation des organismes pluricellulaires les plus abondants et ubiquistes sur terre : les nématodes



Exemple de l'utilisation des oméga 3 des végétaux :

Diagnostic de la pollution des sols par la mise en évidence d'une exposition des végétaux à divers contaminants du sol

Avantages :

- Robuste, répétable et reproductible
- Sensible à la fois aux polluants organiques et métalliques
- Détection précoce des contaminants
- Facile à échantillonner et à déterminer
- Rapide
- Normalisé (AFNOR XP X31-233)
- Transférable aux utilisateurs / Facilement explicable et communicable à des non experts

Domaine d'utilisation de l'outil :

- Évaluer l'impact des polluants
- Suivre l'efficacité de dépollution
- Cartographier les sites
- Évaluer les pratiques culturelles

Les outils de biologie moléculaires appliqués au diagnostic environnemental permettent de comprendre de manière directe les processus microbiens actifs dans un milieu.

B. Les outils physiques

1. La mesure des gaz du sol
2. Les analyses isotopiques
3. La « forensie environnementale »⁴
4. La géophysique

Le sujet du diagnostic est un sujet de recherche toujours d'actualité. Des projets ont été et sont toujours soutenus par des financeurs publics tels que l'ADEME.

4 : Techniques permettant de déterminer l'origine et la datation des pollutions environnementales

Exemples de projets de recherche en cours sur le thème du diagnostic :

APPOLINE 2013-2016 Applicabilité à l'étude des sites pollués du biomarqueur lipidique des végétaux et du bioindicateur nématofaune ADERA / LEB Aquitaine transfert, ARMINES, ELISOL Environnement, CDSIngénieurs
TROPHE 2013-2016 Transfert et risques des organiques persistants pour l'Homme et les écosystèmes INERIS
TROPE 2014-2016 Transferts et Risques des Organiques Persistants pour les Escargots. Université de Franche-Comté
DESTISOL 2013-2017 Mise au point d'une méthodologie améliorant la prise en compte des potentialités des sols dans la définition de programme d'urbanisation SCE Université de Lorraine, CERTU, EPF Bretagne, EPAMSA
CISTEM 2013-2017 Caractérisation in situ de matrices de sols contaminées : comment passer de la teneur totale à une estimation de la mobilité BRGM TESORA, FONDIS Bioritech, EAUGEO
MEMOTRACES 2012-2017 Compréhension des mécanismes de mobilisation et de transfert de CAP oxygénés dans les eaux souterraines et les sols Université de Lorraine (LIEC) Université de Lorraine, INERIS
CONTRASOL 2014-2017 Acquisition de nouvelles connaissances en modélisation et de nouvelles méthodes d'estimation de la pollution pour le diagnostic des pollutions de sols et la conduite des dépollutions (approfondissement méthodologique sur le modèle d'écrêtage) ARMINES, ENVISOL
ESPER 2014-2018 Développement d'une méthodologie et d'un outil de calcul interfacé permettant de sécuriser l'étude de sensibilité des modèles de prédiction du comportement d'une source selon différentes approches de modélisation. BURGEAP, IMFT, Nicolas Tribouillard
ODESSA 2014-2018 Amélioration de l'évaluation des risques encourus par les populations exposées aux sols pollués en proposant une méthode alternative au test UBM, rapide, moins coûteuse, fiable, représentative de la bioaccessibilité gastro-intestinale des ETM et applicable dans différents contextes environnementaux. ISA, EHESP
CAPQAI 2014-2017 Développement d'outils et de méthodes permettant d'une part d'améliorer la caractérisation des transferts de polluants du sol vers l'air intérieur, et d'autre part d'améliorer la prédiction des expositions potentielles dans des environnements intérieurs CSTB, INERIS, BURGEAP, LaSIE
BIODISSPOL 2014-2018 Démonstration du caractère opérationnel des outils de biologie moléculaire pour la caractérisation des eaux souterraines contaminées par des solvants chlorés, le suivi d'une biodégradation (AN) et la remédiation des sites pollués complexes. BRGM, Université de Strasbourg, GenoScreen Développement et validation des biomarqueurs moléculaires sur des composés moins connus.
TEMPAIR 2014-2017 Variabilité temporelle des concentrations en PCE dans les gaz du sol et l'air intérieur. GINGER-BURGEAP, INERIS
BATICOV 2015-2017 Mesures constructives vis-à-vis des pollutions volatiles du sol vers les bâtiments - . GINGER-BURGEAP, CSTB, INERIS, Cabinet Brun Cessac et Associés, Aimée CASAL, TERAQ.
OREOS 2010-2012. Développement d'un logiciel de calcul de la saturation en phase organique à partir de la concentration en polluants organiques dans les sols. GINGER-BURGEAP, IMFT.
SoSie Estimation de la saturation en NAPL (2016-2021). I2M, GINGER-BURGEAP, IMFT, EUROFINs
GEOCARE 2017-2021 Développement des méthodes GEOphysiques pour la Caractérisation et la REhabilitation des sites contaminés. VALGO, GINGER-BURGEAP, GINGER-CEBTP, U. Rouen
HRSC 2019-2020 High Resolution Site Characterization / Benchmark PEMN. BRGM, GINGER-BURGEAP, INERIS, INNOVASOL

CubicS 2019-2021 Sonde in situ de mesure de la saturation en NAPL. GINGER-BURGEAP, CEBTP, EMCI, Gissa-Lab

QUASPER 2020-2023 Quantification des incertitudes et sensibilité des modèles de prédiction d'épuisement et de rémediation des sources de pollution. GINGER-BURGEAP, PHIMECA, GeoRessources

DEMEQAI 2020-2023 DEveloppement de METHodes pour la caractérisation in situ des polluants gazeux du sol et la quantification des impacts sur la Qualité de l'Air Intérieur des bâtiments. CSTB, GINGER-BURGEAP

CaractAIR 2020-2023 CARACTérisation des gaz du sol et de l'AIR intérieur et Intégration de la biodégradation aérobie dans la modélisation analytique des transferts. GINGER-BURGEAP, Institut Mines Telecom, TERA Environnement, Métropole de Lyon

BARIAIR 2020-2023 Barrière aux transferts de pollutions des sols et maîtrise de l'impact sur la qualité de l'air intérieur. GINGER-BURGEAP, TERAGEOS, TERA Environnement, LEGI

DÉVELOPPER DES OUTILS D'AIDE À LA DÉCISION pour les fonciers à requalifier



Les solutions proposées par les acteurs de la filière IDfriches sont les suivantes et sont présentées sous forme de fiches pédagogiques :

- ENVIRISK® : Un outil de spatialisation des risques sanitaires - *ENVISOL*
- Gone® Technologies : Aide à la décision en phase de plan de gestion - *GONE ENVIRONNEMENT*
- Plan de conception de travaux : Laboratoire d'essais / pilote - *COLAS Environnement*
- MISS : Microcosmes In Situ pour le dimensionnement des dépollutions par bioStimulation - *TAUW*

Contexte

Le développement d'outils d'aide à la décision doit permettre aux MOA de prendre en compte des éléments autres qu'économiques lors de l'élaboration de leurs projets. L'objectif est de pouvoir intégrer des enjeux multiples notamment en termes de santé publique, d'économie circulaire et de protection de l'environnement.

Ces outils sont la plupart du temps utilisés pour la gestion de sites de grandes tailles avec des enjeux de natures diverses tels que :

- L'impact environnemental
- La sécurité
- La gestion des risques
- L'aspect économique
- Les aspects législatifs
- Les impacts écologiques
- Les aspects sociaux prenant en compte l'opinion des parties prenantes (SHS...)

Ils incluent :

- Le bilan Carbone / GES
- L'évaluation des risques
- L'analyse du cycle de vie
- L'analyse coût-bénéfice
- L'analyse multicritère

Ces développements et méthodes permettent d'étudier plusieurs scénarii. Ils aident à prendre des décisions les plus robustes possibles. Ils apportent également de la transparence dans les processus de décision.

Verrous à lever

Il est nécessaire de travailler sur l'acceptation de ces nouveaux outils par les parties prenantes des projets de requalification. Des démarches pédagogiques doivent être envisagées pour que ces innovations soient acceptées au mieux.

Les avancées en matière de recherche

Exemples de projets de recherche en cours sur le thème du diagnostic :

- Projet REFFRIN 2015 financé par l'ADEME- ARTELIA/ARMINES/BRGM/COLLET
- ESTRAPOL 2017-2020 Mise à jour du guide « Traitabilité des sols ». PROVADEMSE, GINGER-BURGEAP, ENOVEO, SUEZ
- SOBIOVE 2019-2022 Sécurisation des Opérations de BioVenting par Evaluation des cinétiques d'échanges et de biodégradation. GINGER-BURGEAP, IMFT, LHYGES, VALGO

DÉVELOPPER DES TECHNIQUES DE TRAITEMENT plus efficaces et respectueuses de l'environnement



Les solutions proposées par les acteurs de la filière IDfriches sont les suivantes et sont présentées sous forme de fiches pédagogiques :

Fiches axées traitement des Sols

- Désorption thermique in situ - VALGO
- Désorption en piles thermiques - VALGO
- BIOXYVAL : Assemblage de technologies émergentes interconnectées pour la dépollution des sols - COLAS
- Procédé STABILISOL : Stabilisation chimique des sols impactés en éléments traces métalliques - SERPOL
- Procédé HYBREAU® : Unité mobile et autonome de pompage fonctionnant aux énergies renouvelables - SERPOL
- Procédé de stabilisation des sols - SUEZ
- Consolidation de sol et confinement des polluants dans les aquifères : stratégie par injection séquentielle de réactifs - TAUW
- PHYTOTERTRE® Technique expérimentale : couplage de 2 techniques « la phytolixiviation et de la phytoextraction » - VALGO
- Procédé Phytosol® : Phytoremédiation de terres impactées par des hydrocarbures - SERPOL
- Dépollution des sols et nappe par rhizodégradation - TAUW
- Construction de Néosol - Valterra

Fiches axées Nappes

- ISCR : Réduction chimique In Situ : dégradation complète & irréversible des polluants - VALGO
- Pompage des eaux pour le rabattement des eaux de nappe - COLAS
- Extraction séquencée de surnageant (brevet E2S) - COLAS
- Procédé Naneau® : Traitement des sols et des eaux souterraines par injection de nanoparticules de fer zéro valent - SERPOL
- Procédé Bacteau® : Biostimulation et bioaugmentation de sols et eaux souterraines impactés par des HC et additifs pétroliers - SERPOL
- Procédé d'extraction de phase libres de polluants denses (DNAPL) - SERPOL
- Procédé de séparation innovant des hydrocarbures des nappes - SUEZ
- Procédé d'oxygénation innovant des nappes : Traitement biologique aérobie des nappes - SUEZ

Contexte

En 2018, selon un rapport de l'ADEME, les méthodes les plus utilisées restent toujours le confinement in situ (25,4%), le stockage de déchets hors site (25%), le traitement biologique hors site (11,8%), le venting et bioventing in situ (11%) et le stockage de déchets non dangereux (8,8%)⁵.

Les études ont montré que les coûts des différentes techniques sont très variables.

Les traitements in situ sont globalement moins coûteux que les traitements sur site : les coûts des traitements sont compris entre 10 €/tonne et 30 €/tonne, contre 30 €/tonne à 40 €/tonne en moyenne pour les traitements sur site⁶. Pourtant, l'excavation qui est la technique la plus onéreuse reste la technique la plus répandue. Comment inverser cette tendance ?

Verrous à lever

L'excavation qui est la technique la plus onéreuse reste la technique la plus répandue. Cela est sans doute dû à sa rapidité d'exécution et le fait qu'elle présente moins d'aléas techniques. En effet, certains MOA peuvent être frileux envers les innovations qui leur semblent moins fiables que les techniques classiques déjà bien éprouvées. En matière de dépollution :

- Les techniques in situ demandent à être optimisées pour être mieux acceptées
- La bioremédiation nécessite de nombreux développements en particulier la mycoremédiation
- Le phytomanagement est une technique prometteuse pour la dépollution in situ des sols modérément pollués par des métaux mais pour être crédible en dépollution des sols, elle doit gagner en visibilité

5 : <https://www.revue-ein.com/actualite/depollution-des-sols-et-des-nappes-quelles-techniques-pour-quels-polluants>

6 : http://leflochdepollution.com/upload/files/2018.02.28_REVUE_EIN_DEPOL.INDUS.pdf

- Le traitement des sources source par des DNAPL, et dans une certaine mesure par des LNAPL (faible efficacité du pompage/écrémage)

Les avancées en matière de recherche

En matière de dépollution des sols, la filière a su mettre en place des alternatives à l'excavation des sols :

1. Les traitements biologiques, connus depuis 1990, visent à utiliser des bactéries pour dépolluer les sols.

Celles-ci se développent avec l'oxygène et accumulent les polluants dans leur organisme, voire les dégradent (comme les hydrocarbures). Ces traitements sont actuellement les moins coûteux mais les plus longs.

- Biodégradation
- Bioimmobilisation
- Biolixiviation
- Bioslurry (traitement en bioréacteur)
- Biorestauration
- Bioaugmentation
- Biostimulation

La dépollution par des plantes (phytoremédiation) capables de fixer les métaux lourds est aussi utilisée en traitement d'appoint.

- Phytoextraction
- Phytostabilisation
- Phytodégradation / phytotransformation
- Phytovolatilisation / phytostimulation
- Rhizodégradation

2. Les traitements par extraction :

- Traitement thermique : lorsque le sol est chauffé les polluants qu'il contient se volatilisent
- Extraction par lavage des sols avec de l'eau ou un solvant
- Traitement par venting : cette technique consiste à faire passer de l'air dans le sol. L'air se charge de polluants avant d'être traité

3. Le confinement consiste à laisser sur le site l'essentiel de la pollution et à l'isoler pour éviter que l'homme n'entre en contact.

- **PCB-AXELERA** 2006-2012 SUEZ ENVIRONNEMENT, EXTRACTECOTERRES (groupe VINCI), SOGREAH, SOLETANCHE BACHY, SITA, ATANOR, RECUPYL, BRGM, CEMAGREF, CNRS, ENTPE, INSA Lyon, SERPOL, ECOSOLUTION
- **VALORSITES Dépollution des sols** 2007-2013 SERPOL, SITA REMEDIATION, SARP INDUSTRIES, SOL ENVIRONNEMENT, RHODIA, DE LABORATOIRES (INERIS, IFP, CNRS)
- **SILPHES** 2012-2016 Solutions Innovantes de Lutte contre les Produits Halogénés dans les Eaux Souterraines INOVYN SERPOL, SOL ENVIRONNEMENT, CNRS, MAMYTEC, INTERA, BRGM
- **BIOXYVAL** 2013-2021 Filière de solutions technologiques innovantes pour la dépollution de sites industriels marqués par des pollutions complexes EODD, HUMUS, GISFI, COLAS, ICF ENVIRONNEMENT, SERPOL, TAUW, BREZILLON, SOL ENVIRONNEMENT, BRGM
- **FAMOUS** 2016-2020 Utilisation des mousses à effets bloquants et des mousses de désorption/vectorisation du Fer pour le traitement de nappes phréatiques hétérogènes à forte vitesse polluées par des composés chlorés lourds SOLVAY, BRGM, SERPOL, UTINAM, I2M

FAVORISER LA VALORISATION DES TERRES EXCAVÉES



Les solutions proposées par les acteurs de la filière IDfriches sont les suivantes et sont présentées sous forme de fiches pédagogiques : Plateforme de valorisation sur site : Optimisation d'un chantier de dépollution par la réutilisation sur site des matériaux excavés - SUEZ

Contexte

Lors de travaux de réhabilitation de friches, les terres excavées sont très souvent évacuées vers des installations de stockage de déchets non dangereux.

Actuellement, la tendance s'inverse. Le guide de 2017 « Valorisation hors site des terres excavées issues de sites et sols potentiellement pollués dans des projets d'aménagement »⁷ a eu pour ambition de faire évoluer les pratiques (BRGM-INERIS-ADEME). Ce document donne des outils aux producteurs et aux utilisateurs de terres excavées permettant de participer, par une démarche volontaire et sécurisée, au développement de l'économie circulaire en France. Concrètement ce guide prévoit des valeurs seuils d'innocuité environnementale pour les éléments-traces métalliques et certains composés organiques. Il propose une démarche progressive qui s'appuie sur les valeurs de fond pédogéochimique⁸ ou teneurs habituelles dans les sols au niveau national, local ou au cas par cas. Il prévoit l'usage de « bourse aux terres ».

Ce guide fixe trois conditions, qui doivent être respectées simultanément, pour autoriser une valorisation des terres

- Maintenir la qualité des sols du site receveur
- Maintenir la qualité de la ressource en eau et des écosystèmes
- Fournir des terres présentant des caractéristiques chimiques compatibles avec l'usage futur du site receveur

Verrous à lever

Les terres évacuées du site de leur excavation ont, sur le plan réglementaire, un statut de déchets, quelle que soit leur qualité (polluée ou non) et leur impact environnemental.

Ce statut de déchets constitue un frein à leur valorisation dans des opérations d'aménagement ou de génie civil car les modalités de traçabilité et de responsabilité sont alors très contraignantes. Face à cette situation, le ministère de la Transition écologique réfléchit à de nouvelles évolutions.

Les avancées en matière de recherche

Plusieurs acteurs français ont initié des programmes de recherche d'envergure :

- **VALTEX** 2013-2018 financé par l'ADEME : Validation de deux nouveaux concepts de plateformes industrielles pour la valorisation des terres excavées. Partenaires : SITA Remédiation, SITA FD, TOTAL, CEREMA (CETE de Lyon), Université d'Auvergne, BRGM, PERRIER TP, Consensus, UNICEM, Lyon Métropole
- **Projet FP7 – DRAGON** 2012-2015 Development of Resource efficient and Advanced underground technologies. Le partenaire français : Jacques Burdin Conseils. Le projet DRAGON vise à l'amélioration des process industriels propres à faciliter les traitements des matériaux excavés lors des processus de construction souterraine.
- **TERDOUEST** 2008-2013 Terrassements Durables -Ouvrages en sols traités. Partenaires : ARMINES, CNRS, CETE NC, ENPC, ENSM Nancy, IFSTTAR, PME et entreprises
- **Projet ADEME : TRIBUN** 2014-2017 Traitement innovant de déchets. Partenaires : INDURA, L2B/RMBTP, CERIB, CEREMA Lyon, Lhoist/Balthazard
- **GEOPABA** 2017-2019 Contrat de plan Interrégional Etats- Régions Vallée de la Seine élaboration de référentiels de bruits de fonds géochimique en Ile-de-France et Normandie. Partenaires : Soltracing, BG Ingénieurs Conseil, Geovariances
- **ANR - ASURET** 2010-2013 Analyse systémique de l'utilisation des ressources non renouvelables de la technosphère. Partenaires : BRGM, CSTB, INSAVALORPOLDEN, UTT
- **ANR - AGREGA** 2014-2018 Anticipation et Gestion régionales des Ressources en Granulats
- Projets privés : Terreau Industriel ou BCR

7 : <http://ssp-infoterre.brgm.fr/guide-valorisation-hors-site-terres-excavees>

8 : Guide pour la détermination des valeurs de fonds dans les sols – échelle d'un site- ADEME 2018 https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/guide_fpg_etude_site_2018.pdf

RENFORCER LES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES DES SOLS



Les solutions proposées par les acteurs de la filière IDfriches sont les suivantes et sont présentées sous forme de fiches pédagogiques :

- Construction de Néosol - VALTERRA
- BATIFERTILE : Un nouveau concept pour reconvertir les friches basé sur des bâtiments / structures / espaces verts multifonctionnels - SOLEO

Contexte

« Les services écosystémiques représentent les multiples avantages que la nature apporte à la société ».

