



LE THÈME DU MOIS



Friches industrielles : bien préparer les opérations de dépollution

Par Patrick Philipon

Abstract

INDUSTRIAL WASTELAND:
GOOD PREPARATION OF
CLEAN-UP OPERATIONS

Research entities and technical businesses recommend and make use of time-honoured techniques for cleaning up polluted soil and patches of land. Improved outcomes come about mainly through site preparation that is less empirically based. Innovation is primarily in this domain.

Les bureaux d'études et entreprises techniques préconisent et utilisent des techniques bien rôdées de dépollution des sols et nappes pollués. L'amélioration des résultats passe surtout par une préparation moins empirique des chantiers. C'est actuellement dans ce domaine que porte l'innovation.

Pompape, oxydo-réduction, bioremédiation, venting, désorption thermique: les technologies de dépollution des sols et nappes polluées semblent pour la plupart bien établies désormais. Même si certaines, un peu délaissées, retrouvent une actualité grâce à des développements en amont, et que de nouvelles apparaissent. Quoi qu'il en soit, c'est avant les opérations de dépollution elles-mêmes que se joue, de plus en plus,

la réussite d'un chantier. Autrement dit, lors des phases d'études historiques, de schéma conceptuel, de diagnostic, puis d'établissement d'un plan de gestion et enfin d'un plan de conception des travaux (PCT), devenu obligatoire en 2017. Il n'est pas étonnant, dans ces conditions, que l'effort de R&D, et les innovations qui en résultent, portent actuellement surtout sur ces phases. Avec toujours la même contrainte: le sol est bien souvent un milieu hétérogène et opaque, et



chaque chantier recèle son lot de surprises. Dès lors, que signifie dépolluer un sol ou une nappe? Comment mieux localiser la pollution et connaître ses éventuels mouvements? Quelles sont les méthodes les plus pertinentes sur ce site précis? Avec quels objectifs en termes de réduction de la pollution? Et même, bien auparavant, quels sites dépolluer et pour quoi faire? De plus en plus d'outils d'aide à la décision, numériques ou non, apparaissent ou sont en cours de développement.

DÉPOLLUER À BON ESCIENT

Les pays anciennement industrialisés comme la France regorgent de friches. Les connaît-on vraiment toutes? Est-il toujours pertinent de les dépolluer? C'est le premier type de question que la profession, et surtout les commanditaires, peut se poser. Axelera, le pôle de compétitivité Chimie-environnement

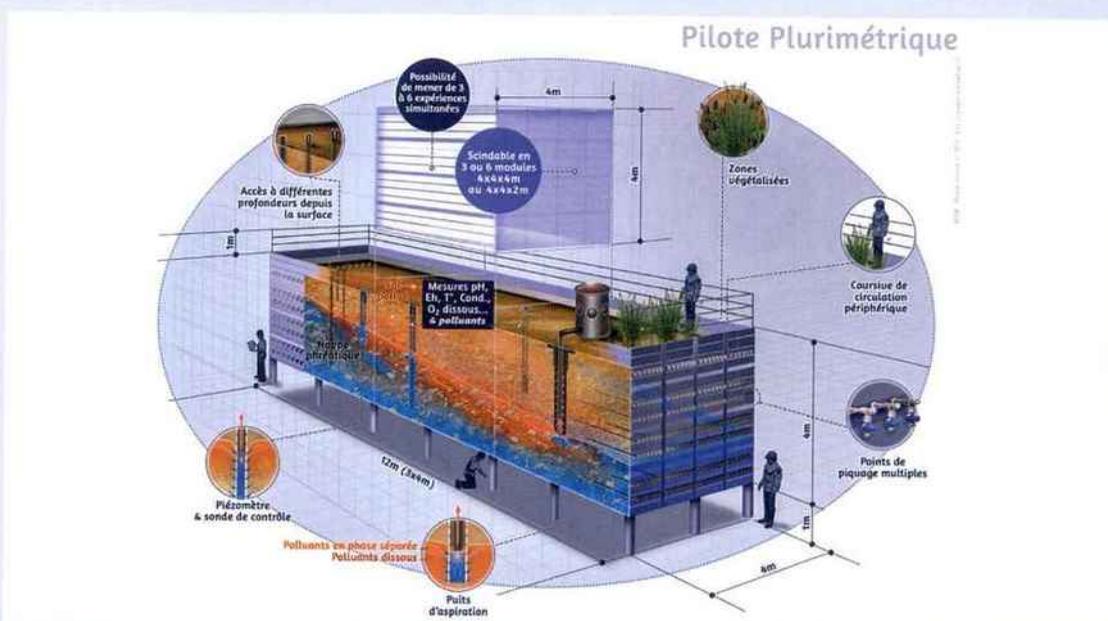


Les pays anciennement industrialisés comme la France regorgent de friches. Les connaît-on vraiment toutes? Est-il toujours pertinent de les dépolluer?

de la Région Auvergne-Rhône-Alpes (AURA), a ainsi labellisé le projet PFSP. Tesora, bureau d'études spécialisé en réhabilitation des sites et sols pollués, et porteur du projet, s'est allié à Modaal (un cabinet de conseil en immobilier,

foncier et aménagement), au laboratoire Environnement-Ville-Société du CNRS, spécialisé en géographie numérique (UMR 5600, Lyon-Saint-Etienne) et à Saint-Etienne Métropole. Financé par la région AURA dans le cadre de son appel

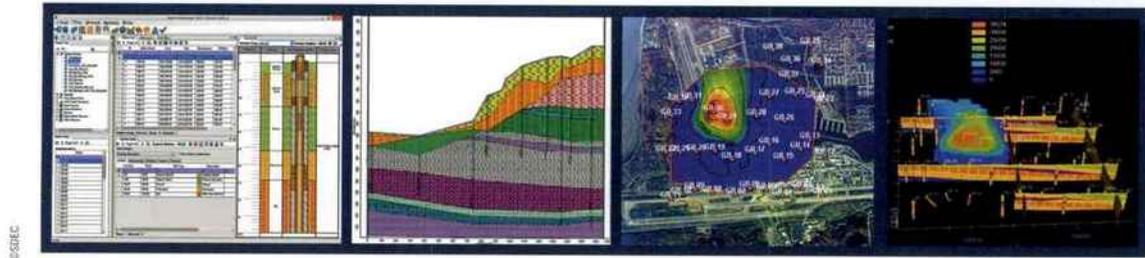
LE BRGM INAUGURE UNE NOUVELLE PLATEFORME EXPÉRIMENTALE



En février 2020, le BRGM a inauguré PRIME, une nouvelle plateforme expérimentale dotée d'une instrumentation de haut niveau, destinée à mieux comprendre le transfert des polluants dans le sol et trouver des moyens de remédiation. Le dispositif le plus impressionnant est un pilote d'essai multimétrique (PPM) simulant un sol naturel pourvu d'une nappe phréatique ajustable. Le tout est installé dans une cuve de 120 m³ équipée de multiples accès, permettent d'installer des capteurs dans le tout le volume étudié. A cela s'ajoutent des moyens d'étude à des échelles inférieures (métrique et centimétrique) pour approcher les phénomènes

fondamentaux, alors que le PPM est plus représentatif de la réalité fonctionnelle d'un sol.

Réalisée dans le cadre du programme PIVOTS « Plateformes d'Innovation, de Valorisation et d'Optimisation Technologique environnementales », financé par la Région Centre-Val de Loire, l'Etat et le Fonds européen de développement régional, la plateforme est destinée au BRGM lui-même, mais aussi aux autres organismes de recherche voire aux entreprises qui le souhaitent.



Hydro GeoAnalyst de SDEC France est une solution de gestion des projets tout en un qui permet de stocker, importer et exporter facilement les informations relatives à un puit, d'avoir des visualisations 2D et 3D (carte, coupe, log) automatiquement mises à jour en fonction de l'évolution de la base de données et d'éditer des rapports facilement.