Bien que fortement impactés par les activités humaines (pollution, ...) les sols, notamment en milieu urbain, sont capables de rendre des services écosystémiques (SES) essentiels à la viabilité des sociétés humaines. L'exploitation des SES s'est longtemps attachée à tirer profit d'un nombre restreint de services (approvisionnement en biomasse à vocation alimentaire, énergétique). La gamme des services qu'ils peuvent potentiellement offrir est pourtant très vaste :

- Régulation des pluies acides
- Prévention de l'érosion
- Habitat pour la biodiversité
- Tourisme
- Stockage de carbone

Le sol n'est alors plus considéré comme un simple support pour le bâti. Ce concept très récent a l'ambition de "reconstruire la ville sur la ville". Des espaces comme les friches pourront être réinvestis, permettant ainsi de préserver les sols agricoles d'une urbanisation de plus en plus importante.



Schéma à retrouver sur le site de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture : <http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/fr/c/294324/>

Verrous à lever

Les démarches qui pourront permettre de mesurer, exprimer voire spatialiser les différents services rendus sont très attendues. Cela permettra d'intégrer ces données dans les décisions de gestion des friches (aménagement, etc...).

La monétarisation des services fait également l'objet de points d'attention. Si des données quantitatives sont obtenues cela permettra d'avancer plus rapidement vers une meilleure prise en compte de ces services.

Le développement d'outil simple et opérationnel à l'attention des aménageurs pour évaluer semi-quantitativement les services écosystémiques des sols urbains est donc un point à éclaircir. Cela nécessite l'action croisée de nombreuses disciplines : pédologie, biologie, écologie, agronomie, science des déchets, sociologie et économies.

Les avancées en matière de recherche

Il s'agit d'un domaine où tout est à créer et dont quelques projets ont été financés au niveau national :

- **BIOTECHNOSOL** Biodiversité et fonctionnement d'un Technosol construit et utilisé dans la restauration de friches industrielles
- **SITERRE procédé de construction de Sols à partir de matériaux Innovants en substitution à la terre végétale et aux granulats de carrière**, finalisé
- **BIOSAINE** Re-fonctionnalisation de sols biotraités en vue de la production d'une biomasse saine à vocation énergétique. BURGEAP, Microhumus, SolPaysage, Université de Lorraine, PROVADEMSE, Normandie Aménagement, 2016-2022
- **AGREGE** en cours (SUEZ / ARTELIA / BRGM/ VALTERRA/ Métropole de Lyon)

Au niveau européen, un certain nombre de programme sont lancés :

- **Nature4Cities** : Nature Based Solutions for re-naturing cities: knowledge diffusion and decision support platform through new collaborative models
- **REGARDS** : Resilience of marginal grasslands and biodiversity management decision support.
- **CONNECT** : Linking biodiversity conservation and ecosystem services: advancing insights in tradeoffs and synergies between biodiversity, ecosystem func
- **INVALUABLE** : Integrating Valuations, Markets and Policies for Biodiversity and Ecosystem Services
Projet

ENCOURAGER LA DIGITALISATION DE LA FILIÈRE



Les solutions proposées par les acteurs de la filière IDfriches sont les suivantes et sont présentées sous forme de fiches pédagogiques :

- Utilisation de Drones : Une technique disruptive pour cartographier les friches industrielles - ENVISOL
- Logiciels d'acquisition et de cartographie des observations de terrain et des résultats d'analyse - TAUW
- Modélisation 3D et visualisation par réalité virtuelle : Modélisation des données relative au diagnostic d'un site pollué - TAUW
- CHRYSAE : Plateforme d'outils numériques pour la gestion des sites et sols pollués - TESORA
- Module SRoreos : Solution logicielle couplant des méthodes de détection de phase organique et géostatistique au sein d'une plateforme dédiée aux SSP - GINGER BURGEAP /KIDOVA

Contexte

Les entreprises du secteur des sites et sols pollués commencent à axer leurs développements autour de la digitalisation et la transformation numérique. Dans cette dynamique, elles déploient des offres sur mesure et connectées pour optimiser notamment les services liés à la gestion des terres polluées.

Le numérique est également au service du diagnostic via des tablettes et outils connectés qui permettent un traitement de la donnée plus rapide et plus fiable.

Verrous à lever

- Coûts
- Facilité de mise en œuvre
- Matériels et logiciels

Les avancées en matière de recherche

- Réalité virtuelle pour le diagnostic
- Tablettes numériques connectées pour la collecte des données et la mise en forme pédagogique des résultats pour le MOA
- Container connecté
- Container connecté autonome
- Process de diagnostic et de dépollution connecté

Outil numérique ENVIRISK : ENVISOL a développé une nouvelle méthodologie permettant la réalisation d'étude sanitaire en intégrant leur dimension spatiale. La variabilité spatiale de la pollution issue de modélisations géostatistiques est intégrée dans ENVIRISK. Les niveaux de risques sont alors cartographiés sur l'ensemble du site.

FUI Matrice : "Matrice" a pour but de proposer des **outils analytiques** de mesure des composés les plus couramment rencontrés dans le domaine des **sites et sols pollués** dans des délais très courts, directement sur site, et avec une qualité et une précision compatible avec les obligations réglementaires et permettant leur exploitation via un outil géostatistique. Matrice est porté par le bureau d'études ERG Environnement.

Outil numérique Cartorisk : développé en partenariat entre EODE (coordonnateur, à citer en premier), BURGEAP, GEOVARIANCES, Elementerre pour une modélisation géostatistique de la répartition spatiale de la pollution du sol et des risques sanitaires associés.



**Améliorer les diagnostics
par l'innovation
précision et performance**

TABLES DES MATIÈRES

La géostatistique appliquée aux sites et sols pollués : Modéliser le comportement des polluants en fonction de leur localisation sur un site - ENVISOL.....	20
Diagnostic 2.0 – SCAN 360® : Diagnostic de pollutions plus précis et plus rapide grâce à des mesures <i>in situ</i> - ENVISOL	22
Diagnostic innovant des pollutions par phytoscreening : Les plantes au service du diagnostic - TAUW.....	25
Modélisation 3D et visualisation par réalité virtuelle : Modélisation des données relative au diagnostic d'un site pollué - TAUW	27
Bioaccessibilité : « Caractérisation de la fraction bioaccessible des contaminants des sols» - TESORA.....	29
Bioindicateurs & Risques environnementaux : Couplage innovant d'indicateurs pour l'évaluation des risques environnementaux - TESORA.....	31

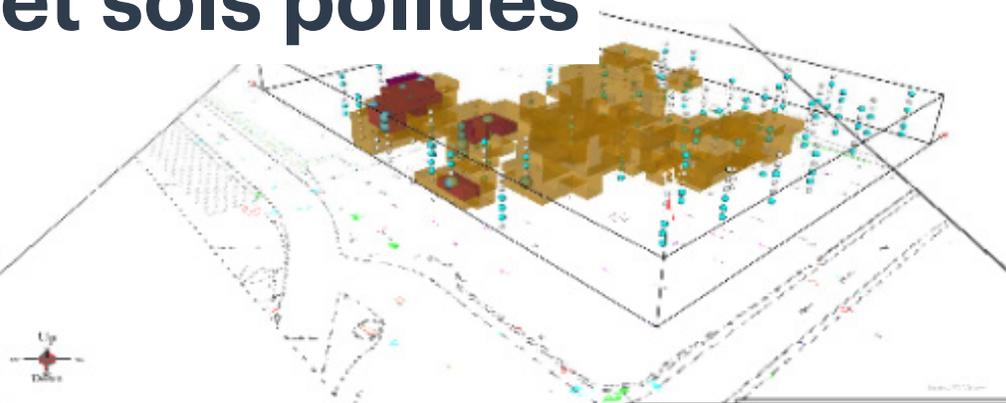


TECHNOLOGIES ET SOLUTIONS INNOVANTES

La géostatistique appliquée aux sites et sols pollués



Envisol



MODÉLISER LE COMPORTEMENT DES POLLUANTS EN FONCTION DE LEUR LOCALISATION SUR UN SITE

DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

La géostatistique est un outil qui permet de modéliser le comportement des concentrations en fonction de leur localisation sur le site, dans les différentes directions de l'espace.

Cette méthode permet :

- D'interpoler les résultats et donc d'affiner les volumes en fonction de la **structure spatiale** de la pollution et du terrain (ce qui n'est pas le cas dans le maillage),
- D'estimer l'incertitude associée au calcul des volumes de terres polluées,
- De modéliser en 3D et cartographier les volumes de terres polluées,
- De calculer des probabilités de risques de dépassement des seuils de dépollution



Une initiative de la **Région Auvergne-Rhône-Alpes** | Aménagement



POLLUTION CIBLÉE

Tous types de polluants

COÛT MOYEN

5-20 k€

DURÉE MOYENNE

5 - 20 jours

MATURITÉ

Eprouvée et commercialisée

RETOURS EXPÉRIENCE / DÉMONSTRATION

Envisol possède une équipe de data scientist capable d'intégrer les problématiques SSP à l'application de l'outil géostatistique. Envisol possède de nombreux REX portant sur :

- La spatialisation de pollution dans les sols, eaux souterraines et gaz du sol.
- Détermination de volumes de terres à dépolluer avec un couplage au bilan massique (PARETO), associé à une incertitude.
- La spatialisation de risques sanitaires.
- L'optimisation de stratégie d'échantillonnage avec traitement de données antérieures.
- L'optimisation de plans de terrassement.



Avantages :

- L'outil géostatistique apporte une rigueur scientifique à la détermination des volumes de terres contaminées
- Il est possible d'approcher les incertitudes résultant des investigations et du traitement des données.



Avantages pour le maître d'ouvrage

- Optimisation des mesures de gestion
- Moins d'aléas de chantier donc moins de dérives financières et de retard de chantiers

IDfriches est une action originale initiée par la Région Auvergne-Rhône-Alpes. Elle est cofinancée par l'Union européenne dans le cadre du Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)



TECHNOLOGIES ET SOLUTIONS INNOVANTES



Diagnostic 2.0 – SCAN 360®



DIAGNOSTIC DE POLLUTIONS PLUS PRÉCIS ET PLUS RAPIDE GRÂCE À DES MESURES IN SITU

DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

SCAN 360® a pour objectif de rendre le diagnostic des pollutions plus précis et plus rapide, tout en réduisant les aléas et les coûts relatif aux chantiers. L'innovation de l'outil SCAN 360® repose sur l'utilisation de méthodes d'analyses in situ. Celles-ci comprennent différents outils mobiles et rapides d'exécution illustrés ci-dessus. Les données sont géospatialisées et intégrées dans une application terrain. Leur multiplication permet de les utiliser dans des modèles géostatistiques pour une caractérisation plus précise de la structure des contaminations et/ou une optimisation des volumes de terres à traiter.

POLLUTION CIBLÉE

Tous types de polluants, dans les sols ou les gaz du sol

COÛT MOYEN

Deux fois plus rapide et trois fois moins cher qu'une approche classique

DURÉE MOYENNE

5 - 40 jours



Une initiative de la **Région Auvergne-Rhône-Alpes** | Aménagement



MATURITÉ

Eprouvée et commercialisée

RETOURS EXPÉRIENCE / DÉMONSTRATION

Envisol a réalisé une vingtaine de chantier Scan360



Avantages :

- Obtention des résultats en temps réel, permettant :
 - de dimensionner les sources de pollution plus rapidement (i.e. une seule phase d'investigation)
 - de trier les terres à l'avancement et les orienter vers les filières adaptée
- Multiplication des analyses à un moindre coût, permettant :
 - d'avoir une meilleure connaissance des volumes et de la structure des contaminants
 - l'intégration des données dans un modèle géostatistique



Avantages pour le maître d'ouvrage

- Réduction des étapes de diagnostic et prise de décisions en temps réels
- Gain de temps et réduction des aléas de chantier
- Chantier moins couteux

DIAGNOSTIC 2.0 SCAN 360

UN DIAGNOSTIC PLUS RAPIDE
ET PLUS PRECIS



Un laboratoire
mobile



Une prestation plus
rapide



Acquisition numérique
des données



Précision du diagnostic
augmentée



Spatialisation des
données



Un gain financier



UNE REVOLUTION NUMERIQUE POUR LE DIAGNOSTIC DE POLLUTION

C'est une autre façon d'appréhender le diagnostic. Les méthodes d'acquisitions et de traitement des données ont été repensées pour créer une solution innovante de diagnostic des pollutions plus précise et plus rapide.

La méthodologie scan 360° repose sur 3 piliers :

- 1) le laboratoire mobile permettant des mesures sur site pour les grandes familles de polluants. Celui-ci nous permet de multiplier l'analyse à moindre coût et d'orienter le positionnement des mesures en temps réel.
- 2) L'acquisition et la visualisation numérique des données. Une suite logiciel full-web associée à des applications de terrains nous permettent de procéder au recueil d'énormément de données diverses, toutes géoréférencées, directement sur site et agencées au fur et à mesure.
- 3) Le traitement des données géostatistiques : toutes les données recueillies peuvent être traitées rapidement par un ensemble de méthodes de modélisation de la répartition spatiale de la pollution. Ceci permet une intégration rationnelle des données issues du laboratoire avec les données issues des mesures sur site tout en y associant une incertitude d'estimation.

Pour plus d'informations :
www.envisol.fr

Contacts :
Agence La Tour du Pin
g.plassart@envisol.fr
p.semaoune@envisol.fr
07 50 61 74 17

Agence de Rouen
a.malvoisin@envisol.fr
02 32 10 73 31



IDfriches est une action originale initiée par la Région Auvergne-Rhône-Alpes. Elle est cofinancée par l'Union européenne dans le cadre du Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)



125 à 175 €
prélèvement et analyse / arbre

20 à 40
arbres par jour

TAUW

Diagnostic innovant des pollutions par phytoscreening

TECHNOLOGIES ET SOLUTIONS INNOVANTES

LES PLANTES AU SERVICE DU DIAGNOSTIC

DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

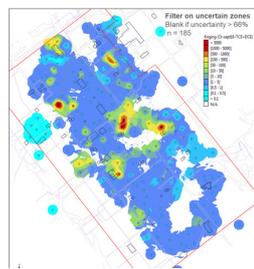
Le diagnostic de pollution par phytoscreening consiste à utiliser les arbres comme indicateur de la présence de pollution dans les sols et les nappes. Le diagnostic suit le phasage suivant :

- Repérage des arbres pertinents selon un maillage adapté au site et aux objectifs,
- Echantillonnage d'arbres (bois et/ou écorce),
- Protocoles (échantillonnage et analyse) adaptés aux polluants recherchés (COV, métaux, HCT, HAP, PCB)



Echantillonnage sur un arbre

Selon les cas, des échantillons de sol, de nappe ou de gaz des sols peuvent être nécessaires.



Cartographie Phytoscreening

- Validation des résultats bruts (blancs, bruit de fond...),
- Interprétation cartographique

Si d'autres matrices que les arbres sont échantillonnées, l'interprétation inclut une recherche de corrélation des concentrations Arbre vs. Nappe ou Arbre vs Sol

Plusieurs études de démonstrations ont permis d'établir des corrélations entre les concentrations dans les arbres et les autres matrices du site (nappe et gaz des sols pour les COV, nappe et sol pour les métaux).



Une initiative de la Région Auvergne-Rhône-Alpes | Aménagement

POLLUTION CIBLÉE

Principaux retours d'expérience pour les Composés Organiques Volatils (BTEX, COHV) et métaux/métalloïdes (25 éléments)

Retours d'expérience plus limité sur les HCT C10-C40, HAP et PCB.

COÛT MOYEN

Prélèvement et analyse 125 à 175 € / arbre (pour l'analyse de COV ou de métaux, hors déplacement et interprétation)

Rapidité de prélèvement de l'ordre de 20 à 40 arbres / jour (selon conditions d'accès)

MATURITÉ

Technique opérationnelle pour les polluants COV (BTEX et COHV) et métaux (25 composés).

Technique en phase de démonstration pour les polluants HCT, HAP et PCB, ainsi que pour le couplage avec des analyseurs de terrain (type XRF pour les métaux ou micro-GC pour les COV).

RETOURS EXPÉRIENCE / DÉMONSTRATION

Afin de pouvoir utiliser les résultats d'analyse sur les arbres pour estimer les concentrations dans les sols, la nappe ou les gaz du sols, il est recommandé d'échantillonner ces autres matrices en quelques points du site. Délimitation des panaches de COHV dans la nappe d'un grand site (30 ha.) multi-sources (20 à 25 zones potentielles) :

- coût global du diagnostic Phytoscreening = 57 K€ / vs. 250 K€ avec des méthodes classiques (piézairs, piézomètres)
- durée de l'intervention Phytoscreening = 2 semaines / vs. 6 mois avec des méthodes classiques de caractérisation de la qualité de la nappe).



Avantages :

- Aucune contrainte de sécurité ou d'accès liée à l'intervention : réseaux / DICT, zone ATEX, gestion des cuttings, permis de forage / de feu, méthode peu intrusive particulièrement adaptée aux mesures hors site.
- Bonne corrélation des analyses Phytoscreening avec les autres matrices du site (nappe / gaz des sols)
- Particulièrement adapté aux grands sites multi-sources



Avantages pour le maître d'ouvrage

- Optimisation des coûts : 4 à 8 fois moins cher que des méthodes conventionnelles (sondages, forages)
- Optimisation du temps d'intervention : 5 à 10 fois plus rapide que des méthodes conventionnelles

IDfriches est une action originale initiée par la Région Auvergne-Rhône-Alpes. Elle est cofinancée par l'Union européenne dans le cadre du Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)



TECHNOLOGIES ET SOLUTIONS INNOVANTES

Modélisation 3D et visualisation par réalité virtuelle



MODÉLISATION DES DONNÉES RELATIVE AU DIAGNOSTIC D'UN SITE POLLUÉ

DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Modélisation des données relative au diagnostic d'un site pollué :

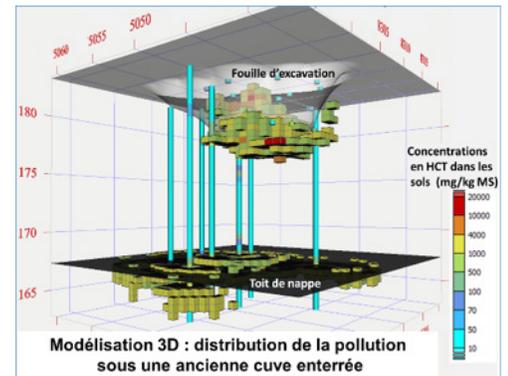
- Visualisation 3D des pollutions (sol / nappe / gaz des sols) et des coupes (topographie, horizons lithologiques, nappe)
- Modélisation 3D des données à l'aide d'outils géostatistiques (Kartotrak®)
- Construction de schémas conceptuels en 3D
- Visualisation sur plans dynamiques ou films ou à l'aide de l'application gratuite TAUW AR®.

Valorisation des modélisations :

- Dimensionnement des solutions de dépollution : volume pollué, bilan de masse de polluants
- Anticipation des contraintes chantier : bâtiment, route, cuve enterrée, réseau, talutages, déblais / remblais ...

Application TAUW AR® : <http://www.tauw.com/vrar/download-the-app/>
Exemples de projets réalisés (relevés drones, réseaux enterrés, incrustation paysagère) sur la chaîne Tauw Test Lab :

https://www.youtube.com/channel/UCShB25sGDdz7BovRnCi_07Q



COÛT MOYEN

Modélisations géostatistiques : à partir de 1 000 € selon les données disponibles et les objectifs attendus (cartographie, bilan de masse, plans de travaux).

Visualisation à l'aide de l'application TAUW AR® : à partir de 2 000 € en fonction des fonctionnalités recherchées (interactivité, informations quantitatives intégrées, animations, liens avec des documents joints)

MATURITÉ

Les outils de modélisation (géostatistiques, schéma conceptuels) sont opérationnels depuis quelques années. Des développements sont en cours rendre l'application TAUW AR® compatible avec différents formats de données.

RETOURS EXPÉRIENCE / DÉMONSTRATION

En France, la modélisation géostatistique des sites pollués a été mise en œuvre sur plusieurs dizaines de projets. La visualisation 3D avec l'application TAUW AR® est désormais réalisée sur plusieurs projets d'infrastructure aux Pays-Bas



Avantages :

- Visualisation des pollutions et des contraintes chantier grâce à la cartographie 3D
- Aide à la justification des solutions de gestion (pollutions concentrées, bilan coût-avantages)
- Aide au dimensionnement des dépollutions (plans d'exécution, bilans massiques, intégration des contraintes chantier : réseaux & cuves, talutage & blindage ...)