à projet R&D Booster, le programme vise à développer une plateforme numérique complète pour le pilotage des friches et sols pollués. « Tout part d'un besoin exprimé par les maîtres d'ouvrage, qui ne disposent pas d'outils pour centraliser, stocker et "faire parler" les données de toutes natures (historiques, économiques, techniques...) relatives aux sites à réhabiliter. La plateforme devra leur fournir des indicateurs sur les potentialités de reconversion en fonction de l'entourage économique et foncier et des contraintes techniques et environnementales » explique Benjamin Pauget, responsable R&D de Tesora.

Fonctionnant à l'échelle d'un site ou d'un quartier pour rassembler les données disponibles sur les friches connues, l'outil pourra également identifier sur un territoire plus vaste des friches non répertoriées, à partir d'imagerie satellitaire ou cartographique. « Le laboratoire EVS va travailler sur cet aspect et définir des indicateurs permettant de repérer les sites en friches sur un territoire », précise Benjamin Pauget. Saint Etienne Métropole met à disposition les friches issues de son passé industriel, qui serviront de terrain d'expérimentation pour ce projet qui vient de débiter. « Dans deux ans, nous disposerons d'un pilote opérationnel qu'il faudra encore finaliser pour en faire un produit applicable partout. Tesora et Modaal en seront propriétaires, et commercialiseront l'accès à l'outil sous forme de Saas », prévoit Benjamin Pauget.

MODÉLISATION DU SITE ET DE LA POLLUTION

La capacité à modéliser le site et sa pollution, et faire "tourner" différents scénarios d'intervention, est de plus en plus la condition sine qua

non d'une opération réussie. Le BIM (bâtiments et informations modélisés) devient en particulier un outil numérique en voie de généralisation. De nombreux acteurs de la dépollution des sols comme Brezillon, GRS Valtech, Remea, Züblin ou Suez Remédiation y recourent. Colas Environnement en a déployé un sur le site de la Société de Raffinerie de Dunkerque. « Ce modèle permet d'intégrer des éléments du sous-sol concernant la dépollution, avec une cartographie de la répartition. Notre BIM a été primé en 2018 par Le Moniteur et les Cahiers techniques du bâtiment. Depuis, nous avons mis en place un pilote de longue durée (6 mois) afin de déterminer les concentrations extraites et choisir les modes de traitement à mettre en place » précise Jérôme Rheinbold, Directeur de Colas Environnement.

En juillet 2019, SDEC France, fabricants d'outils de diagnostic et de monitoring des milieux naturels, pollués ou non, mettait pour sa part sur le marché la dernière version ModFlowFlex, son logiciel de modélisation 3D et de simulation des écoulements et du transport

dans les eaux souterraines. « Destiné aux bureaux d'études, collectivités et organismes publics, il permet de tester des scénarios pour mieux gérer la ressource, en quantité comme en qualité », explique Leïla Benkafouf, chargée de communication et marketing chez SDEC France. La société distribue également Hydro GeoAnalyst, un logiciel "tout en un" de gestion de projets hydrogéologiques, qu'il s'agisse de dépollution ou autres. Ce logiciel de traitement des données environnementales (données de forage, données géologiques, données niveau d'eau, données qualité des eaux, ...) intègre une suite complète d'outils d'analyse, de visualisation et de rapport. Il donne également accès à une base de données puissante et flexible. Pour le diagnostic sur site de la pollution volatile, SDEC France propose depuis peu des détecteurs portables de gaz, G888 et G999. L'apport des outils de modélisation a largement été démontré par des acteurs tels que Envisol qui recourt à la géostatistique pour cartographier et dimensionner la pollution, Burgeap, Ixsane, ou



Depuis avril 2019, Colas Environnement propose de réaliser des tests de traitabilité au sein de son laboratoire d'essais de Miribel-Les-Echets (01) dans le but précis de répondre aux mieux aux attentes clients en phase d'étude de conception et de réalisation.



© Valgo

Sur la ZAC de Châteaureux, à proximité de la gare de Saint-Étienne, le traitement des terres polluées de l'îlot Stronglight est réalisé "on site", par technique de désorption thermique à grande échelle pour permettre la reconversion d'un ancien site industriel en zone résidentielle et espaces verts. Réalisation Valgo.

encore Antea Group au Stade de France. « Les grands projets d'aménagement ou d'infrastructure génèrent un volume de données environnementales sans commune mesure avec ce que les sociétés d'ingénierie avaient à traiter précédemment. Que cela soit pour les projets du Grand Paris, du Canal Seine Nord Europe ou pour tous les grands projets de création de nouveaux quartiers urbains, en Ile de France comme en région, ce sont des centaines de sondages, de milliers d'échantillons et de centaines de milliers d'analyses

qu'il nous faut suivre et dont il faut compiler et fiabiliser les données et les interpréter. Ce constat nous amène à inclure de plus en plus dans nos process des outils de data management, adaptés au contexte français de la gestion des pollutions et de la revalorisation des terres excavées et matériaux de construction. Totalement intégrés, du terrain au client, ils nous permettent ainsi de gérer toutes les données historiques d'un terrain, ainsi que celles acquises pour un projet, pour en tirer le meilleur » explique, Yves Guelorget,

Directeur Technique à la direction environnement d'Antea Group.

Un bon exemple de l'intérêt d'une modélisation pertinente: l'expérience de Valgo sur son site de Petit Couronne, une ancienne raffinerie rachetée en 2014. Un modèle de la nappe d'hydrocarbures, fourni par un bureau d'études à partir de données piézométriques, existait déjà. Réalisé selon les règles de l'art de l'époque, il suggérait l'existence d'une nappe d'hydrocarbures de 60 à 80 centimètres d'épaisseur sur les 25 hectares du site! « Nous avons fait des diagnostics complémentaires, ne serait-ce que pour distinguer les zones polluées aux huiles, aux bitumes ou aux essences, qui exigent des techniques de traitement différentes. Or, les cartes différaient avec le temps, des comportements erratiques apparaissaient », se souvient Laurent Thannberger, directeur scientifique chez Valgo. L'explication est venue d'une intuition. L'impact biquotidien de la marée sur les niveaux de nappe de ce site proche de la mer n'était pas une surprise, mais ne suffisait pas à expliquer les variations relevées dans les piézomètres. « En laissant, pour les besoins d'une thèse, des piézomètres en place durant plusieurs semaines, ce qui se fait rarement, nous avons vu apparaître une oscillation sur un cycle de quatre semaines. Nous avons alors compris que les niveaux hauts sont calés sur les coefficients de marée » explique Laurent Thannberger. Le phénomène a été vérifié dans toute l'emprise du site, et même au-delà grâce aux marégraphes de la Seine. L'observation

TERRES EXCAVÉES : LE BRGM PREND UNE PARTICIPATION DANS SOLTRACING



© BRGM

Au travers de sa filiale, Sageos, le BRGM a pris une participation de 40 % dans Soltracing, solution française de sécurisation des flux de terres excavées créée par Hesus avec la Confédération flamande de la construction. Hesus, qui conserve 50 % du capital de Soltracing, travaille en France avec près de 900 centres

de traitement et plus de 60 transporteurs pour proposer à ses clients une solution clé-en-main garantissant la traçabilité et la conformité réglementaire des terres fournies. Soltracing propose une solution de sécurisation intégrale des sols excavés en garantissant la qualité et la provenance des matériaux valorisés, condition essentielle à la transition vers une économie circulaire des terres excavées. Cette traçabilité étendue repose sur la caractérisation des terres d'apport, sur leur compatibilité physico-chimique avec le site receveur et l'utilisation considérée, et sur une traçabilité contrôlée et assurée de l'ensemble des terres concernées. L'objectif est de lancer nouveau service de traçabilité des terres qui permettra de confirmer de façon extrêmement rapide l'acceptabilité des terres excavées sur une opération de valorisation et de valider la conformité de l'ensemble des évacuations d'un chantier.



a aussi démontré une quasi-absence de mouvements horizontaux des polluants dans le sol. Une modélisation totalement différente de la première, impliquant une manière nouvelle d'aborder les travaux, a donc été présentée à la DREAL qui l'a approuvée.