Avantages pour le maître d'ouvrage

- Visualisation des modèles pour rendre compte des études, de la conception ou de l'avancement des travaux
- Outil de communication aux différentes parties prenantes (administration, aménageurs et décideurs, entreprise de travaux, personnel interne des clients, riverains ...)
- Aide à l'appréciation du rendu final (terrassements, dépollutions, déconstruction, constructions)

IDfriches est une action originale initiée par la Région Auvergne-Rhône-Alpes. Elle est cofinancée par l'Union européenne dans le cadre du Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)



TECHNOLOGIES ET SOLUTIONS INNOVANTES

Bioaccessibilité : Caractérisation de la fraction bioaccessible des contaminants des sols



DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

La caractérisation de la bioaccessibilité est proposée dans la méthodologie nationale pour améliorer la caractérisation de l'exposition lors des calculs de risques sanitaires. En zone d'incertitude, les mesures de bioaccessibilité permettent d'affiner l'exposition par la prise en compte de la fraction de polluant dans les sols réellement susceptible de passer les barrières biologiques et d'atteindre les sites d'action toxiques.

POLLUTION CIBLÉE

Contaminants inorganiques (As, Cd, Pb)

COÛT MOYEN

Nous contacter pour établir un devis

DURÉE MOYENNE DU TRAITEMENT

15 jours



Une initiative de la **Région Auvergne-Rhône-Alpes** | **Aménagement**

MATURITÉ

TRL : Niveau 9

Testé en laboratoire

Plusieurs démonstrateurs

Tesora mène actuellement le projet de recherche COMBINE visant à coupler des indicateurs biologiques et chimiques pour une évaluation intégrative des risques

RETOURS EXPÉRIENCE / DÉMONSTRATION

Amélioration de la caractérisation des expositions des populations



Avantage :

La caractérisation de la bioaccessibilité permet de réaliser une évaluation des risques sanitaires au plus proche de la réalité en considérant uniquement la fraction du contaminant présent dans les sols susceptibles de provoquer des effets délétères.



Avantage pour le maître d'ouvrage

Lors d'une identification de risques sanitaires des mesures de gestion des pollutions doivent être mises en œuvre. La prise en compte de la fraction totale des contaminants présents dans les sols tend à surestimer ces risques et donc peuvent engendrer des mesures de gestion inadaptées. En mesurant la fraction bioaccessible des contaminants dans les sols, les risques sanitaires sont estimés au plus proche de la réalité permettant de définir des mesures de gestion en adéquation avec les risques réels.

IDfriches est une action originale initiée par la Région Auvergne-Rhône-Alpes. Elle est cofinancée par l'Union européenne dans le cadre du Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)



TECHNOLOGIES ET SOLUTIONS INNOVANTES

Bioindicateurs & Risques environnementaux



COUPLAGE INNOVANT D'INDICATEURS POUR L'ÉVALUATION DES RISQUES ENVIRONNEMENTAUX

DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Pour obtenir une caractérisation précise et fiable des risques pour l'environnement et ainsi évaluer l'ensemble des expositions, il est nécessaire de tenir compte de la biodisponibilité des contaminants, définie comme étant la fraction d'un contaminant présent dans le sol qui peut entrer dans l'organisme et engendrer un effet néfaste pour ce dernier.

L'utilisation de bioindicateurs permet de mesurer l'impact sur l'environnement des polluants présents dans les sols. L'utilisation couplée de bioindicateurs d'accumulation, d'effet et de biodiversité permet d'obtenir une image de la qualité biologique d'un sol et du risque qu'il peut représenter pour les écosystèmes quand il est contaminé. Ainsi, nous couplons les réponses de 5 indicateurs pour obtenir une évaluation globale et intégrative :

- L'indice nématofaunique permettant de caractériser l'état biologique d'un sol,
- Les indices PhytoMet (végétaux) et SET (escargots) pour caractériser le transfert et la biodisponibilité des contaminants
- Les indices Oméga3 (végétaux) et ERITME (escargots) pour caractériser les risques et les effets des polluants sur la faune et la flore

Ces valeurs permettront de définir le risque de transfert de contaminants des sols ainsi que leurs effets pour aider les administrateurs de sites à sélectionner la meilleure voie de valorisation des terres.

La confrontation des méthodes chimique et biologique permettra également d'établir des ponts en Evaluation des Risques Sanitaires (ERS) et Evaluation des Risques Environnementaux (ERE) pour mutualiser les données et ainsi de réduire les coûts de caractérisation des risques.

IDfriches est une action originale initiée par la Région Auvergne-Rhône-Alpes. Elle est cofinancée par l'Union européenne dans le cadre du Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)



Une initiative de la **Région Auvergne-Rhône-Alpes** | **Aménagement**

POLLUTION CIBLÉE

Contaminants inorganiques (métaux et métalloïdes) et organiques (HAP, PCB)

COÛT MOYEN

Nous contacter pour établir un devis

DURÉE MOYENNE DU TRAITEMENT

De 15 jours à 6 semaines

MATURITÉ

TRL : Niveau 9

Testé en laboratoire

De nombreux projets de recherches ont permis le développement de ces bioindicateurs dont le programme Bioindicateurs 2 de l'ADEME.

Tesora mène actuellement le projet de recherche COMBINE visant à coupler des indicateurs biologiques et chimiques pour une évaluation intégrative des risques.

RETOURS EXPÉRIENCE / DÉMONSTRATION

L'utilisation de bioindicateurs a déjà permis d'adapter un plan de gestion en démontrant que les polluants présents dans les sols ne présentaient pas de risques pour l'environnement. Un guide présentant leur utilisation ainsi que des retours d'expérience est disponible sur le site de l'ADEME : <https://www.ademe.fr/bio-indicateurs-letat-sols>



Avantages :

- L'utilisation de bioindicateurs permet la réalisation d'une réelle évaluation des risques environnementaux. Leur utilisation est proposée dans la méthodologie nationale comme outil d'aide à la décision
- Ils permettent également la mutualisation des analyses physico-chimiques pour une caractérisation simultanée des risques sanitaires et environnementaux des contaminants inorganiques présents dans les sols



Avantage pour le maître d'ouvrage

L'utilisation de bioindicateurs (méthode présentée dans la nouvelle méthodologie de gestion des sites et sols pollués de 2017 et la norme ISO 19204 : TRIADE) permet de caractériser les risques environnementaux. En caractérisant les transferts des polluants présents dans les sols, les bioindicateurs fournissent une image des risques qui intègre l'ensemble des facteurs modulant les transferts de contaminants (environnementaux, caractéristiques physico-chimiques des sols...). Ainsi, ils peuvent démontrer une absence de risques environnementaux quand les analyses des risques sanitaires concluent à un risque pour l'Homme. Cette information permet alors d'adapter et d'orienter les stratégies de gestion des pollutions vers des technologies de dépollution douces comme le phytomanagement tout en s'assurant de l'absence d'impact sur l'environnement.

The background image shows an industrial facility. In the foreground, there is a large, long building with a corrugated metal roof and walls. Behind it, a tall, cylindrical concrete tower with several windows is visible against a clear blue sky. The scene is partially obscured by large, semi-transparent blue geometric shapes that create a modern, abstract design. The text is overlaid on a white rectangular area in the lower half of the image.

**Développer des outils
d'aide à la décision
pour les fonciers à requalifier**

TABLES DES MATIÈRES

ENVIRISK® : Un outil de spatialisation des risques sanitaires - ENVISOL.....	35
Gone technologies : Aide à la décision en phase de plan de gestion - Gone Environnement.....	38
Plan de conception de travaux : Laboratoire d'essais / pilote - COLAS environnement.....	42
MISS : Microcosmes In Situ pour le dimensionnement des dépollutions par bioStimulation - TAUW	44



TECHNOLOGIES ET SOLUTIONS INNOVANTES



Envisol

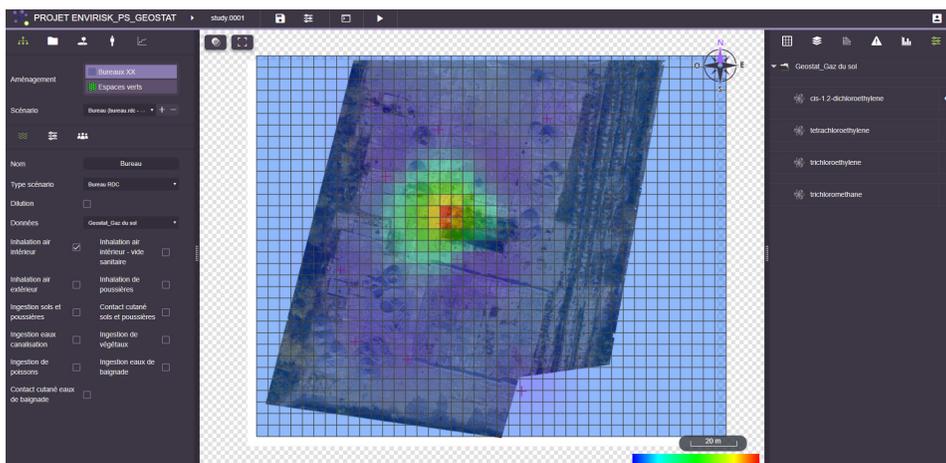
ENVIRISK® : Un outil de spatialisation des risques sanitaires



DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Le métier d'expertise en sites et sols pollués est récent ce qui se traduit par un manque d'outils capables d'accompagner les acteurs et de représenter au mieux les conséquences environnementales d'une exploitation industrielle sur un terrain, notamment pour les risques sanitaires.

ENVIRISK® apporte une réponse globale à la demande d'intégration efficace des différentes sources d'information (pollutions, futur projet, risques sanitaire) et à la diffusion pédagogique des problématiques environnementales pour une meilleure prise de décision par l'ensemble des acteurs. ENVIRISK permet la spatialisation des risques sanitaires.



Une initiative de la **Région Auvergne-Rhône-Alpes** | **Aménagement**



POLLUTION CIBLÉE

Tous types de polluants

COÛT MOYEN

5-20 k€

DURÉE MOYENNE

3 - 10 jours

MATURITÉ

Eprouvée et commercialisée

RETOURS EXPÉRIENCE / DÉMONSTRATION

Au sein du bureau d'étude Envisol, les études de risques sont réalisées avec le logiciel Envirisk.



Avantages :

- Logiciel Ergonomique adapté aux études de risques en SSP
- Module d'incertitude basé sur les méthodes de Monté Carlo
- Cartographie des risques sanitaires sur l'ensemble du site
- Outils d'aide à la décision permettant une meilleure lisibilité des résultats pour l'ensemble des acteurs
- Optimisation du plan d'aménagement et des mesures de gestion



Avantages pour le maître d'ouvrage

- Maitrise des risques sur l'ensemble du site
- Optimisation du plan d'aménagement et des mesures de gestion : chantier moins couteux



LOGICIEL DE CARTOGRAPHIE DES RISQUES SANITAIRES



Spatialisation des
risques sanitaires



Visualisation des
risques à l'échelle du site



Estimation des
risques en temps réel



Outil d'aide à la décision



Maîtrise des
incertitudes



Optimisation du projet de
réhabilitation et des coûts



Développé par
Envisol

Vers une optimisation et une maîtrise des Risques Sanitaires

L'évaluation des risques sanitaires constitue une partie intégrante de la méthodologie des sites et sols pollués avec un domaine d'application qui s'est largement étendu : élaboration de valeurs seuils, objectif de dépollution, outil d'aide à la décision sur des projets de réhabilitation et réponse aux interrogations des populations.

ENVISOL a développé une méthodologie permettant la réalisation d'étude sanitaire en intégrant leur dimension spatiale. La variabilité spatiale de la pollution issue de modélisations géostatistiques est intégrée dans un logiciel. Les niveaux de risques sont alors cartographiés sur l'ensemble du site.

C'est un véritable outil d'aide à la décision pour les décideurs permettant ainsi d'optimiser les projets de réaménagement de friches polluées en intégrant la dimension spatiale des éléments décisionnels.

Pour plus d'informations :
www.envisol.fr

Contacts :
Agence La Tour du Pin
g.plassart@envisol.fr
p.semaoune@envisol.fr
07 50 61 74 17

Agence de Rouen
a.malvoisin@envisol.fr
02 32 10 73 31



IDfriches est une action originale initiée par la Région Auvergne-Rhône-Alpes. Elle est cofinancée par l'Union européenne dans le cadre du Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)



TECHNOLOGIES ET SOLUTIONS INNOVANTES

Solutions intégrées Gone technologies Prototype & cellule



DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Gone Environnement développe des tests sur prototype par la mise en dépression de sols appelés prototype Gone'Air afin de réaliser des essais de Venting sur colonne. Il s'agit d'appliquer un flux d'air comprimé homogène dans une colonne de sol placée à la verticale et de suivre au cours du temps la dépression induite dans la colonne de sol ainsi que la qualité des gaz en exhaure. Les paramètres physico-chimiques de sols ainsi que leurs teneurs en polluants sont également déterminés avant et après l'essai afin d'appréhender les capacités de volatilisation des différents polluants ainsi que les potentiels abattements de concentrations induits par l'essai.

Gone'Air se développe à deux échelles, en prototype avec des échantillons de sols d'environ 10 kg qui permet de réaliser des essais en conditions contrôlées et celle du site pilote avec des échantillons d'environ 300 à 400 kg de terres polluées, qui permet d'appréhender les processus en jeu à plus grande échelle. Les essais concernent des échantillons remaniés dans un premier temps puis non remaniés et intègrent des variations de la qualité du milieu (conditions aérobies et anaérobies).

L'objectif est d'obtenir une première orientation sur la faisabilité des traitements sur site et hors site dans le cadre de la réhabilitation des friches ainsi qu'une meilleure compréhension des mécanismes en jeu dans la dégradation des polluants. Les différents essais réalisés avec le prototype permettront de créer une base de données sur laquelle s'appuieront les outils d'aide à la décision développés par Gone Environnement. Les résultats du prototype obtenus relativement rapidement et dès la phase diagnostic complémentaires permettront d'orienter les démarches de réhabilitation en sélectionnant ou en écartant d'emblée certaines techniques de dépollution tout en apportant des premiers éléments quant à la faisabilité de leur mise en œuvre sur un site en particulier. La prise en compte précoce des spécificités lithologiques, géologiques, géotechniques et microbiologiques du site ainsi que de la présence de sources croisées de contamination pourrait permettre un gain de temps et des économies substantielles sur la démarche de réhabilitation des friches.



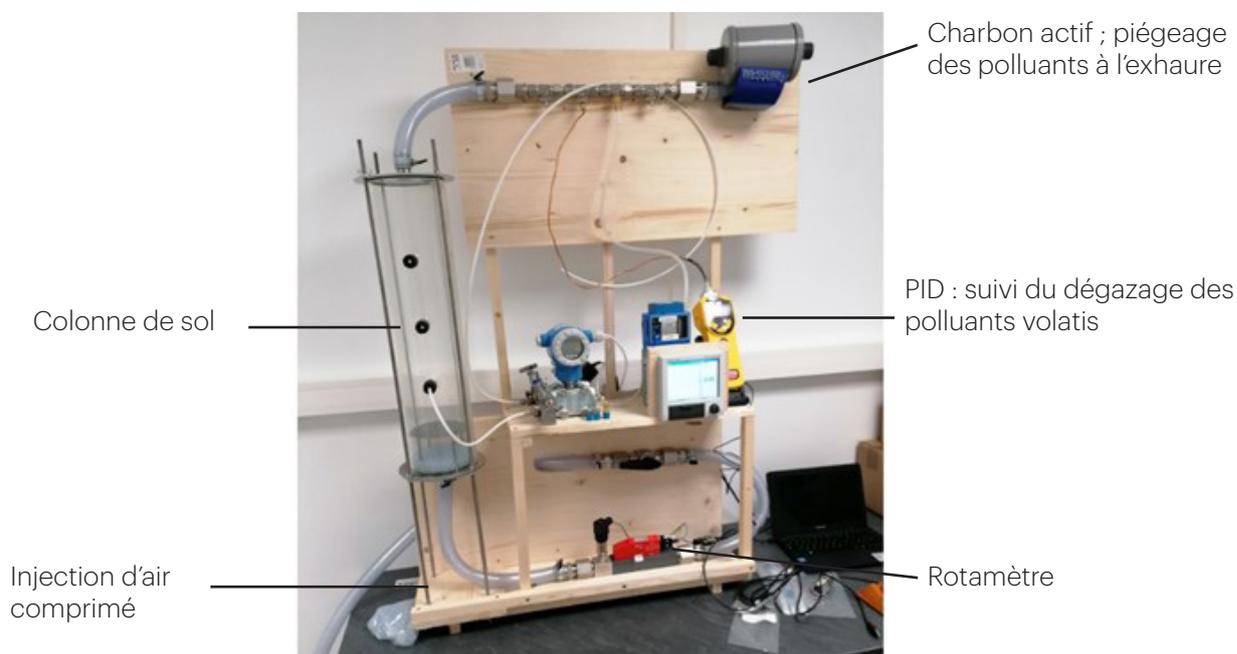
Une initiative de la **Région Auvergne-Rhône-Alpes** | Aménagement

⇒ Conduite de la mission

La mission consiste en la réalisation d'une étude préalable (diagnostic complémentaire) permettant de sélectionner et de prélever les échantillons de sol qui feront l'objet d'un essai sur le prototype Gone'Air. 15 à 20 kg de terres sont prélevés par un intervenant qualifié de Gone Environnement, conditionnées dans des sceaux. L'échantillon est ensuite placé dans la colonne puis soumis à une dépression contrôlée pendant 48h. Les gaz d'exhaure sont piégés dans un charbon actif qui sera ensuite analysé. Le débit d'air comprimé injecté, la dépression appliquée à la colonne de sol ainsi que le signal PID en sortie de prototype sont monitorés tout au long de l'expérience. Enfin, un sous-échantillon est prélevé pour analyse et comparaison avec l'état initial. Les paramètres analysés sont les suivants :

- Métaux sur brut et sur éluât,
- Polluants organiques : HCT, HAP, BTEX, CAV, COHV,
- Les anions : Nitrates, Sulfates,
- Paramètres biologiques (levures et champignons, flores bactériennes aérobie, anaérobie et sulfato-réductrices).

Les résultats sont ensuite analysés et interprétés avant leur présentation au client via une interface actuellement en cours de développement.



Le prototype Gone'Air

POLLUTION CIBLÉE

Polluants traceurs organiques volatils HCT C5-C21, COHV, HAP, CAV.

COÛT MOYEN

Environ 12 000 €HT incluant une étude préalable, le prélèvement des échantillons de sols, l'essai, l'analyse et l'interprétation des résultats.

DURÉE MOYENNE

Pour le test sur prototype complet incluant le choix, les prélèvements des échantillons, l'essai en laboratoire ainsi que l'analyse des résultats et la remise d'une note de synthèse : environ 6 semaines.

MATURITÉ

Sur une échelle TRL, le prototype a été placé au niveau 3 (preuve expérimentale de concept). Les protocoles de traitement des échantillons et d'analyses des résultats sont en cours de validation. L'intégration de ces essais sur prototype dans les solutions intégrées Gone R Technologies va permettre de placer les essais sur prototype au commencement de la démarche de réhabilitation des friches chez Gone Environnement



RETOURS EXPÉRIENCE / DÉMONSTRATION

Le prototype s'appuie sur une étude préliminaire théorique et expérimentale réalisée en collaboration avec Polytech'Savoie (école d'ingénieurs) qui a permis de :

- Appréhender les processus en œuvre dans le cas d'une dépression appliquée à une colonne de sol,
- Dimensionner le prototype et mesurer la dépression,
- Réaliser un premier test.