TESTER, SUR PLACE OU AU LABORATOIRE

« Depuis l'obligation du PCT, de plus en plus de sociétés réalisent ou font réaliser des essais de dépollution en laboratoire. Cela débouche ensuite sur des essais pilotes qui apportent des informations complémentaires », affirme Jérôme Rheinbold. Un boom que confirme Laurent Thannberger : « nous faisons face à une recrudescence des demandes d'essais, soit directement sur le terrain, soit en laboratoire. Avec la formalisation du PCT en 2017, c'est devenu un outil récurrent, au point que nous avons dû recruter pour répondre à la demande ». Colas Environnement a finalement ouvert, en avril 2019, son propre laboratoire d'essais à Miribel-les-Echets (Ain) pour réaliser des tests de "traitabilité" à partir d'échantillons de sol ou eau du site à dépolluer. Les essais réalisables couvrent toute la gamme des techniques de dépollution possibles : demande du sol en oxydants (DSO), oxydation et réduction chimiques, biodégradation aérobie en anaérobie, évaluation de saturation du charbon actif, "respirométrie" manométrique, venting/bioventing, lessivage et désorption thermique. « Ce dernier test, qui indique la concentration de pollution restante en fonction de la température dans une matrice donnée, est un plus : peu de professionnels le réalisent », affirme Jérôme Rheinbold. Il s'agit dans tous les cas d'essais à visée applicative, adaptés à chaque cas et proposés soit au client final, soit au bureau d'étude ou assistant à maîtrise d'ouvrage intervenant sur le projet.

Les sociétés importantes sont toutes équipées pour réaliser des essais sur site et possèdent un laboratoire d'analyse comme Serpol, Extract Ecoterres, Haemers Technologies, Remea, Soléo Services ou sont en train de s'en doter comme HPC International.

Un autre projet labellisé Axelera, appelé Gone® Technologies, concerne cette étape. Il est porté par le bureau d'études Gone Environnement, spécialisé en sites et sols pollués.



Brownfields Environnement a sollicité Soléo Services pour la réhabilitation d'un site impacté par hydrocarbures, COHV et métaux. Les travaux ont consisté à la démolition et au désamiantage de l'ensemble des bâtiments, au suivi des terrassements puis élimination des terres sur plusieurs filières (Biocentre, ISDI, ISDI+), au surcreusement au niveau des zones de pollution concentrées pour évacuation des zones sources et à l'aménagement des sous-couches des espaces publics entre chaque bâtiment.

Visant les composés organiques volatils, Gone Environnement développe le prototype d'un outil de mise en dépression d'échantillon de sols (remaniés ou non), doté d'une batterie de systèmes d'analyse chimique des gaz issus. L'idée est de pouvoir évaluer au laboratoire

la capacité d'un sol donné à accepter une ventilation, et prédire l'efficacité d'un traitement par venting, combiné ou non à des techniques chimiques ou biologiques. « Nous pourrions ainsi, dès la phase de diagnostic approfondi, savoir si le sol tel qu'il est caractérisé



Exemple d'un skid de Venting. Depuis plusieurs années, Colas Environnement a développé et mis au point des unités de traitement mobiles permettant la réalisation d'essais de différents types.



© Université technique de Libéroc

Le projet LifePopWat, auquel participe Serpol, s'attache à traiter de manière passive des eaux chargées en lindane, et plus généralement en pesticides en associant des processus naturels avec des processus chimiques.