Une fois le prototype assemblé, les premiers tests de fonctionnalité ont été conduits et ont permis de montrer l'étanchéité de la colonne de sol et le bon fonctionnement des dispositifs de récupération et purification des gaz d'exhaure vers l'atmosphère ainsi que des appareils de suivi de l'expérience en continu (débitmètre, PID).

Un essai a ensuite été conduit sur un échantillon de sable puis un échantillon de terreau du commerce. Le prototype étant opérationnel, les premiers tests sont en cours avec des échantillons issus du site pilote de Gone Environnement mais également d'autres sites inclus dans la démarche R&D.

L'étape suivante consiste à mettre en œuvre un essai sur cellule Gone'Air avec 300 à 400 kg de sols remaniés sur le site pilote de Gone Environnement ainsi qu'à la conception d'un prototype capable d'accueillir des échantillons de sol non remaniés.

IDfriches est une action originale initiée par la Région Auvergne-Rhône-Alpes. Elle est cofinancée par l'Union européenne dans le cadre du Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)



Avantages :

- Développement d'un nouveau service d'essais de faisabilité/traitabilité pour la réhabilitation des friches et sites pollués – enrichissement de la prestation élémentaire B111 de la norme NFX-31-620 et réduction des délais et des coûts associés à cette phase d'essais de traitabilité,
- Gone'Air permet d'évaluer directement la capacité des sols à accepter une dépression, les capacités de volatilisation des polluants et les possibilités d'abattement des concentrations,
- La compilation des résultats Gone'Air va permettre la création d'une base de données Gone Environnement et d'un outil d'aide à la décision pour sécuriser le choix des techniques de dépollution chimique, physique ou biologique,
- Prise en compte des sources croisées et anticipation de la possibilité de mixité de traitement,
- Amélioration de la compréhension des processus de dégradation des polluants dans les sols,
- Prise en compte des caractéristiques géologiques, géotechniques et physico-chimiques des sols spécifiques à chaque site étudié,
- La démarche Gone'Air est applicable dès la phase de diagnostic complémentaire, elle permet d'orienter les choix de gestion des pollutions de manière précoce et ainsi d'éviter des problématiques liées à la faisabilité technique, économique et aux délais des travaux par rapport à une approche qui intègre les essais de traitabilité seulement en phase de conception de travaux.



Avantages pour le maître d'ouvrage

- Anticiper et appréhender au plus tôt la faisabilité technique d'un traitement sur site ou in-situ avec un test réalisable dès la phase diagnostic et dont les résultats rapides permettent d'orienter la démarche de réhabilitation,
- Aide à la décision quant aux traitements optimum et adaptés aux problématiques de pollution rencontrées, même dans le cas de sources croisées de contamination,
- Potentiel abaissement de la durée de la démarche et des coûts de réhabilitation.



TECHNOLOGIES ET SOLUTIONS INNOVANTES

Plan de conception de travaux : Laboratoire d'essais / pilote



RHÔNE-ALPES
AUVERGNE

Colas Environnement

DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Le PCT combine un travail en laboratoire et sur site. Cette phase d'ingénierie est nécessaire pour une meilleure efficacité des travaux de dépollution.

Les prestations B111 « Essais de laboratoire », B112 « Essais de terrain » et B120 « Études d'avant-projet (AP) » préconisées par la méthodologie nationale sont réalisées par la société COLAS environnement.

Colas environnement dispose de tous les équipements lui permettant de réaliser toutes les essais de traitabilité/faisabilité dans son laboratoire interne. L'entreprise possède également tous les pilotes et skids lui permettant de tester plusieurs techniques de dépollution sur sites avant de lancer des travaux de dépollution.

Ces possibilités combinées permettent d'affiner au mieux le choix d'une technique de dépollution en collectant des informations indispensables au dimensionnement puis à la mise en œuvre de techniques de dépollution identifiées via un plan de gestion. Ces données viennent également alimenter les bases techniques du dossier de consultation des entreprises.

Les essais réalisés en laboratoire sont les suivants :

- Réalisation d'essais d'oxydation et de réduction chimique
- Réalisation d'essais de biodégradation
- Réalisation d'essais de lessivage
- Réalisation d'essai de désorption thermique
- Réalisation d'essais de saturation de charbon
- Réalisation d'essais sur mesure
- Mise en place d'outil de communication de ce laboratoire

Echelle
Traitabilité
Cinétique
Pilote
Essais
Faisabilité
Traitement



Physique	Chimique	Biologique
Lessivage de sol Bullage Adsorption sur charbon actif	Demande du sol en oxydant Oxydation chimique Réduction chimique	Déchloration anaérobie Biodégradation anaérobie



Une initiative de la **Région Auvergne-Rhône-Alpes** | Aménagement

Les essais pilotes qui peuvent être mis en œuvre les suivants :



POLLUTION CIBLÉE

Toute

DURÉE MOYEN DU TRAITEMENT

Variable

MATURITÉ

Mature

RETOURS EXPÉRIENCE / DÉMONSTRATION

Depuis 15 ans l'entreprise met en place des essais avant de réaliser tous travaux de dépollution



Avantages pour le maître d'ouvrage :

- Permet d'éviter les dérapages en phase travaux
- Permet de gagner sur les coûts et la durée des chantiers

IDfriches est une action originale initiée par la Région Auvergne-Rhône-Alpes. Elle est cofinancée par l'Union européenne dans le cadre du Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)



TECHNOLOGIES ET SOLUTIONS INNOVANTES

Microcosmes In Situ pour le dimensionnement des dépollutions par bioStimulation



6 000 à 8 000 € HT
coût moyen estimé
(installation, suivi)

6 semaines à 3 mois
durée moyenne de l'essai

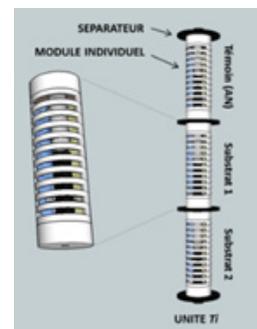
Projet : MISS (Microcosmes In Situ servant au dimensionnement des dépollutions par bioStimulation), cofinancé par l'ADEME (programme Gésipol), réalisé en partenariat avec HYDREKA et le Laboratoire AMPERE de l'Ecole Centrale de Lyon



DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Dispositif d'essai constitué de plusieurs modules à insérer dans des piézomètres pour réaliser des essais de biostimulation in-situ (augmentation de la dégradation biologique existante) :

- Installation du MISS dans les piézomètres existants,
- Tests avec plusieurs substrats de biostimulation (Substrat 1, Substrat 2...) et comparaison à l'Atténuation Naturelle (AN),
- Essais en conditions passives (absence de pompage, pas de besoin en énergie) et retrait à différents pas de temps (1, 2, 3 voire 6 mois par exemple),
- Suivi des paramètres chimiques (polluants, COT) et bactériens (ADN / ARN par qPCR)



Module et système MISS

Objectifs :

- Evaluer le potentiel de biodégradation (naturelle ou stimulée),
- Déterminer le type de substrat le plus performant pour la stimulation des mécanismes biologiques,
- Estimer les cinétiques et l'efficacité de biostimulation en conditions réelles.



Une initiative de la **Région Auvergne-Rhône-Alpes** | Aménagement



COÛT MOYEN

Le coût moyen estimé de l'installation et du suivi d'un essai MISS est estimé entre 6 000 à 8 000 € HT (hors réalisation du piézomètre)

DURÉE MOYEN DE L'ESSAI

Selon les polluants ciblés, durée moyenne d'un essai : 6 semaines (BTEX et HCT légers) à 3 mois (solvants chlorés).

MATURITÉ

Validé à l'échelle laboratoire, le démonstrateur à l'échelle du site est prévu courant 2021. Certains des échantillonneurs (chimie, microbiologie) ont déjà été mis en œuvre sur site mais pas le système MISS complet.

RETOURS EXPÉRIENCE / DÉMONSTRATION

Essais en cours de développement sur un site de démonstration, avec comparaison des résultats d'essais laboratoire.

A terme, l'essai à l'aide des systèmes MISS pourra être réalisé sans recours à d'autres essais (hormis un état initial de caractérisation de la qualité de la nappe).



Avantages :

- L'essai à l'aide des systèmes MISS sera plus représentatif que les essais en laboratoire (tests des biostimulants en batch) et induisant moins de perturbations que les essais en conditions dynamiques.
- Cet essai permettra un dimensionnement plus fiable des stratégies de dépollution par biodégradation (notamment leur durée)



Avantages pour le maître d'ouvrage

- Plus économique que les essais pilotes « dynamique » par injection dans les ouvrages dédiés,
- Plus fiable pour optimiser les traitement gain économique et fiabilité des délais (phase de dimensionnement)

IDfriches est une action originale initiée par la Région Auvergne-Rhône-Alpes. Elle est cofinancée par l'Union européenne dans le cadre du Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)



**Développer des techniques
de traitement
plus efficaces et respectueuses
de l'environnement**

TABLES DES MATIÈRES

FICHES AXÉES TRAITEMENT DES SOLS

Désorption thermique in situ - VALGO.....	48
Désorption en piles thermiques - VALGO.....	50
BIOXYVAL : Assemblage de technologies émergentes interconnectées pour la dépollution des sols - COLAS.....	52
Procédé STABILISOL : Stabilisation chimique des sols impactés en éléments traces métalliques - SERPOL.....	53
Procédé HYBREAU® : Unité mobile et autonome de pompage fonctionnant aux énergies renouvelables - SERPOL.....	55
Procédé de stabilisation des sols - SUEZ	57
Consolidation de sol et confinement des polluants dans les aquifères : stratégie par injection séquentielle de réactifs - TAUW	58
PHYTOTERTRE® Technique expérimentale : couplage de 2 techniques « la phytolixiviation et de la phytoextraction » - VALGO.....	60
Procédé Phytosol® : Phytoremédiation de terres impactées par des hydrocarbures - SERPOL.....	62
Dépollution des sols et nappe par rhizodégradation - TAUW.....	64
Construction de Néosol - Valterra.....	66

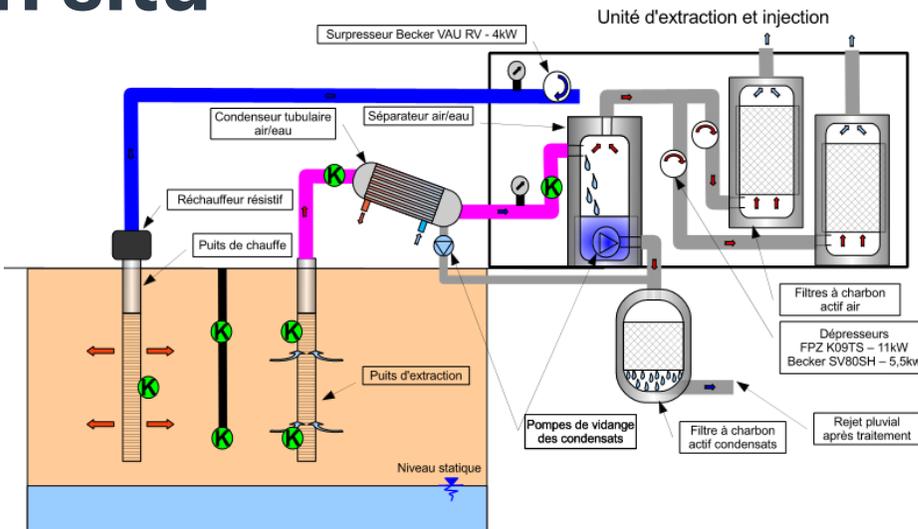
FICHES NAPPES

ISCR : Réduction chimique In Situ : dégradation complète & irréversible des polluants - VALGO.....	68
Pompage des eaux pour le rabattement des eaux de nappe - COLAS.....	70
Extraction séquencée de surnageant (brevet E2S)- COLAS.....	71
Procédé Naneau® : Traitement des sols et des eaux souterraines par injection de nanoparticules de fer zéro valent - SERPOL.....	73
Procédé Bacteau® : Biostimulation et bioaugmentation de sols et eaux souterraines impactés par des HC et additifs pétroliers - SERPOL.....	75
Procédé d'extraction de phase libres de polluants denses (DNAPL) - SERPOL.....	77
Procédé de séparation innovant des hydrocarbures des nappes - SUEZ	79
Procédé d'oxygénation innovant des nappes : Traitement biologique aérobie des nappes - SUEZ	81



TECHNOLOGIES ET SOLUTIONS INNOVANTES

Désorption thermique in situ




Traitement profond jusqu'à la nappe :

100 €
Coût moyen

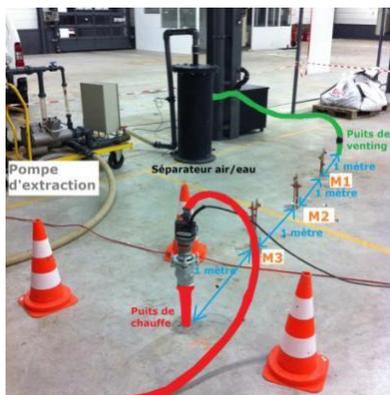
< 6 mois
Traitement pour fortes teneurs en polluant

Crédit photos et illustrations : VALGO

DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

La désorption thermique est une méthode de dépollution qui vise à chauffer les terres polluées pour vaporiser les polluants qui sont ainsi extraits du sol et brûlés ou traités. Son application in situ apporte les avantages des techniques sans excavation.

Le processus est consommateur en énergie. Les logiciels de calcul développés par VALGO permettent de déterminer les conditions les meilleures pour traiter les matériaux pollués et d'optimiser les paramètres d'apport d'une énergie adéquate (gaz ou électricité, espacement des tubes, profondeur...). Tout cela concourt à réduire les coûts de ce processus.



Essai



Installation pleine échelle



Une initiative de la Région Auvergne-Rhône-Alpes | Aménagement



POLLUTION CIBLÉE

Pollutions organiques, notamment PCB, pesticides, HAP, HCT, chlorés
La technique est réservée à des cas pour lesquels les traitements chimiques, biologiques ne sont pas efficaces.
L'application in situ est choisie lorsqu'il n'est pas possible d'excaver.

COÛT MOYEN

Plus élevé que les techniques classiques

DURÉE MOYENNE DU TRAITEMENT

Rapide

MATURITÉ

Technique déjà éprouvée et mise en place sur le terrain

RETOURS EXPÉRIENCE / DÉMONSTRATION

Efficacité démontrée



Avantages :

- Pas d'excavation
- Faible empreinte
- Ajustable en température, temps, niveau résiduel, ...
- Considérée comme la plus efficace des technologies de décontamination, car, en fin de traitement, la terre est exempte de polluant.
- Intervention sous œuvre



Avantages pour le maître d'ouvrage

- Rapide
- Peu de perturbation de l'activité

IDfriches est une action originale initiée par la Région Auvergne-Rhône-Alpes. Elle est cofinancée par l'Union européenne dans le cadre du Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)



TECHNOLOGIES ET SOLUTIONS INNOVANTES

Désorption en piles thermiques



125 €/t
(pour PCB)

< 6 mois
Pour fortes teneurs en polluant

**HAP, PCB, HC
lourds**

DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

La désorption thermique est une méthode de dépollution qui vise à chauffer les terres polluées pour vaporiser les polluants qui sont ainsi extraits du sol et brûlés ou traités. Son application en piles apporte beaucoup de souplesse.

Le processus est consommateur en énergie ; le logiciel de calcul développé par VALGO permet de déterminer les conditions les meilleures pour traiter les matériaux pollués et d'optimiser les paramètres d'apport d'une énergie adéquate (gaz ou électricité, espacement des tubes, taille de la pile...). Tout cela concourt à réduire les coûts de ce processus

POLLUTION CIBLÉE

Pollutions organiques, notamment PCB, pesticides, HAP, HCT, chlorés

La technique est réservée à des cas pour lesquels les traitements chimiques, biologiques ne sont pas efficaces. L'application en pile permet de dégager immédiatement les terres polluées, dans les zones concernées par les aménagements du site, pendant la durée desquels la rapidité de traitement par désorption libérera également les terres dépolluées pour les remblaiements.

COÛT MOYEN

Plus élevé que les techniques classiques



Une initiative de la **Région Auvergne-Rhône-Alpes** | Aménagement

DURÉE MOYENNE DU TRAITEMENT

Rapide

MATURITÉ

Technique déjà éprouvée et mise en place sur le terrain

RETOURS EXPÉRIENCE / DÉMONSTRATION

Efficacité démontrée



Avantages :

- Traitement sur site, après excavation et isolement des terres
- Emprise modérée et de courte durée
- Ajustable en température, temps, niveau résiduel, ...
- Considérée comme la plus efficace des technologies de décontamination, car, en fin de traitement, la terre est exempte de polluant.



Avantages pour le maître d'ouvrage

- Rapide
- Peu de perturbation de l'activité
- Maîtrise des résultats

IDfriches est une action originale initiée par la Région Auvergne-Rhône-Alpes. Elle est cofinancée par l'Union européenne dans le cadre du Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)



TECHNOLOGIES ET SOLUTIONS INNOVANTES

BIOXYVAL



ASSEMBLAGE DE TECHNOLOGIES ÉMERGENTES INTERCONNECTÉES POUR LA DÉPOLLUTION DES SOLS

DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

COLAS Environnement participe à l'action d'un consortium regroupant des acteurs de la recherche, de l'ingénierie et des travaux. Le projet BIOXYVAL vise à construire une filière intégrée de dépollution de sites délaissés à faible valeur foncière, par l'assemblage de technologies émergentes interconnectées. Spécifiques aux friches industrielles à pollutions complexes dominées par les composés organiques (HAP, BTEX, HC...).

Colas environnement a développé un traitement spécifique par bio surfactant des HAP.

POLLUTION CIBLÉE

HAP

DURÉE MOYEN DE L'ESSAI

Variable

MATURITÉ

TRL 4-5 - En cours d'expérimentation sur un site atelier.

RETOURS EXPÉRIENCE / DÉMONSTRATION

Le projet Bioxyval est en cours de traitement.



Une initiative de la **Région Auvergne-Rhône-Alpes** | Aménagement



TECHNOLOGIES ET SOLUTIONS INNOVANTES

Procédé STABILISOL



STABILISATION CHIMIQUE DES SOLS IMPACTÉS EN ÉLÉMENTS TRACES MÉTALLIQUES

DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Traitement chimique des sols impactés par des éléments traces métalliques (métaux lourds et arsenic), destiné à limiter leur lixiviation grâce à l'ajout d'une formulation définie au laboratoire interne de SERPOL.

Il s'agit donc de transformer un sol pollué en un sol inerte et sans danger pour l'environnement. L'innovation réside dans le panel d'additif à disposition qui permet de neutraliser les éléments métalliques.

L'expertise de l'entreprise permettra de déterminer l'additif adéquat en fonction du polluant et du type de sol à traiter.



POLLUTION CIBLÉE

Éléments traces métalliques lixiviables

COÛT MOYEN

25 à 120 €/tonne



Une initiative de la **Région Auvergne-Rhône-Alpes** | Aménagement

DURÉE MOYENNE DU TRAITEMENT

Le mélange assure la stabilisation des sols en quelques heures. Durée du chantier directement proportionnel au volume/surface à traiter

MATURITÉ

Mature

RETOURS EXPÉRIENCE / DÉMONSTRATION

cf. référence Malgrat de Mar (Espagne)



Avantages :

- Réalisation in situ = bénéfique pour l'environnement : pas de déplacement de camions donc pas de gaz à effet de serre
- Diminution des coûts car les terres sont laissées en place, pas d'élimination hors site



Avantages pour le maître d'ouvrage

- Moins coûteux qu'un traitement hors site
- Rapide

IDfriches est une action originale initiée par la Région Auvergne-Rhône-Alpes. Elle est cofinancée par l'Union européenne dans le cadre du Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)



TECHNOLOGIES ET SOLUTIONS INNOVANTES

Procédé HYBREAU®

HYBREAU



SERPOL
SERFIM GROUPE

UNITÉ MOBILE ET AUTONOME DE POMPAGE FONCTIONNANT AUX ÉNERGIES RENOUVELABLES

DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

L'objectif est d'alimenter des pompes à air comprimé récupérant les polluants stockés dans les eaux souterraines sous forme de phases libre plus dense que l'eau (DNAPL).

Cette unité se présente sous la forme d'un conteneur doté d'un mat de 10 mètres repliables sur lequel est fixée une éolienne hybride (HYBREOL®, générateur hybride associant le solaire et l'éolien dans un même équipement).

En fonction des conditions climatiques, HYBREOL® choisit automatiquement le mode de fonctionnement le plus rentable ; cette électricité est ensuite convertie en air comprimé grâce à des compresseurs puis stockée dans des cuves afin d'assurer l'autonomie de l'unité.

L'air produit est ensuite utilisé pour actionner les pompes pneumatiques uniquement lorsque qu'une phase libre polluante est présente dans le puit afin de l'extraire des eaux souterraines.



Une initiative de la **Région Auvergne-Rhône-Alpes** | Aménagement

POLLUTION CIBLÉE

Pollutions concentrées avec présence de phases libres plus denses que l'eau (DNAPL) (solvants chlorés, PCB)

COÛT MOYEN

Variable

DURÉE MOYENNE DU TRAITEMENT

2 500 à 5 000 € / m³ de DNAPL extrait

MATURITÉ

TRL 8

RETOURS EXPÉRIENCE / DÉMONSTRATION

En démonstration sur un site industriel



Avantages :

- L'ensemble du processus est géré automatiquement par un automate afin d'optimiser l'autonomie de fonctionnement de l'unité de dépollution. L'innovation réside dans le fait que les opérations peuvent se faire de façon autonome sur des sites isolés.
- Le système utilise tout le potentiel énergétique (solaire/éolien) suivant sa localisation géographique



Avantages pour le maître d'ouvrage

- Pertinent sur des friches isolées
- Bonne acceptabilité sociale/public

IDfriches est une action originale initiée par la Région Auvergne-Rhône-Alpes. Elle est cofinancée par l'Union européenne dans le cadre du Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)



TECHNOLOGIES ET SOLUTIONS INNOVANTES

Procédé de stabilisation des sols



DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

A partir d'une expertise chimique fine, un traitement par stabilisation est mis au point en laboratoire pour abaisser la lixiviation des polluants jusqu'à un niveau compatible avec l'usage futur du site. L'innovation réside dans le procédé de mise en œuvre sur site qui permet la stabilisation directe du sol en place sans excavation. Selon le niveau de pollution, la stabilisation peut se faire avec ou sans confinement.

POLLUTION CIBLÉE

Métaux / pollution métallique

COÛT MOYEN

Variable selon les volumes traités

MATURITÉ

Procédé de mélange validé. Formulation à développer au cas par cas



Avantage :

- Savoir-faire chimique pour stabiliser les terres



Avantages pour le maître d'ouvrage

- Forte baisse du coût de gestion des terres car alternative à un envoi en installation de stockage de déchet
- Durée de traitement courte (cadence élevée)

IDfriches est une action originale initiée par la Région Auvergne-Rhône-Alpes. Elle est cofinancée par l'Union européenne dans le cadre du Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)



Une initiative de la **Région Auvergne-Rhône-Alpes** | Aménagement



TECHNOLOGIES ET SOLUTIONS INNOVANTES

Consolidation de sol et confinement des polluants dans les aquifères



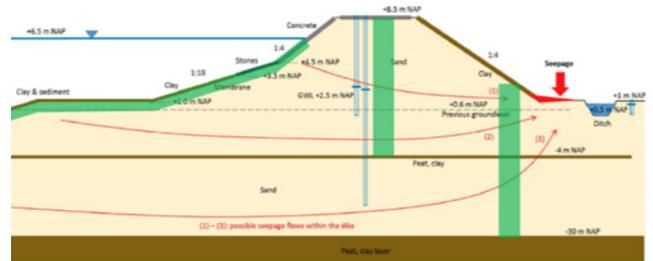
STRATÉGIE PAR INJECTION SÉQUENTIELLE DE RÉACTIFS

DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Parmi les différentes méthodes de consolidation des sols, TAUW bv (Pays-Bas) met en œuvre une stratégie par injection séquentielle de réactifs (solutions à base de matières organiques et Fer ou Aluminium) permettant d'augmenter la cohésion du milieu poreux ou d'en diminuer la perméabilité ou la porosité

Technologie utilisée pour le confortement des berges (rivières, canaux) :

- Stabilisation des berges et réduction de l'effet renard,
- Création de voiles verticaux en remplacement des méthodes de type palplanche



Développement en cours pour l'adaptation à la gestion des Sites Pollués : imperméabilisation d'aquifères alluvionnaires impactés par des polluants organiques (coulants notamment) afin de créer une zone de confinement autour des sources (voiles verticaux et/ou horizontaux).



Une initiative de la Région Auvergne-Rhône-Alpes | Aménagement

POLLUTION CIBLÉE

Technique particulièrement adaptée à la gestion de sites présentant des forts impacts de pollution en fond d'aquifère profond ou difficilement accessible, typiquement l'accumulation de solvants chlorés ou goudrons en toit de substratum (limiter la back-diffusion).

COÛT MOYEN

Coût global du traitement 150 à 250 € / m² d'emprise au sol d'aquifère à consolider (aquifères de 6 à 12 m de profondeur)

MATURITÉ

Application pour le confortement de berges (création de voiles verticales de faible perméabilité) : méthodes validées à l'échelle de sites de démonstration.

Application pour le confinement des sources de pollution (création de voiles verticales ou horizontaux pour encapsuler les pollutions) : après la démonstration au laboratoire, des essais à l'échelle réelle sont en cours de développement (confinement horizontal en fond d'aquifère, pollution solvants chlorés)

RETOURS EXPÉRIENCE / DÉMONSTRATION

Retours d'expérience au laboratoire : réduction de perméabilité de 50% (sable moyen) à 80% (sable fin)
Nécessité de dimensionnement à l'aide de pilotes de laboratoire et sur site.



Avantages :

- Confiner la pollution in situ dans des aquifères profonds et les sources de pollution difficiles d'accès
- Peut servir de mode de gestion temporaire permettant la mise en œuvre de méthodes nécessitant des durées de traitement plus longues (biostimulation par exemple)



Avantages pour le maître d'ouvrage

- Réduire les coûts de dépollution notamment dans le cas d'aquifères profonds, de sources difficiles d'accès
- Coupe rapidement le transfert de polluant de la source vers les cibles (captage AEP, puits privés, riverains ...)

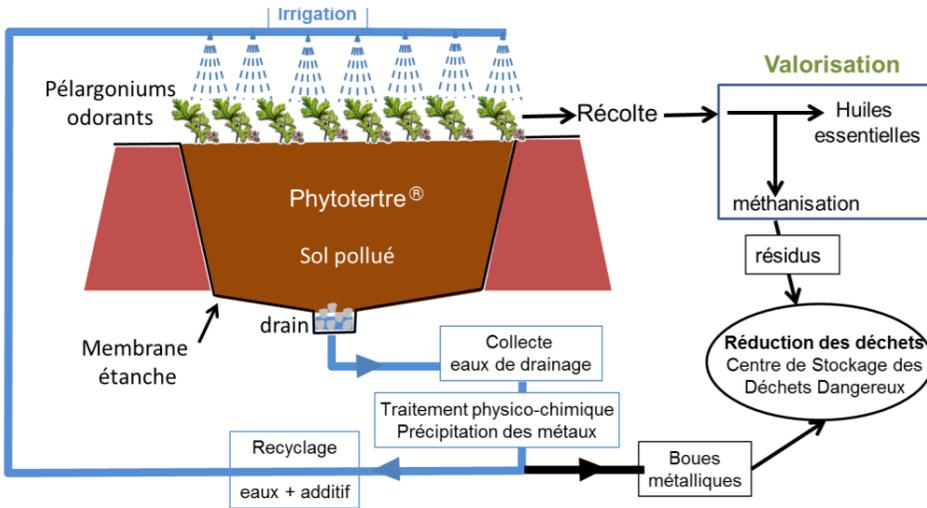
IDfriches est une action originale initiée par la Région Auvergne-Rhône-Alpes. Elle est cofinancée par l'Union européenne dans le cadre du Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)



TECHNOLOGIES ET SOLUTIONS INNOVANTES

PHYTOTERTRE®

Technique expérimentale




Production jusqu'à
10 000 t/ha

de 3 à 8 L d'HE / ha
Production valorisable

Crédit photos et illustrations : VALGO

COUPLAGE DE 2 TECHNIQUES : LA PHYTOXIVATION ET DE LA PHYTOEXTRACTION

DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Le procédé repose sur un couplage de deux techniques : la phytolixiviation et de la phytoextraction

1. La phytolixiviation consiste à utiliser le potentiel des plantes à solubiliser les minéraux pour se nourrir. Elle est assistée quand une solution déminéralisante (contenant un chélatant) est ajoutée à l'eau d'arrosage pour accélérer le processus.
2. La phytoextraction fait appel à des plantes (hyper)accumulatrices de métaux. Ces métaux se concentrent dans les parties aériennes (ou au moins récoltables) de la plante.



Le procédé dénommé Phytotertre® consiste à cultiver des plants de pélagonium sur un sol contaminé.

Le sol contaminé est isolé du milieu environnant pour éviter toutes contaminations. Les cultures sont irriguées par une solution nutritive complétée par un agent chélatant qui va augmenter la solubilité des métaux.

Les eaux de ruissellement sont collectées par les drains dont est pourvu le Phytotertre®. Ces eaux sont traitées par précipitation. Cela permet de séparer les métaux sous forme de boues qui seront envoyées en centre de stockage de déchets dangereux. Les eaux dépourvues de métaux contiennent encore le chélatant et peuvent être recyclées pour arroser les cultures. Les plantations de pélagonium arrivées à maturité sont récoltées afin d'en extraire les huiles essentielles puis peuvent être méthanisées. Les résidus (drêches ou cendres) sont évacués également vers des centres de stockage de déchets dangereux.



Une initiative de la **Région Auvergne-Rhône-Alpes** | Aménagement



POLLUTION CIBLÉE

Métaux lourds (pollutions moyennes sur de grandes étendues)

COÛT MOYEN

Non évalué à l'échelle industrielle. Des études sont en cours pour valider l'équilibre entre les coûts d'exploitation et les gains de production

DURÉE MOYENNE DU TRAITEMENT

Plusieurs années

MATURITÉ

RL 6-7

De nombreux tests en laboratoires ont permis d'optimiser la technique.

Procédé au stade expérimental ayant fait l'objet d'un programme de validation nommé DéPLAssMétaux jusqu'en 2018 sous l'égide de l'ADEME dans une ancienne friche industrielle : <http://www.deplassmetaux.com/>

RETOURS EXPÉRIENCE / DÉMONSTRATION

Besoin d'une première démonstration en conditions réelles



Avantages :

- La rentabilité de la culture de pélargonium est 2 à 3 fois plus intéressantes que celle du blé par exemple
- Le procédé combine la chimie et la biologie en synergie pour augmenter la disponibilité des métaux et réduire le temps d'action
- Les risques de transfert sont pris en compte complexe d'étanchéité sur le sol, géotextile sur le dessus
- Le procédé Phytoterre® permet de dégager rapidement de la place, puisque les terres polluées peuvent être traitées à côté des zones du chantier
- Le terre végétal s'intègre dans le paysage urbain, comme une butte paysagère
- Sécurisation des nappes et des alentours grâce à une isolation totale
- Phytomanagement : la parcelle en culture trouve ainsi un nouvel usage compatible avec les teneurs en métaux lourds



Avantages pour le maître d'ouvrage

- Rentabilité des cultures de pélargonium (intéressant d'un point de vue financier mais il faut trouver un modèle d'affermage qui conviennent à toutes les parties prenantes, le soutien des chambres d'agriculture peut s'avérer intéressante pour formaliser ces démarches)
- Technique extensive « douce » peu coûteuse, avec une recherche de valorisation financière
- Rapide à mettre en œuvre
- Stabilisation rapide
- Très bonne acceptation sociale
- Bon bilan environnemental

IDfriches est une action originale initiée par la Région Auvergne-Rhône-Alpes. Elle est cofinancée par l'Union européenne dans le cadre du Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)



TECHNOLOGIES ET SOLUTIONS INNOVANTES

Procédé Phytosol®

PHYTOSOL®



SERPOL
SERFIM GROUPE

PHYTOREMÉDIATION DE TERRES IMPACTÉES PAR DES HYDROCARBURES

DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Procédé utilisant les plantes pour accélérer les processus naturels de biodégradation des polluants dans les sols appelés rhizodégradation.

Le développement d'un système racinaire dense et profond appelé rhizosphère permet :

- Une structuration et une aération du sol pollué
- L'instauration de conditions biogéochimiques favorables à la dégradation des polluants organiques par les micro-organismes indigènes



Une initiative de la **Région Auvergne-Rhône-Alpes** | Aménagement

POLLUTION CIBLÉE

Hydrocarbures pétroliers (HC et BTEX), HAP

COÛT MOYEN

30 à 40 € / m³

RETOURS EXPÉRIENCE / DÉMONSTRATION

10 réalisations sur site avec succès sur problématique d'hydrocarbures pétroliers.
Ouverture en 2019 de la plateforme TERENVIE de tri et de traitement de terres polluées par le procédé PHYTOSOL (Feyzin, 69)



Avantages :

- Procédé écologique à faible bilan carbone
- Couvert végétal limitant les nuisances et les envols de poussières
- La gestion des eaux météoriques est naturelle (évapotranspiration)
- Coûts d'exploitation réduits, pas de passage d'engins en cours de traitement



Avantages pour le maître d'ouvrage

- Technique peu couteuse si le temps de traitement (1 à 2 ans) est envisageable et si un espace suffisant est possible
- Acceptation sociétale/public (intégration paysagère, procédé naturel)

IDfriches est une action originale initiée par la Région Auvergne-Rhône-Alpes. Elle est cofinancée par l'Union européenne dans le cadre du Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)



TECHNOLOGIES ET SOLUTIONS INNOVANTES



Dépollution des sols et nappe par rhizodégradation

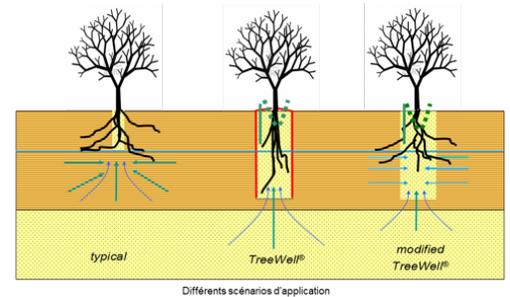
50 à 100 € / m²
coût moyen global

8 à 15 ans
durée moyenne de traitement

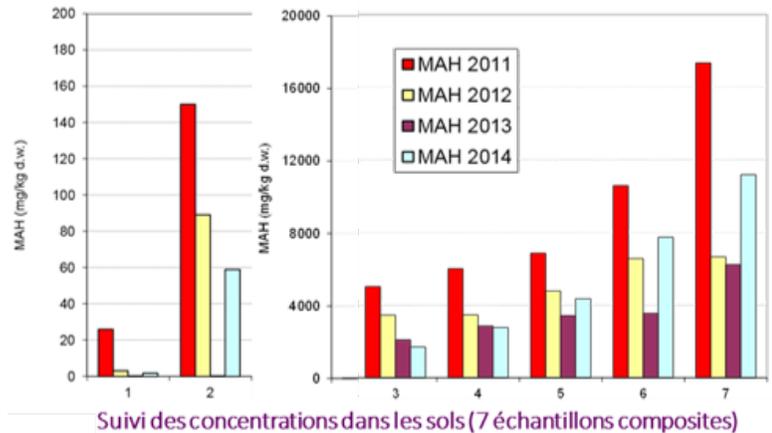
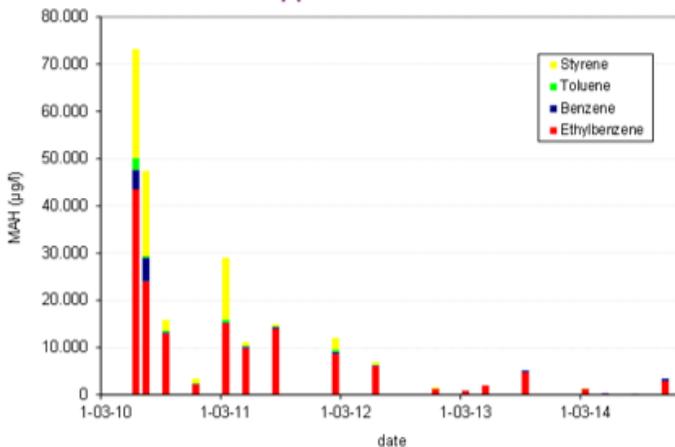
DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Dégradation des polluants des sols et nappe sous l'action du consortium racines / micro-organismes :

- Installation de végétaux (plantes sélectionnées ou arbres selon le procédé Treewell® avec ou sans adaptation ;
- Suivi de la croissance des végétaux et de la réduction de la pollution (sol, nappe, gaz du sol) ;
- Démonstration des processus biologiques à l'œuvre (faible volatilisation)



Suivi dans la nappe



Une initiative de la Région Auvergne-Rhône-Alpes | Aménagement



POLLUTION CIBLÉE

Hydrocarbures (BTEX, HCT C10-C40) même en présence de flottant (LNAPL).
Phytoextraction également sur un panache de 1,4-Dioxane.

COÛT MOYEN

Coût moyen global 50 à 100 € / m², pour une superficie de l'ordre de 5 000 à 10 000 m² (profondeur 4m).

DURÉE MOYENNE DU TRAITEMENT

Durée moyenne du traitement 8 à 15 années selon les niveaux de pollution initiale et objectifs de traitement, incluant les phase d'installation / croissance (1 à 2 ans) et le suivi à long terme (7 à 14 ans).

MATURITÉ

Deux démonstrateurs ont été mis en œuvre par TAUW group à ce jour : rhizodégradation des sols et nappe contaminés aux hydrocarbures avec présence de flottant, phytoconfinement d'un panache profond (>10m de prof.) pollué au 1,4-Dioxane.
Un essai pilote de rhizodégradation réalisé en France a mis en évidence une réduction de 85% des hydrocarbures en 2 ans dans les sols installés en piles végétalisées.



Andains végétalisés pour le traitement de sols contaminés aux HCT

RETOURS EXPÉRIENCE / DÉMONSTRATION

Les concepts de rhizodégradation ou de phytoconfinement ont été démontrés sur des mises en œuvre à l'échelle de sites réels. Ces solutions nécessitent cependant la réalisation d'essais préliminaires (essais agronomiques et pilotes sur site) afin de valider les conditions d'optimisation et de dimensionner la durée de traitement.



Avantages :

- Dépollutions in-situ (installation de végétaux) ou sur site (sols par andains plantés, eau par filtres plantés en lagune)
- Réduction des concentrations en polluants : jusqu'à 95% en nappe et 85% dans les sols



Avantages pour le maître d'ouvrage

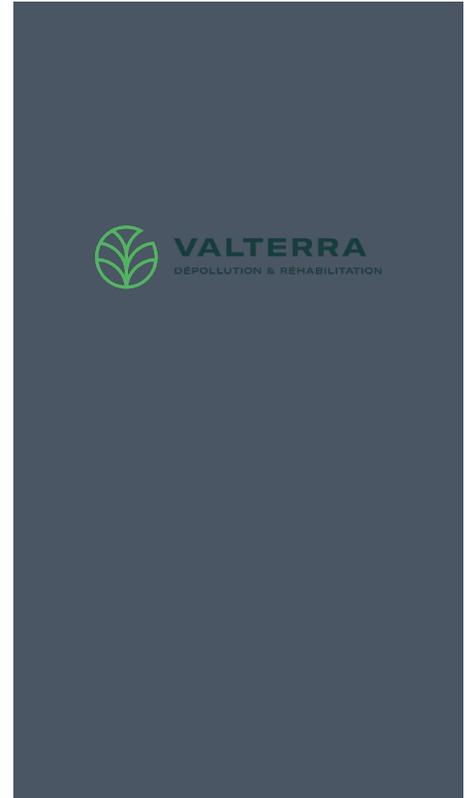
- Réduction des coûts par rapport à des méthodes classiques : - 60 à 80% par rapport à l'excavation / élimination
- Intégration paysagère de la solution, amélioration du bilan environnemental (bilan carbone, biodiversité, etc.) et limitation des nuisances liées aux travaux (transport, excavation, etc.)