peut accepter un traitement sur site ou in situ. Cela change la donne en termes méthodologiques: on ne compare plus des techniques parce qu'on sait qu'elles marchent en général sur un polluant mais on teste le sol lui-même, avec sa pollution, pour voir si on peut se lancer sur ce type de traitement », précise Fabrice Bedin, PDG de Gone Environnement. Il estime que la démarche pourrait faire gagner plusieurs semaines lors de la prise de décision... et éviter des déconvenues lorsqu'on en arrive aux essais de faisabilité pour l'établissement du PCT. Le prototype sera testé en grandeur réelle dans l'Ain, dès cette année, sur le site d'un client de Gone Environnement. « Nous ne déposerons pas de brevet sur le dispositif en lui-même, que tout le monde peut imaginer et monter en faisant un peu de recherche bibliographique. Ce qui est plus complexe, c'est de pouvoir le caler, assurer sa représentativité et disposer des outils d'analyse permettant d'obtenir

ORTEC GÉNÉRALE DE DÉPOLLUTION (OGD) DÉMONTRE SA DOUBLE COMPÉTENCE (INGÉNIERIE & TRAVAUX DE DÉPOLLUTION) À L'OCCASION DE LA RECONVERSION DE LA ZAC DES DEUX RIVES À STRASBOURG



© ORTEC

Le projet de la ZAC des 2 Rives à Strasbourg est un démonstrateur de la ville durable avec une vision croisée des métiers/compétences : aménagement / construction / dépollution.

Le projet prévoit la reconversion d'un ancien secteur industriel morcelé, situé le long du Rhin et de bassins portuaires, en un ensemble cohérent avec de l'habitat, des bureaux, des commerces, des équipements publics et culturels, un vaste réseau de parcs et promenades sur un territoire de 75 hectares.

Dans le cadre de ce projet d'aménagement urbain, la gestion des sols met le recyclage et l'économie circulaire au centre du processus - avec un objectif : tendre vers le « zero évacuation ».

Concernant plus spécifiquement le volet environnemental du projet et dans la mesure où les travaux d'aménagement et de construction seront réalisés sur une quinzaine d'années, le bureau d'étude Archimed Environnement (MOE) a élaboré un plan guide de valorisation des sols appelé « Valozac ».

Ce dernier constitue le fil conducteur de toute l'opération de reconversion des sols, présentant dans un document unique la philosophie de gestion des sols pour atteindre une compatibilité des usages futurs avec les sols en place, sur les sujets environnementaux, agro pédologiques et géotechniques.

« La démarche Valozac s'appuie d'une part sur une compréhension fine et typologique des sols, de leurs caractéristiques et d'autre part, sur le dialogue avec le projet de maîtrise d'œuvre urbaine pour identifier les opportunités et optimiser les coûts de travaux » indique Amélie Rognon, responsable du développement chez OGD. Dans ce contexte, les sols ont été appréhendés selon une logique « matériaux » complètement intégrée, tenant compte des facteurs géologiques, pédologiques, historiques, chimiques pour pouvoir estimer au mieux les sols en place peu ou pas contraints et les matériaux potentiellement valorisables dans la perspective des terrassements. « Suite à des tests en laboratoire et des essais pilote sur site, nous avons validé les modes de traitement appropriés pour plus de 20.000 m³ de matériaux impactés et non compatibles sanitaires, à des fins de valorisation sur site. Cette phase d'ingénierie environnementale est essentielle car elle permet de sécuriser le projet, plus encore quand il est complexe et que les enjeux portés par les travaux de dépollution sont forts. Nous effectuons toutes nos opérations (tri, analyses, essais, traitements) sur une plateforme intégrée de chantier dédiée. A ce stade, nous traitons la majorité des matériaux par désorption thermique (4 thermopiles en cours), et allons également nous orienter sur de la stabilisation physico-chimique (travaux en cours) - compte tenu de la diversité des matériaux impactés identifiés sur le site et des différents modes de valorisation envisageables » précise Amélie Rognon.



un résultat pertinent pour proposer de bonnes solutions à nos clients », affirme Fabrice Bedin.

DU NEUF EN DÉPOLLUTION ?