Idfriches est une action originale initiée par la Région Auvergne-Rhône-Alpes. Elle est cofinancée par l'Union européenne dans le cadre du Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)



TECHNOLOGIES ET SOLUTIONS INNOVANTES

Construction de Néosol



DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Notre entreprise propose son savoir-faire dans les procédés de construction de néosol (c'est-à-dire un sol reconstitué), pour assurer la requalification des sites dégradés (friches, carrières...). L'entreprise possède un brevet dédié à la construction de sol (Valterra/INRA/LSE n°0757039). Celui-ci vise à optimiser les propriétés agronomiques des sols construits en fonction des objectifs de réhabilitation (production de biomasse, intégration paysagère, support de biodiversité...).

Ce procédé se base sur la valorisation de sous-produits ou de déchets organiques ou minéraux en substitution à la terre végétale, historiquement employée. Parmi les matériaux valorisables en construction de sol, on retrouve des matrices minérales tels que les terres dépolluées, les terres excavées, les sédiments, les refus de carrières et des matrices organiques tels que les composts, des boues d'industrie papetière ou d'autres MIATE. Une étude des gisements en matériaux valorisables locaux est réalisée avant tout projet de reconstruction.

POLLUTION CIBLÉE

Le procédé cible tous types de polluants. Il intervient suite à dépollution des sites concernés. Le sol reconstruit, appelé «néosol», garantit ensuite la mise en place d'une couverture végétale durable sur les fonciers dégradés ou délaissés.

DURÉE MOYENNE

La mise en place de néosol se réalise par couches successives, appelées horizon de sol. A titre d'exemple, il faut compter une semaine pour la réalisation d'une parcelle de 2 000 m². La parcelle est ensuite exploitable sous 2 mois, si la vocation est la remise en état agricole ou paysager.



Une initiative de la **Région Auvergne-Rhône-Alpes** | Aménagement



MATURITÉ

10 ans de savoir-faire nous permettent de proposer des prestations variées :

- Réalisation d'études de faisabilité
- Mise en œuvre de chantier de réalisation de néosol
- Recherche et Développement

RETOURS EXPÉRIENCE / DÉMONSTRATION

Plusieurs chantiers de constructions de néosol ont été réalisés à ce jour avec différents programmes de recherches associés :

- 2,5 hectares de néosol sur le site d'une ancienne cokerie, l'objectif étant une refunctionalisation écologique
- 6 parcelles expérimentales de néosol sur un site industriel afin de favoriser l'intégration paysagère d'un terroir
- 2 hectares de néosol sur une friche industrielle pour la production de bois énergie dites à *courte rotation* (en cours de réalisation)



Avantages :

Technique adaptable : La construction de néosol est réalisable à tout endroit, sur toutes surfaces, de toutes dimensions, avec des matériaux produits localement.

Du point de vue environnemental, ce procédé présente le double avantage de proposer une nouvelle voie de valorisation à certains déchets et sous-produits tout en limitant l'emploi de matériaux nobles tels que la terre végétale issue du décapage des sols agricoles et naturels.

Ce procédé est adaptable à divers objectifs :

- Favoriser l'intégration paysagère d'un site industriel actif ou ancien
- Gérer une contamination organique et/ou métallique
- Exploiter des zones délaissées pour la production de biomasse
- Mettre en place des aménagements paysagers
- Favoriser la mise en place de biodiversité



Avantages pour le maître d'ouvrage

- Solution s'inscrivant dans le Développement Durable et l'Economie Circulaire
- Solution clé en main :
 - Recherche de gisements
 - Étude des formulations
 - Réalisation du chantier de mise en place du néosol
 - Suivi analytique de l'évolution du sol

IDfriches est une action originale initiée par la Région Auvergne-Rhône-Alpes. Elle est cofinancée par l'Union européenne dans le cadre du Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)



TECHNOLOGIES ET SOLUTIONS INNOVANTES

ISCR : Réduction chimique



DÉGRADATION COMPLÈTE & IRRÉVERSIBLE DES POLLUANTS

DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

La réduction chimique in situ consiste à injecter un réactif réducteur, directement dans la nappe à traiter par l'intermédiaire de puits d'injection (ISCR).

L'innovation réside dans le fait que Valgo a développé un réactif spécifique dénommé ValgoRIS à base de poudre de fer micrométrique et d'une source de carbone qui va se libérer progressivement sur un temps long et permettre la réduction des chlorés. Lors de la réaction, et quel que soit le type de solvants chlorés présents, les produits finaux de dégradation sont des chlorures, du CO₂ et de l'eau.

L'intérêt de cette méthode est donc la dégradation complète et irréversible des polluants, sans production de composés toxiques dans la nappe.

La version ValgoRIS-M est un réactif spécialement dédié à la réduction des métaux. Le réactif est mis en place sous forme d'une barrière chimique réactive qui va permettre une dégradation des polluants sur le long terme dans la nappe qui traversera cette barrière.

Un autre point fort réside dans le fait que VALGO dispose d'une palette de méthodes d'injection, dont les tubes à manchettes, permettant une injection dans tous les contextes géologiques.



Détail d'un tube à manchette et de l'injecteur haute pression à double packers



POLLUTION CIBLÉE

Halogénés : solvants chlorés ou bromés, de nombreux pesticides, les explosifs,
Métaux lourds : ETM, notamment le CrVI

COÛT MOYEN

Très variable en fonction des concentrations, de la vitesse débitante de l'eau, de la profondeur, ...

DURÉE MOYENNE DU TRAITEMENT

Traitement : 2 semaines. Actions des réactifs : plusieurs mois

MATURITÉ

Technique déjà éprouvée et mise en place sur le terrain

RETOURS EXPÉRIENCE / DÉMONSTRATION

Validation de la mise en place d'une barrière réactive par les DREAL de différentes mises en œuvre, incluant un suivi sur plus de 3 ans.



Avantages :

- Pas d'excavation
- Faible emprise
- Rapidité de mise en œuvre
- Longue durée d'action
- Peu de perturbation de l'activité
- Combine chimie et biologie
- Celles du forage, mais VALGO propose, suivant les cas, plusieurs techniques (Géoprobe, Odex, tranchée, ...)



Avantages pour le maître d'ouvrage

- Rapide
- Destruction des polluants

IDfriches est une action originale initiée par la Région Auvergne-Rhône-Alpes. Elle est cofinancée par l'Union européenne dans le cadre du Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)



TECHNOLOGIES ET SOLUTIONS INNOVANTES

Pompage des eaux pour le rabattement des eaux de nappe



DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

COLAS Environnement a développé des solutions adaptables en termes de débit et de traitement pour le rabattement des eaux de nappe.

Une ligne de traitement a été créée avec un débit fixe et une solution de traitement adaptable aux pollutions. De cette façon, il est possible modifier le débit de traitement en ajoutant/supprimant des lignes standardisées. Les projets réalisés présentent des débits de quelques m³/h jusqu'à plus de 300 m³/h.

POLLUTION CIBLÉE

Organique et inorganique

DURÉE MOYEN DE L'ESSAI

La durée d'un chantier de terrassement.

MATURITÉ

Technologie commercialisée et en cours d'utilisation.

RETOURS EXPÉRIENCE / DÉMONSTRATION

Cette technique est idéale pour s'adapter au phasage d'un chantier de terrassement puisque les débits de pompage/traitement peuvent être adaptés aux besoins réels sans changement d'ampleur sur le système.



Avantage :

- Le client n'a pas à payer en continu un système dimensionné par rapport au plus fort débit de pompage/traitement



Avantages pour le maître d'ouvrage :

- Pas d'arrêt de chantier
- Adaptation technique et financière aux enjeux du projet du client.



Une initiative de la **Région Auvergne-Rhône-Alpes** | Aménagement



TECHNOLOGIES ET SOLUTIONS INNOVANTES

L'extraction séquencée de surnageant (brevet E2S)



**RHÔNE-ALPES
AUVERGNE**

Colas Environnement

DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Sur une base d'extraction multiphasique, l'E2S permet, grâce à un système de séquençement lié à la pression dans les puits, de récupérer le surnageant en limitant la récupération d'eau et d'air à traiter.

Grâce à cette technique, non seulement l'investissement et la consommation en charbon actif sont diminués significativement, mais il est aussi possible d'ajouter un grand nombre de puits de récupération au cours du traitement sans modifier l'unité d'extraction et de traitement.



POLLUTION CIBLÉE

Organique et inorganique

DURÉE MOYEN DU TRAITEMENT

Variable

MATURITÉ

Technologie commercialisée et en cours d'utilisation.

RETOURS EXPÉRIENCE / DÉMONSTRATION

Cette technique a été mise en œuvre avec succès sur plusieurs sites. Elle a été 100 fois plus efficace et productive qu'un dispositif « d'écumage » classique.



Une initiative de la **Région Auvergne-Rhône-Alpes** | Aménagement





Avantage :

- Coûts d'investissement réduits
- Coûts consommables réduits
- Coûts d'extension du traitement réduits
- Flexibilité d'adaptation
- Peu d'intervention au droit des ouvrages



Avantages pour le maître d'ouvrage :

- Gain de temps et d'argent

IDfriches est une action originale initiée par la Région Auvergne-Rhône-Alpes. Elle est cofinancée par l'Union européenne dans le cadre du Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)



TECHNOLOGIES ET SOLUTIONS INNOVANTES

Procédé Naneau®

NANEAU



SERPOL
SERFIM GROUPE

TRAITEMENT DES SOLS ET DES EAUX SOUTERRAINES PAR INJECTION DE NANOPARTICULES DE FER ZÉRO VALENT

DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

L'extrême réactivité des nanoparticules permet au procédé de traitement in situ de dégrader les polluants récalcitrants, même à des concentrations élevées, et de limiter grandement la formation de sous-produits de dégradation.

Un soutien électrique, via des électrodes en périphérie de la zone de traitement, permet d'augmenter encore l'efficacité et la durée de vie des nanoparticules.

Une fois la réaction dans le milieu souterrain terminée, les particules de fer se sont oxydées et agglomérées pour former des composés inoffensifs et naturellement présents dans le sous-sol.



POLLUTION CIBLÉE

COHV : chloroéthène, chloroethane, chlorométhane, chlorobenzène
Dioxine / Pesticides / perchlorates, CrVI,...

COÛT MOYEN

Entre 30 et 120 € / tonne. Application sur des zones sources / pollutions concentrées



Une initiative de la **Région Auvergne-Rhône-Alpes** | Aménagement

DURÉE MOYENNE DU TRAITEMENT

Traitement chimique rapide et rémanent jusque 3 mois

MATURITÉ

Mature

RETOURS EXPÉRIENCE / DÉMONSTRATION

Réalisations sur site (échelle 1 et pilote) + nombreux REX de notre partenaire PHOTONWATER en République Tchèque



Avantages :

- Traitement in situ de zone source, en particulier pour des ateliers en activité, en milieu urbain complexe, parking, ...
- Applicable pour des chloroéthènes (PCE/TCE/DCE/CV) comme pour des composés récalcitrants (pesticides, nitrobenzène, ...).
- Applicable pour des contaminations mixtes (Ex. COHV/CrVI).



Avantages pour le maître d'ouvrage

- Applicable sur un site en activité
- Rapidité de la dépollution
- Adapté en cas de cible aval proche de la zone polluée (cinétique de traitement rapide + limitation importante de sous-produits indésirables)
- Permet le traitement d'horizons de sol contaminés fin là où le Fer microscopique ne présente pas des rayons d'actions significatifs

IDfriches est une action originale initiée par la Région Auvergne-Rhône-Alpes. Elle est cofinancée par l'Union européenne dans le cadre du Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)



TECHNOLOGIES ET SOLUTIONS INNOVANTES

Procédé Bacteau®

BACTEAU®



SERPOL
SERFIM GROUPE

BIOSTIMULATION ET DE BIOAUGMENTATION DE SOLS ET EAUX SOUTERRAINES IMPACTÉS PAR DES HYDROCARBURES ET ADDITIFS PÉTROLIERS

DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Développée en partenariat avec l'IFPEN, il s'agit d'une technique de bio remédiation qui consiste, avant tout, en une biostimulation aérobie suivi d'une bioaugmentation au droit des sols et les eaux souterraines impactés en hydrocarbures pétroliers.

L'innovation repose sur l'utilisation d'un consortium microbien breveté (un cocktail mélange de différentes souches de microorganismes). Le traitement peut se faire in situ par injection de la suspension microbienne sur de très larges zones à traiter.

Le traitement on site consiste à ensemercer un biofiltre afin de traiter, en surface, les effluents pompés contaminés en hydrocarbures et additifs pétroliers.



POLLUTION CIBLÉE

Hydrocarbures et additifs pétroliers (ETBE, MTBE)

COÛT MOYEN

50 à 120 € / tonne



Une initiative de la **Région Auvergne-Rhône-Alpes** | Aménagement

DURÉE MOYENNE DU TRAITEMENT

Quelques mois à 2 années

MATURITÉ

Mature

RETOURS EXPÉRIENCE / DÉMONSTRATION

Réalisations sur sites → voir références



Avantages :

- Traitement biologique optimisé.
- Traitement eaux souterraines in situ ou on site jusqu'à 5 m³/h.



Avantages pour le maître d'ouvrage

- Permet d'accélérer un traitement biologique classique
- Technique peu coûteuse
- Pertinent en particulier sur une problématique majeure ETBE/MTBE

IDfriches est une action originale initiée par la Région Auvergne-Rhône-Alpes. Elle est cofinancée par l'Union européenne dans le cadre du Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)



TECHNOLOGIES ET SOLUTIONS INNOVANTES

Procédé d'extraction de phase libres de polluants denses (DNAPL)



SERPOL
SERFIM GROUPE

DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Le procédé consiste à optimiser le pompage des phases libres plus denses que l'eau grâce à l'asservissement des pompes pneumatiques à l'aide de sondes de pression et d'un automate.

Un système de rabattement de nappe permet ensuite de créer une dépression au sein des puits pour augmenter le rendement d'extraction des DNAPL. Une dernière étape consiste à diminuer les tensions interfaciales grâce à l'ajout de tensio-actif spécifique, éventuellement sous forme de mousse, à une concentration contrôlée permettant de mobiliser le résiduel de pollution, sans augmenter sa dissolution dans les eaux souterraines.

La succession des traitements permet ainsi d'optimiser au maximum la récupération des polluants.

POLLUTION CIBLÉE

Pollutions concentrées avec présence de phases libres plus denses que l'eau (DNAPL) (solvants chlorés, PCB)

COÛT MOYEN

2 500 à 5 000 € / m³ de DNAPL extrait



Une initiative de la **Région Auvergne-Rhône-Alpes** | **Aménagement**

DURÉE MOYENNE DU TRAITEMENT

Quelques semaines à plusieurs mois

MATURITÉ

TRL 8-9

RETOURS EXPÉRIENCE / DÉMONSTRATION

Plusieurs pilotes de terrain réalisés



Avantages :

- Optimisation d'une technique d'extraction de DNAPL pour repousser les limites techniques avec peu de moyens supplémentaires



Avantages pour le maître d'ouvrage

- Permet d'obtenir un abattement plus important du « stock » de DNAPL. Fraction résiduelle après traitement minimisée

IDfriches est une action originale initiée par la Région Auvergne-Rhône-Alpes. Elle est cofinancée par l'Union européenne dans le cadre du Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)



TECHNOLOGIES ET SOLUTIONS INNOVANTES

Procédé de séparation innovant des hydrocarbures des nappes



DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Quand une nappe phréatique est polluée par des hydrocarbures, le traitement de l'eau débute toujours par des procédés de séparation densimétriques (avec ou sans coalesceur).

Avec certains polluants, ces procédés sont peu efficaces (émulsions stables, tensioactifs...) et/ou présentent plusieurs inconvénients (temps de séjour élevés, prolifération bactérienne, colmatage, débordements...).

Un séparateur centrifuge a été conçu pour séparer rapidement les hydrocarbures de la phase aqueuse. Cet appareil compact remplace avantageusement un séparateur classique de grand volume

POLLUTION CIBLÉE

Hydrocarbures flottants sur la nappe

COÛT MOYEN

Non défini



Une initiative de la **Région Auvergne-Rhône-Alpes** | **Aménagement**

MATURITÉ

- Le séparateur a été qualifié en laboratoire pour des applications liées au traitement des marées noires.
- Nécessité d'avoir une validation terrain en condition « sites et sols pollués »
- Première démonstration en conditions réelles

RETOURS EXPÉRIENCE / DÉMONSTRATION

RAS



Avantages :

- Séparateur plus performant (émulsions...)
- Séparateur plus compact, facile à intégrer dans une unité de traitement mobile
- Moins de maintenance



Avantage pour le maître d'ouvrage

- Temps de dépollution plus court

IDfriches est une action originale initiée par la Région Auvergne-Rhône-Alpes. Elle est cofinancée par l'Union européenne dans le cadre du Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)



TECHNOLOGIES ET SOLUTIONS INNOVANTES

Procédé d'oxygénation innovant des nappes



TRAITEMENT BIOLOGIQUE AÉROBIE DES NAPPES

DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Nouveau procédé d'oxygénation pour le Traitement biologique des nappes en aérobie. L'innovation réside dans l'utilisation d'un engazeur innovant qui permettra d'injecter à la nappe une quantité importante d'oxygène, premier facteur limitant de la biodégradation. Contrairement à la plupart des procédés existants qui utilisent l'air, cet engazeur travaille avec de l'oxygène moléculaire (O₂) ce qui permet d'atteindre des concentrations en oxygène dissous beaucoup plus importantes dans la nappe.

POLLUTION CIBLÉE

BTEX, alcools, cétones, tout polluant biodégradable en présence d'oxygène

COÛT MOYEN

Non défini

DURÉE MOYENNE DU TRAITEMENT

Variable



Une initiative de la **Région Auvergne-Rhône-Alpes** | **Aménagement**

MATURITÉ

- Pilote labo et terrain
- Nécessité de mettre en place une première validation sur le terrain

RETOURS EXPÉRIENCE / DÉMONSTRATION

Nécessité d'une validation terrain



Avantages :

- Classiquement le biosparging permet d'atteindre 10mg/L d'O₂ dissous :
 - ⇒ la technologie développée permet d'avoir des concentrations d'oxygène de plus 40 mg/L dans le milieu
- Pas besoin de surpresseurs pour l'injection d'air



Avantage pour le maître d'ouvrage

- Méthode plus rapide

IDfriches est une action originale initiée par la Région Auvergne-Rhône-Alpes. Elle est cofinancée par l'Union européenne dans le cadre du Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)



**Favoriser la valorisation
des terres excavées**

TABLES DES MATIÈRES

Plateforme de valorisation sur site : Optimisation d'un chantier de dépollution par la réutilisation sur site des matériaux excavés - SUEZ.....	85
---	----



TECHNOLOGIES ET SOLUTIONS INNOVANTES

Plateforme de valorisation sur site



OPTIMISATION D'UN CHANTIER DE DÉPOLLUTION PAR LA RÉUTILISATION SUR SITE DES MATÉRIAUX EXCAVÉS

DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Démarche innovante globale : Adaptée aux friches qui accueilleront des projets d'aménagement.

Cette démarche innovante comprend une étude initiale sur la qualité chimique et géotechnique des terres qui seront excavées et sur les besoins en matériaux (graves, remblais...) du futur projet d'aménagement. Une plateforme de traitement/valorisation des terres adaptée à la problématique du site sera ensuite mise en place. La procédure d'exploitation de cette plateforme est optimisée pour produire des matériaux de qualité contrôlée facilement valorisables sur site.

Cette méthodologie est issue du projet VALTEX (financé par le programme investissement d'avenir de l'état) qui avait pour ambition de valoriser des matériaux recyclés en substitution à des matériaux minéraux à faible valeur et coûteux à transporter.

Cette démarche réfléchie permet d'atteindre un taux de recyclage optimum des terres dans le respect de la réglementation SSP



Une initiative de la **Région Auvergne-Rhône-Alpes** | Aménagement

POLLUTION CIBLÉE

Tous types de polluants

COÛT MOYEN

Alternative à l'envoi en installation de stockage de déchet

DURÉE MOYENNE DU TRAITEMENT

À définir

MATURITÉ

Le projet VALTEX a permis de construire avec l'aide du BRGM, du CEREMA et de l'ADEME, cette méthodologie qu'il faut aujourd'hui appliquer sur des projets d'aménagement

RETOURS EXPÉRIENCE / DÉMONSTRATION

La méthodologie a été déployée avec succès pour la gestion des terres excavées d'un site industriel en activité (Raffinerie TOTAL de Donges) et doit l'être aujourd'hui sur un projet d'aménagement.



Avantage :

- Economie circulaire et diminution des gaz à effets de serre



Avantage pour le maître d'ouvrage

- Diminution du coût de gestion des terres excavées

IDfriches est une action originale initiée par la Région Auvergne-Rhône-Alpes. Elle est cofinancée par l'Union européenne dans le cadre du Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)



Renforcer les services écosystémiques des sols



TABLES DES MATIÈRES

Construction de Néosol - VALTERRA.....	89
BATIFERTILE : Un nouveau concept pour reconvertir les friche basé sur des bâtiments / structures / espaces verts multifonctionnels - SOLEO.....	91



TECHNOLOGIES ET SOLUTIONS INNOVANTES

Construction de Néosol



DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Notre entreprise propose son savoir-faire dans les procédés de construction de néosol (c'est-à-dire un sol reconstitué), pour assurer la requalification des sites dégradés (friches, carrières...). L'entreprise possède un brevet dédié à la construction de sol (Valterra/INRA/LSE n°0757039). Celui-ci vise à optimiser les propriétés agronomiques des sols construits en fonction des objectifs de réhabilitation (production de biomasse, intégration paysagère, support de biodiversité...).

Ce procédé se base sur la valorisation de sous-produits ou de déchets organiques ou minéraux en substitution à la terre végétale, historiquement employée. Parmi les matériaux valorisables en construction de sol, on retrouve des matrices minérales tels que les terres dépolluées, les terres excavées, les sédiments, les refus de carrières et des matrices organiques tels que les composts, des boues d'industrie papetière ou d'autres MIATE. Une étude des gisements en matériaux valorisables locaux est réalisée avant tout projet de reconstruction.

POLLUTION CIBLÉE

Le procédé cible tous types de polluants. Il intervient suite à dépollution des sites concernés. Le sol reconstruit, appelé «néosol», garantit ensuite la mise en place d'une couverture végétale durable sur les fonciers dégradés ou délaissés.

DURÉE MOYENNE

La mise en place de néosol se réalise par couches successives, appelées horizon de sol. A titre d'exemple, il faut compter une semaine pour la réalisation d'une parcelle de 2 000 m². La parcelle est ensuite exploitable sous 2 mois, si la vocation est la remise en état agricole ou paysager.



Une initiative de la **Région Auvergne-Rhône-Alpes** | Aménagement



MATURITÉ

10 ans de savoir-faire nous permettent de proposer des prestations variées :

- Réalisation d'études de faisabilité
- Mise en œuvre de chantier de réalisation de néosol
- Recherche et Développement

RETOURS EXPÉRIENCE / DÉMONSTRATION

Plusieurs chantiers de constructions de néosol ont été réalisés à ce jour avec différents programmes de recherches associés :

- 2,5 hectares de néosol sur le site d'une ancienne cokerie, l'objectif étant une refonctionnalisation écologique
- 6 parcelles expérimentales de néosol sur un site industriel afin de favoriser l'intégration paysagère d'un terroir
- 2 hectares de néosol sur une friche industrielle pour la production de bois énergie dites à *courte rotation* (en cours de réalisation)



Avantages :

Technique adaptable : La construction de néosol est réalisable à tout endroit, sur toutes surfaces, de toutes dimensions, avec des matériaux produits localement.

Du point de vue environnemental, ce procédé présente le double avantage de proposer une nouvelle voie de valorisation à certains déchets et sous-produits tout en limitant l'emploi de matériaux nobles tels que la terre végétale issue du décapage des sols agricoles et naturels.

Ce procédé est adaptable à divers objectifs :

- Favoriser l'intégration paysagère d'un site industriel actif ou ancien
- Gérer une contamination organique et/ou métallique
- Exploiter des zones délaissées pour la production de biomasse
- Mettre en place des aménagements paysagers
- Favoriser la mise en place de biodiversité



Avantages pour le maître d'ouvrage

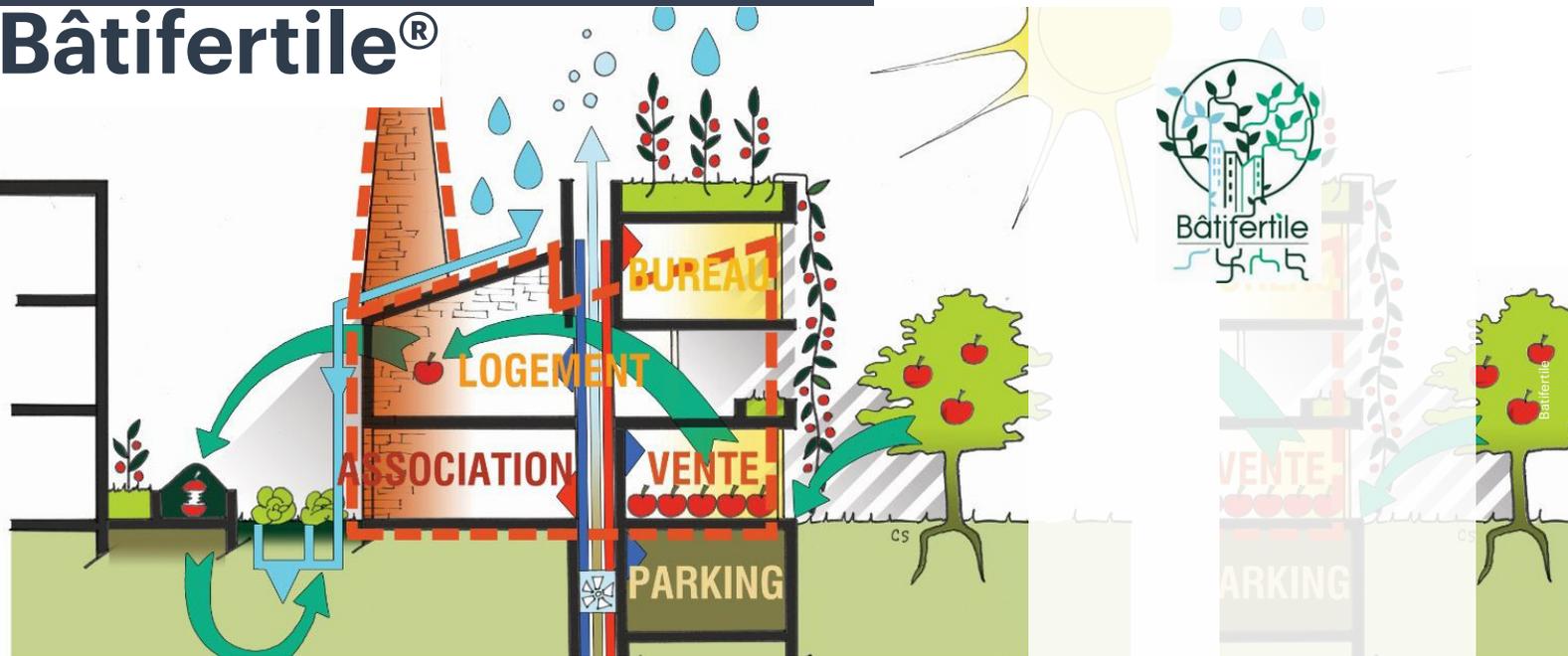
- Solution s'inscrivant dans le Développement Durable et l'Economie Circulaire
- Solution clé en main :
 - Recherche de gisements
 - Étude des formulations
 - Réalisation du chantier de mise en place du néosol
 - Suivi analytique de l'évolution du sol

IDfriches est une action originale initiée par la Région Auvergne-Rhône-Alpes. Elle est cofinancée par l'Union européenne dans le cadre du Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)



TECHNOLOGIES ET SOLUTIONS INNOVANTES

Bâtifertile®



UN NOUVEAU CONCEPT POUR RECONVERTIR LES FRICHES BASÉES SUR DES BÂTIMENTS / STRUCTURES / ESPACES VERTS MULTIFONCTIONNELS

DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Création de bâtiments / structures / espaces verts multifonctionnels sur des friches industrielles polluées. Le collectif Bâtifertile® est une équipe pluridisciplinaire qui promeut un nouveau concept de reconversion des friches intégrant :

- Une architecture durable et socialement responsable privilégiant l'économie circulaire à tous les stades du projet - Une dépollution douce à base de technique in-situ garantissant la sécurisation environnementale et sanitaire du bâti et l'utilisation de solutions énergétiques durables et économiques
- Une agriculture urbaine créative d'une forte valeur ajoutée : production nourricière, lien social, éducation, création de nouveaux emplois

Le bâtiment intègre donc plusieurs fonctions :

- Création de bâtiments (logement, tertiaire,...)
- Dépollution du sol et/ou des eaux souterraines : bâtiments dépolluants
- Production d'énergie potentiellement couplée à la dépollution
- Production nourricière
- Économie circulaire à tous les stades du projet



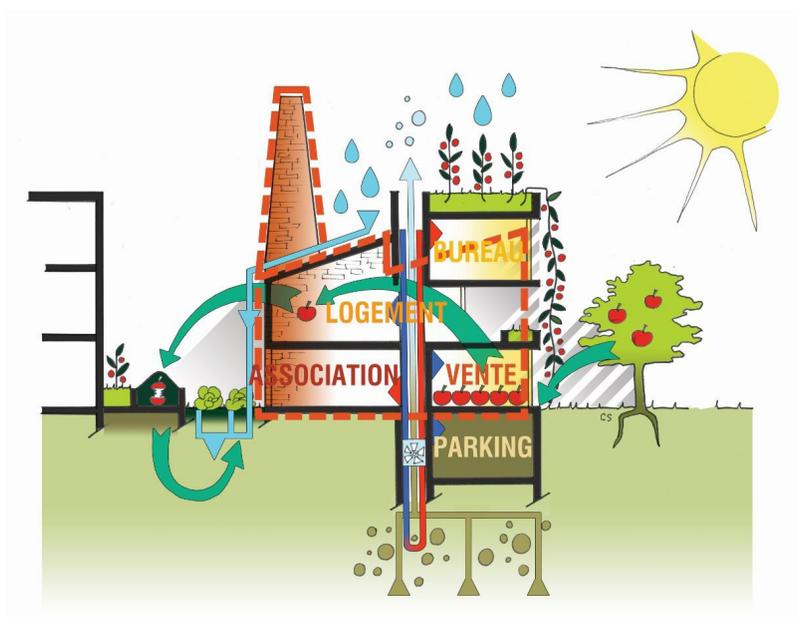
Une initiative de la **Région Auvergne-Rhône-Alpes** | Aménagement

Une conception intégrée :

- Prise en compte de l'ensemble des fonctionnalités et contraintes dès la conception
- Optimisation des travaux = économie d'argent et de temps
- Utilisation du temps dégagé pour gérer tout ou partie de la problématique pollution du sol

Dépollution durable :

- Traitement in-situ intégré dans le bâti : bâtiments dépolluants
- Sécurisation sanitaire et environnementale du bâtiment
- Dépollution sur le long terme avec valorisation énergétique



POLLUTION CIBLÉE

Multiple

DURÉE MOYENNE

Variable

MATURITÉ

TRL 4-5

Besoin de sites démonstrateurs

RETOURS EXPÉRIENCE / DÉMONSTRATION

Création d'une exploitation sur un toit de La Poste –
Centre de tri postal de La Chapelle (18 boulevard de La Chapelle, Paris) – REX Cultures en Ville

Mise en place d'une exploitation agricole à 12m de haut pour l'association Communauté Facteur Graine en lien avec La Poste :

- Conception et étude technique
- Installation de l'exploitation et encadrement du chantier :
 - 1000m² de culture
 - 1 poulailler
 - 1 serre

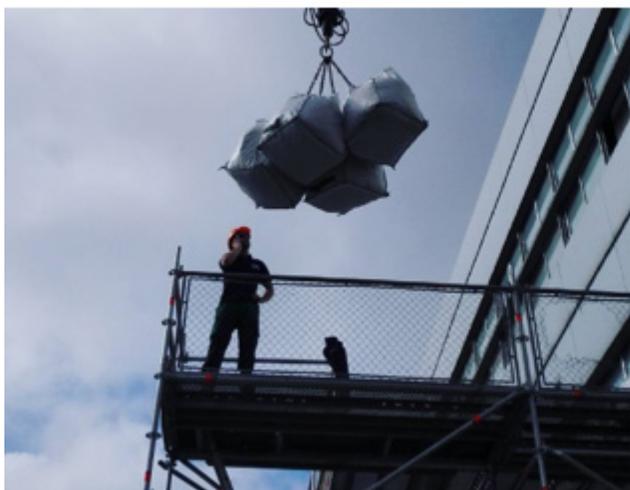
Accompagnement de l'exploitant dans la mise en culture du site (Communauté Facteur Graine).



Vue du chantier avant intervention



Installation de l'exploitation



Grutage du support de culture



Le toit en exploitation

Création d'un bâtiment dépolluant – Bagnolet (F-93) – REX SOLEO

Mise en place d'un système de venting sur une pollution COHV dans les fondations d'un immeuble en lieu et place d'un terrassement profond et d'une mise en décharge :

- Creusement d'une fouille de 4 m de profondeur (fond de forme du parking) ;
- Mise en place d'un traitement in-situ pour pompage des gaz sous le dallage du futur bâtiment composé de
 - 20 aiguilles de venting (-1 à - 6 m)
 - Têtes de puits et réseaux d'aspiration intégrés dans les fondations du bâtiment
 - Installation du dispositif en parallèle des travaux de construction
 - Unité d'extraction installée dans un local dédié en sous-sol

Solution technique qui a permis une mise en sécurité immédiate du bâtiment vis-à-vis du risque sanitaire et un traitement à terme de la source de pollution.



Avantages :

- Gains sur la dépollution par substitution de solutions fortement émettrices de CO₂ et de COV (terrassement, transport, mise en décharge) par des traitements in-situ dont une partie de l'énergie est valorisée (géothermie)
- Économie circulaire de la conception à l'utilisation du bâtiment
- Solution de « perméabilisation » des surfaces bâties via l'agriculture urbaine intégrée (régulation de la chaleur, rétention d'eau pluviale, support de biodiversité, ...)
- Production nourricière biologique et local



Avantages pour le maître d'ouvrage

- Valorisation du foncier dès l'acquisition par de l'urbanisme de transition
- Faible avance de trésorerie pour la dépollution
- Solution de dépollution économique par rapport à une solution classique type terrassement / hors site
- Possibilité de réutiliser/réaménager le terrain sans attendre la dépollution totale
- Mise en place d'une économie locale circulaire (réutilisation des déchets, production nourricière, valorisation énergétique, ...) acceptation sociale
- Création d'emplois à termes (activité drainée par le site + développement de nouveaux métiers tels que agriculteurs urbains, techniciens de maintenance de bâtiments dépolluants)

IDfriches est une action originale initiée par la Région Auvergne-Rhône-Alpes. Elle est cofinancée par l'Union européenne dans le cadre du Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)



Encourager la digitalisation de la filière

TABLES DES MATIÈRES

Utilisation de Drones : Une technique disruptive pour cartographier les friches industrielles - ENVISOL	97
Logiciels d'acquisition et de cartographie des observations de terrain et des résultats d'analyse - TAUW.....	100
Modélisation 3D et visualisation par réalité virtuelle : Modélisation des données relative au diagnostic d'un site pollué - TAUW	102
CHRYSAE : Plateforme d'outils numériques pour la gestion des sites et sols pollués - TESORA	104
Module SRoreos : Solution logicielle couplant des méthodes de détection de phase organique et géostatistique au sein d'une plateforme dédiée aux SSP - GINGER BURGEAP /KIDO VA).....	106



TECHNOLOGIES ET SOLUTIONS INNOVANTES

Utilisation de DRONES



UNE TECHNIQUE DISRUPTIVE POUR CARTOGRAPHIER LES FRICHES INDUSTRIELLES

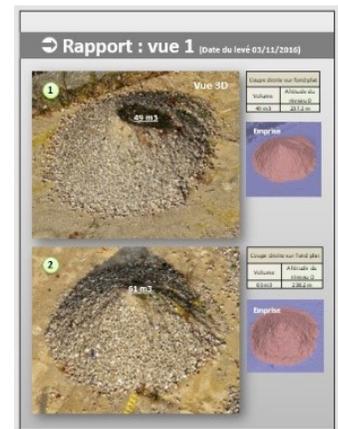
DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

L'usage de système drone dans le domaine des sites et sols pollués est une technique disruptive en voie de développement.

Cette technologie permet de cartographier les friches industrielles. La recherche est constante autour des nouveaux capteurs (Lidar, Infrarouge) qui permettent d'améliorer les diagnostics. Les données acquises sont intégrées dans le logiciel ENVIRISK de cartographie des risques sanitaires afin d'être un véritable outil d'aide la décision.

Cette méthode permet :

- De modéliser en 3 Dimensions la friche industrielle et les volumes de terres polluées
- De produire une archive numérique à un instant T du milieu
- De calculer la volumétrie des matériaux au sol (tas de gravats)
- De géolocaliser les sondages (piézomètre et piézaire) à la surface du sol
- D'Inspecter des bâtiments pouvant s'effondrer (état des lieux), évitant des risques inutiles pour les humains
- De réaliser des cartes de Diagnostics



La photogrammétrie aérienne est la technique qui permet de modéliser un territoire en 3 dimensions à partir de photographies prises par drone.

Drone + Capteur + Logiciel de traitement = MNT (Modèle Numérique de Terrain)



Une initiative de la **Région Auvergne-Rhône-Alpes** | Aménagement



POLLUTION CIBLÉE

Tous types de polluants

COÛT MOYEN

2000 euros / H

DURÉE MOYENNE

Fonction des données à traiter

MATURITÉ

Eprouvée et commercialisée
TRL 8-9

RETOURS EXPÉRIENCE / DÉMONSTRATION

De nombreux REX



Avantages :

- Précision, rapidité, efficacité
- Meilleure connaissance des volumes de terres à traiter



Avantages pour le maître d'ouvrage

- Rapidité dans l'acquisition des données,
- Investigation non intrusive ne ralentissant pas l'avancée du projet
- Une mémoire digitale du site à un instant T
- Moins coûteux

DRONE ANALYSEUR GAMMA



LES ATOUTS NOTRE SAVOIR FAIRE

-  Non destructif
-  Maîtrise des conditions d'intervention
-  Intervention en zone contaminée
-  Intervention par notre opérateur de drone
-  Résultats sur site
-  Cartographie des zones contaminées

PRECISION

Équivalent
aux analyses
laboratoires



DRONE NuEM



Conçu pour l'analyse de petites surfaces, ce drone permet de détecter des sources radioactives non contrôlées, une contamination potentielle ou de travailler dans des endroits contaminés où les doses sont dangereusement élevées.

Module muni d'une sonde NaI(Tl), d'un détecteur haute dose équipé de deux tubes GM à énergie compensée et d'un mini-échantillonneur pour la mesure de la contamination de l'air. L'unité de spectroscopie gamma fonctionne avec les spectres dont la résolution va de 256 jusqu'à 2048 canaux et la gamme d'énergie de 50keV à 03 MeV.

La mesure en temps réel du débit de dose gamma se base sur des calculs réalisés à partir du spectre. Le temps d'accumulation peut être défini par l'utilisateur et il est réglable à une seconde près.