Quoique désormais bien établies, les grandes techniques de dépollution continuent à être optimisées. « Sur le site de Petit Couronne, nous avons pu, grâce aux outils modernes, à la modélisation par exemple, changer la donne en matière de pompage et définir une façon plus pertinente de l'utiliser », affirme par exemple Laurent Thannberger. D'autres techniques, quelque peu délaissées, connaissent un retour en grâce, là aussi à la faveur de développements dans les phases amont. « La désorption thermique dans le sol, un peu mise de côté, est en train de revenir. Nous avons des demandes plus précises dans ce domaine », explique ainsi Jérôme Rheinbold, de Colas Environnement. Un retour en grâce que confirme Laurent Thannberger. Christophe Chêne, directeur technique



Unité d'injection de mousse bloquante. Serpol avec Renault, l'ENSEGID et l'ADEME a utilisé une mousse biodégradable comme agent de confinement temporaire in situ d'un sol contaminé par des solvants chlorés. Objectif: stopper ou réduire les écoulements d'eau souterraine et contribuer à améliorer l'efficacité des traitements.

UNE PREMIÈRE EN EUROPE : RÉHABILITATION COMPLÈTE D'UN SITE DE PRODUCTION DE LINDANE HCH À LA FRONTIÈRE DES 3 PAYS FRANCE-SUISSE-ALLEMAGNE



Vue aérienne du traitement du site de la STEIH à Huningue.

La plus grande réhabilitation d'un site pollué de production de lindane HCH (hexachlorocyclohexane) en Europe vient de se terminer fin 2019 à Huningue à la frontière des 3 pays France-Suisse- Allemagne.

L'assainissement complet d'un site contaminé au HCH, pour la première fois de cette ampleur, requérant des mesures de protection du personnel et de maîtrise des émissions les plus élevées, représentait un défi tout particulier, qui a même nécessité le remplacement de l'entreprise titulaire du marché par le maître d'ouvrage au début de l'assainissement. Avant d'entamer la réhabilitation des sols, l'ancienne station d'épuration industrielle de la chimie bâloise a dû être déconstruite et les infrastructures (halles, sas, rampe de chargement) créées. Le terrain n'était au démarrage des travaux couvert qu'en partie par des halles.

En 2013, le projet avait dû être arrêté car d'une part les valeurs limites d'émissions de HCH exigées, certaines de l'ordre du nanogramme, n'étaient pas tenues et d'autre part des matériaux pollués

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



de Soleo Services, rejoint l'avis de ses confrères sur la forte activité autour de la désorption thermique. « Cette solution permet de traiter des pollutions complexes et profondes qui hier n'avaient pas de solution efficace. La technologie est certes complexe mais elle ouvre la voie vers un nouveau marché, qui faute de solution technique, était inactif jusqu'à ce jour. Nous avons développé notre propre solution de désorption thermique que nous maîtrisons de la conception (tests laboratoires, modélisation de chauffage, essais pilotes terrain) à la réalisation en phase chantier. Cette expérience nous a permis, ces dernières années, de mener à bien des dépollutions in-situ de sols qui étaient impactés par des HAP, des hydrocarbures lourds, de solvants chlorés ou encore de PCB, avec des taux d'efficacité qui sont à comparer à l'excavation et l'élimination hors site des terres polluées ». Valgo utilise en particulier cette technique sur l'ancien site de Stronglight (fabricant de pièces pour cycles) situé dans la ZAC de Chateaufreux, derrière la gare de Saint-Etienne. « Pour traiter une pollution aux PCB et solvants chlorés, nous avons construit quatre piles de 1.000 m³ chacune. Au total, nous

traiterons plus de 10.000 m³ de terres. C'est d'autant plus difficile que le schiste carbonifère de ce sol piège littéralement les solvants chlorés », affirme Laurent Thannberger. Le maître d'ouvrage est ici une SEM de Saint Etienne impliquant aussi l'établissement public foncier de Rhône Alpes (EPORA). Avec un collège à proximité, une nouvelle ligne de tramway et l'ouverture prévue de la gare de ce côté, cette ZAC changera totalement de visage.