IDfriches est une action originale initiée par la Région Auvergne-Rhône-Alpes. Elle est cofinancée par l'Union européenne dans le cadre du Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)



TECHNOLOGIES ET SOLUTIONS INNOVANTES

Logiciels d'acquisition et de cartographie des observations de terrain et des résultats d'analyse



DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

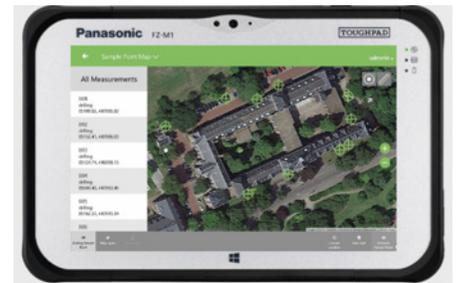
Mise en œuvre d'outils d'enregistrement sur site des observations et mesures lors des diagnostics de pollution :

- Cartes de pré-implantation des ouvrages à réaliser ;
- Renseignement des coupes de forage ;
- Renseignement des fiches de prélèvements (sol, nappe, gaz des sols, air ambiant) ;
- Enregistrement des échantillons prélevés et conditionnés.

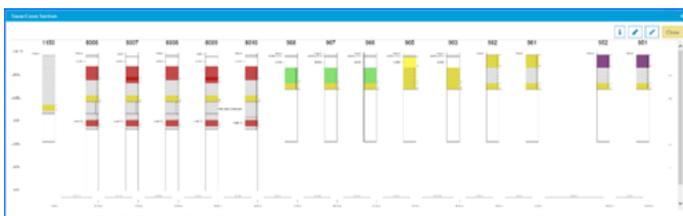
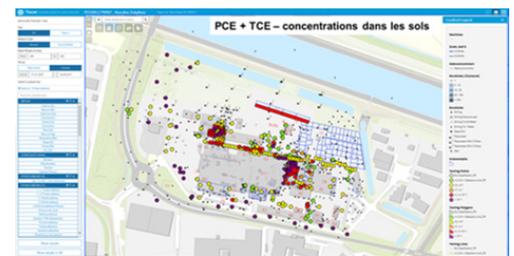
Stockage des données (terrain, analyses) sur un serveur sécurisé, export / reporting (fiches, tableaux).

Valorisations cartographiques par un SIG développé par Tauw et accessible par une interface client :

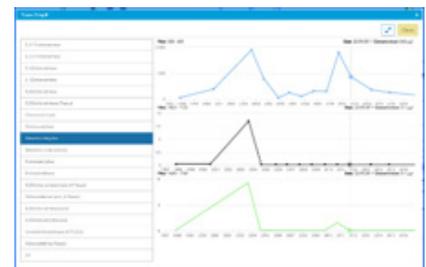
- Cartes thématiques filtrées selon les polluants, la matrice analysée (sol, eau, gaz des sols), la profondeur ou la date d'échantillonnage ;
- Section longitudinale des sondages sélectionnés (lithologie et pollution) ;
- Suivi temporel des paramètres (niveau piézométrique, paramètres de terrain, concentrations).



Logiciel d'acquisition de données sur site



Section longitudinale des sondages (lithologie et concentrations)



Suivi des concentrations en PCE dans la nappe à 3 profondeurs



Une initiative de la **Région Auvergne-Rhône-Alpes** | Aménagement

MATURITÉ

Après une phase de test (traduction, valeurs de références, normes et méthodes, projection cartographique, interfaçage) dans les 6 pays du groupe TAUW, ces outils numériques d'acquisition et de visualisation des données sont opérationnels.

Aujourd'hui de nouveaux outils dédiés à la visualisation en ligne sont en cours de déploiement. Ils seront bientôt disponibles pour nos clients grâce à un accès web sécurisé¹.

COÛT MOYEN

Gratuit

RETOURS EXPÉRIENCE / DÉMONSTRATION

Démonstration et déploiement du « logiciel de terrain », de la plateforme « laboratoire » et des bases de données associées

Phase de test de l'interface SIG web et de l'accès client aux cartes / tableaux / fiches par internet (droits d'accès, compte ...)



Avantages :

- Interface directe sur le terrain
- Prise de note numérique
- Base de données sécurisée et gérée par TAUW Group
- Traçabilité des données, des échantillons et des formats d'export (tableau, carte, fiche)



Avantages pour le maître d'ouvrage

- Sécurisation et traçabilité des données
- Bancarisation des données du MOA
- Exploitation cartographique accessible par le MOA sur l'interface web avec accès réservé

IDfriches est une action originale initiée par la Région Auvergne-Rhône-Alpes. Elle est cofinancée par l'Union européenne dans le cadre du Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)

1 : TEGSIS Soil Viewer : visualisateur en ligne des données pour le client, <https://www.youtube.com/watch?v=e3QkWmWtpWME> - 3D Conceptual Site Model : schématisation 3D des données de pollution intégrée aux modélisations sur d'autres supports (ex. avec les modèles BIM), <https://www.youtube.com/watch?v=ji6djl8uo-E>



TECHNOLOGIES ET SOLUTIONS INNOVANTES

Modélisation 3D et visualisation par réalité virtuelle



MODÉLISATION DES DONNÉES RELATIVE AU DIAGNOSTIC D'UN SITE POLLUÉ

DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Modélisation des données relative au diagnostic d'un site pollué :

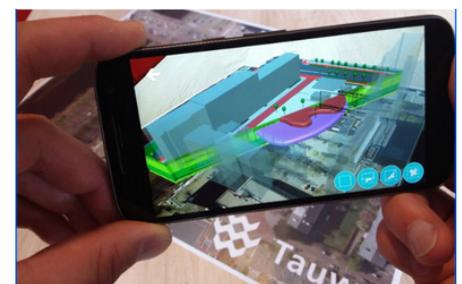
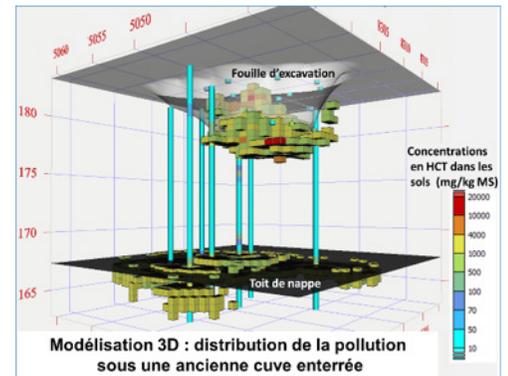
- Visualisation 3D des pollutions (sol / nappe / gaz des sols) et des coupes (topographie, horizons lithologiques, nappe)
- Modélisation 3D des données à l'aide d'outils géostatistiques (Kartotrak®)
- Construction de schémas conceptuels en 3D
- Visualisation sur plans dynamiques ou films ou à l'aide de l'application gratuite TAUW AR®.

Valorisation des modélisations :

- Dimensionnement des solutions de dépollution : volume pollué, bilan de masse de polluants
- Anticipation des contraintes chantier : bâtiment, route, cuve enterrée, réseau, talutages, déblais / remblais ...

Application TAUW AR® : <http://www.tauw.com/vrar/download-the-app/>
Exemples de projets réalisés (relevés drones, réseaux enterrés, incrustation paysagère) sur la chaîne Tauw Test Lab :

https://www.youtube.com/channel/UCShB25sGDdz7BovRnCi_07Q



COÛT MOYEN

Modélisations géostatistiques : à partir de 1 000 € selon les données disponibles et les objectifs attendus (cartographie, bilan de masse, plans de travaux).

Visualisation à l'aide de l'application TAUW AR® : à partir de 2 000 € en fonction des fonctionnalités recherchées (interactivité, informations quantitatives intégrées, animations, liens avec des documents joints)

MATURITÉ

Les outils de modélisation (géostatistiques, schéma conceptuels) sont opérationnels depuis quelques années. Des développements sont en cours rendre l'application TAUW AR® compatible avec différents formats de données.

RETOURS EXPÉRIENCE / DÉMONSTRATION

En France, la modélisation géostatistique des sites pollués a été mise en œuvre sur plusieurs dizaines de projets. La visualisation 3D avec l'application TAUW AR® est désormais réalisée sur plusieurs projets d'infrastructure aux Pays-Bas



Avantages :

- Visualisation des pollutions et des contraintes chantier grâce à la cartographie 3D
- Aide à la justification des solutions de gestion (pollutions concentrées, bilan coût-avantages)
- Aide au dimensionnement des dépollutions (plans d'exécution, bilans massiques, intégration des contraintes chantier : réseaux & cuves, talutage & blindage ...)



Avantages pour le maître d'ouvrage

- Visualisation des modèles pour rendre compte des études, de la conception ou de l'avancement des travaux
- Outil de communication aux différentes parties prenantes (administration, aménageurs et décideurs, entreprise de travaux, personnel interne des clients, riverains ...)
- Aide à l'appréciation du rendu final (terrassements, dépollutions, déconstruction, constructions)

IDfriches est une action originale initiée par la Région Auvergne-Rhône-Alpes. Elle est cofinancée par l'Union européenne dans le cadre du Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)



TECHNOLOGIES ET SOLUTIONS INNOVANTES

CHRYSAE : Plateforme d'outils numériques pour la gestion des sites et sols pollués



DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Développement d'une plateforme web (www.chrysaefr.fr) contenant des outils numériques pour la gestion des sites et sols pollués.

La plateforme CHRYSAE a été développée pour permettre à l'ensemble des acteurs de la gestion des sites et sols pollués d'accéder à un socle commun d'outils relatifs aux différentes étapes de gestion d'un site pollué.

Sur cet espace sont présentés de manière synthétique le processus de gestion d'un site à passif environnemental, nos formations ainsi que les solutions numériques suivantes :

- OAASIS : fournit des préconisations quant à la possibilité d'implanter un établissement sensible (crèche, école...) sur un site à passif environnemental
- Comp'Us : permet le calcul simple et rapide des quotients de danger et des excès de risques indispensables pour valider la compatibilité d'un usage
- BilMa : réalise un bilan massique permettant de déterminer l'optimum entre volume de terre et masse de polluants à traiter
- Strat'Edit, Edit'O, Edit'R, PIANOTE : outil de prise de note sur le terrain pour la saisie et l'édition de fiches de prélèvements (sol, eaux, air) et de visite de site

Notre plateforme est évolutive nous permettant de mettre à jours nos outils en temps réel pour répondre aux modifications de normes ou de méthodologie mais également pour apporter toute évolution améliorant l'expérience utilisateur. Notre offre de solutions s'enrichira en fonction de la réglementation mais également des besoins rencontrés par les utilisateurs.



Une initiative de la **Région Auvergne-Rhône-Alpes** | Aménagement

POLLUTION CIBLÉE

Toutes

COÛT MOYEN

Les outils pourront être mis à disposition des maitres d'ouvrages avec lesquels nous travaillons.

DURÉE MOYENNE DU TRAITEMENT

Très rapide, en quelques minutes les outils fournissent les résultats

MATURITÉ

TRL : Niveau 8

RETOURS EXPÉRIENCE / DÉMONSTRATION

Nos outils sont actuellement utilisés dans nos projets



Avantages :

- L'utilisation d'outils numériques permet d'obtenir des résultats et des conclusions fiables et reproductibles
- Elle permet également de pouvoir réaliser une analyse poussée des données pour tester tous les scénarii et ainsi permettre à nos ingénieurs de fournir des solutions optimales



Avantages pour le maître d'ouvrage

- L'utilisation d'outils communs entre le MOA et le bureau d'étude permet d'échanger sur les conclusions de l'étude en parallèle de la rédaction du rapport permettant un gain en termes de temps et d'efficacité
- De même ces outils permettront de présenter et d'appuyer les résultats de manière didactique.

IDfriches est une action originale initiée par la Région Auvergne-Rhône-Alpes. Elle est cofinancée par l'Union européenne dans le cadre du Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)



Crédit : GINGER BURGEAP, KIDOVA

TECHNOLOGIES ET SOLUTIONS INNOVANTES

Module SROreos

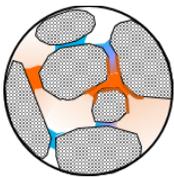


SOLUTION LOGICIELLE COUPLANT DES MÉTHODES DE DÉTECTION DE PHASE ORGANIQUE ET GÉOSTATISTIQUE AU SEIN D'UNE PLATEFORME DÉDIÉE AUX SITES ET SOLS POLLUÉS

PROJET SROREOS RÉALISÉ ET FINANCÉ EN PARTENARIAT PAR KIDOVA ET GINGER BURGEAP

DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Parmi les méthodes de caractérisation des pollutions concentrées dans les sols, la détection d'une phase organique (NAPL) et la géostatistique sont des méthodes utilisées couramment dans le cas de pollution organique. Le module SROreos, rattaché à la SoilRemediation Suite, plateforme logicielle d'analyse des données et de modélisation dédiée aux sites et sols pollués, combine ces deux méthodes dans une même solution logicielle.



Répartition de la pollution dans les différentes phases du sol

La méthode de détection de phase organique consiste à calculer la répartition du polluant dans les différentes phases du sol (produits sorbés, dissous, volatilisés ou en phase organique) à partir des teneurs de polluants organiques dans les sols, des propriétés physico-chimiques des polluants et de caractéristiques du sol. Elle permet en particulier de calculer la quantité de phase organique dans les sols, les seuils d'apparition de la phase organique et le seuil de mobilité (teneur dans les sols au-delà de laquelle le polluant est mobile).

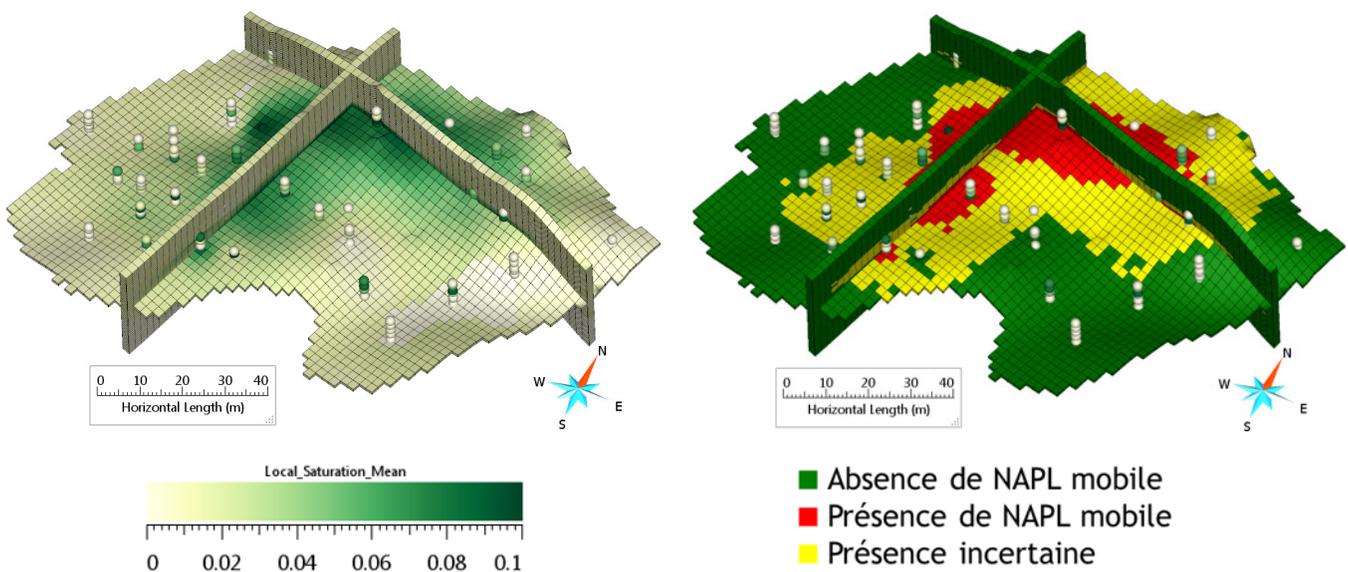
Le couplage de cette méthode avec un outil géostatistique permet de cartographier la phase organique dans les sols et de faire un bilan de masse sur la phase organique en prenant en compte les incertitudes sur la répartition spatiale de la pollution et les incertitudes sur les propriétés du milieu souterrain.



Une initiative de la **Région Auvergne-Rhône-Alpes** | Aménagement



Utilisée dans le cadre d'un plan de gestion ou d'un plan de conception des travaux, cette solution logicielle présente un grand intérêt pour aborder plus justement les bilans de masse de façon à mieux orienter les travaux de dépollution.



Gauche : saturation moyenne en NAPL déduite d'un modèle géostatistique de la teneur en polluant organique. Droite : classification des sols comme associés ou non à la présence d'une phase mobile selon le seuil de mobilité choisi et les incertitudes liées aux modèles de détection de phase organique et géostatistique de la teneur en polluant

POLLUTION CIBLÉE

Tout type de pollutions organiques présentes dans les milieux souterrains (solvants, hydrocarbures, PCB, ...).

DURÉE ET COÛTS MOYEN

Le coût de la licence pour cette solution logicielle est de 500€/an en complément de celui de la SoilRemediation Suite (voir le site www.kidova.com pour davantage d'information).

Le temps de mise en œuvre de cette solution est variable selon la complexité du site. Elle peut prendre de quelques jours ingénieurs (polluant unique, milieu souterrain peu hétérogène) à une dizaine de jours ingénieurs (polluants multiples, géologie complexe).

IDfriches est une action originale initiée par la Région Auvergne-Rhône-Alpes. Elle est cofinancée par l'Union européenne dans le cadre du Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)

MATURITÉ

La solution logicielle est en cours de test et sa commercialisation est prévue courant 2021. Elle a fait l'objet de tests de vérification et a été mise en œuvre dans le cadre d'une étude de démonstration. Elle correspond à un niveau 8 de maturité technologique (échelle TRL).

La solution logicielle et des exemples d'application ont été présentés lors des RNR ADEME 2019 (présentation générale) et Intersol 2020 (focus sur l'analyse de sensibilité).

RETOURS EXPÉRIENCE / DÉMONSTRATION

La solution logicielle a été mise en œuvre sur un site industriel en activité présentant une pollution aux hydrocarbures liée à la fuite de cuves de stockage enterrées. Tandis que la quantité de polluants dans le milieu souterrain a été estimée initialement à environ 250 m3, les premières opérations de dépollution (écrémage et extraction multiphasique) ont montré une faible efficacité (moins de 0.2% de la masse de polluant récupérée et épaisseur de flottant de quelques centimètres au bout de 6 mois). Une étude a alors été lancée afin de réévaluer le stock de polluants dans le milieu souterrain en précisant la part de NAPL mobile et récupérable et ce afin d'orienter la suite des travaux de dépollution. La mise en œuvre de SROreos sur ce site a permis de déterminer le seuil d'apparition et de mobilité, d'évaluer la variabilité spatiale du stock de polluant ainsi que d'estimer les masses de polluants totales et récupérables en précisant les incertitudes associées. La masse de polluants récupérables s'est avérée non négligeable et a conduit à conserver le traitement par écrémage en le re-dimensionnant.



Avantages :

- Outil permettant de définir la nature de la source (sorbé, phase organique immobile ou mobile, ...), sa localisation et en faire le bilan de masse en prenant en compte les incertitudes sur les propriétés du milieu souterrain et sur son état de pollution.
- Outil de visualisation 3D de la pollution dans le milieu souterrain sous différentes formes selon les besoins d'étude (teneurs dans les sols, saturations en phase organique, parts mobiles ou résiduelles).
- Outil d'aide à la décision sur le choix du mode de gestion et son dimensionnement (appui au plan de gestion et de conception des travaux)



Avantages pour le maître d'ouvrage

- Outil de communication pour la visualisation de la pollution en 3D sous différentes formes.
- Sécurisation des études de caractérisation de pollutions concentrées et de dimensionnement des travaux de réhabilitation en traduisant les incertitudes sur les modèles en risques de dépassement de temps et de budget.

IDfriches est une action originale initiée par la Région Auvergne-Rhône-Alpes. Elle est cofinancée par l'Union européenne dans le cadre du Fonds Européen de Développement Régional (FEDER)