Colas Environnement participe de son côté au projet Bioxyval de l'Ademe. Le point de départ est le fait que les sites industriels délaissés sont en général contaminés par une pollution complexe, comprenant souvent des HAP. Il s'agit donc de faire émerger non pas une nouvelle technologie mais d'associer – et éventuellement d'optimiser – les techniques de caractérisation, traitement et valorisation existantes pour proposer dès le départ une gestion intégrée de ces sites. Le "terrain de jeu" se situe en Moselle, sur d'anciennes installations sidérurgiques. Colas a participé en particulier à des essais très prometteurs de biodégradation des polluants par (bio) surfactants. Remea, qui est associé au projet Bioxyval,

travaille sur l'amélioration des taux de récupération des phases purs par assistance thermique. « Le principe est de jouer sur la température du milieu afin d'agir sur les constantes physico-chimiques qui régissent les taux d'extraction » précise Pierre-Yves Klein, président de Remea. « En termes de techniques innovantes et de R&D, nous avons mis au point avec Eurovia un test de lixiviation rapide permettant d'orienter les terres en inerte/non inerte en moins d'une journée. Ce test appelé Chronosol fera l'objet prochainement d'un lancement commercial ».

Le pôle de compétitivité Axelera soutient aussi le projet LifePopWat, auquel participe Serpol. Comme son nom veut l'indiquer, ce projet impliquant quatre pays répond à l'appel d'offres européen Life et concerne les POP – persistent organic pollutants pour polluants organiques persistants, une famille définie par la convention de Stockholm – dans l'eau (water). Le but est de traiter de manière passive des eaux chargées en lindane, et plus généralement en pesticides. « Il s'agit de pollutions diffuses et le but est d'interrompre leur circulation, de couper des vecteurs de pollution:

RAMBOLL : ESSAIS PILOTES DE LAVAGE DANS LE CADRE DE LA RÉHABILITATION D'UN SITE CHIMIQUE



© Ramboll

Matériaux avant/après lavage

Dans le cadre de la fermeture d'un grand site chimique, Ramboll qui est spécialisé dans la gestion des sites et sols pollués et les études d'impact des grands projets, a réalisé un plan d'actions pour définir la gestion la plus appropriée des zones contaminées et évaluer les résultats attendus. En raison des divers contaminants présents dans des zones

distinctes du site et de leur répartition géographique, l'excavation s'est avérée être la seule technique efficace pour atteindre l'enlèvement de masse ciblée dans le délai du projet. Compte tenu de l'extension des zones contaminées (65.000 m³ au total) et de la nature du sous-sol composé de dépôts alluviaux, des solutions techniques de lavage des sols ont été étudiées afin de maximiser le recyclage des sols sur site et limiter autant que possible l'élimination hors site et les coûts prohibitifs associés. Les premiers essais pilotes sur site ont démontré que le lavage des sols (avec tamisage humide) était efficace pour nettoyer les fractions grossières indépendamment du type de contamination et que l'élimination des impacts visuels était un bon indicateur de l'efficacité du traitement. Des tests de lavage supplémentaires ont permis d'affiner le type de traitement. Des essais de traitement et de déshydratation des boues ont également été réalisés à l'aide de technologies innovantes afin d'assurer un recyclage optimum de l'eau de lavage. Les travaux de réhabilitation du site viennent de s'achever. Au final 75.000 m³ de matériaux auront été traités sur site avec un recyclage à 100 % des eaux de lavage (composée d'eau de ville et d'eaux de pluies) se traduisant par l'absence de rejets d'eau au cours du chantier. Seuls 6 % des matériaux traités auront été éliminés hors site.



SOLÉO SERVICES : TRAITEMENT *IN-SITU* DE SOLS POLLUÉS AUX HYDROCARBURES, BTEX ET HAP PAR DÉSORPTION THERMIQUE



© Soléo Services

Dispositif de désorption thermique.

Un projet immobilier prévu sur ce site de l'est de la France était bloqué en raison de la présence d'une pollution des sols en naphthalène, hydrocarbures et de BTEX. Le défi portait aussi sur la gestion de l'humidité du sol, sur les incertitudes de la réponse au traitement de la chaux et sur la présence du naphthène qui est corrosif pour les matériaux et qui cristallise et sublime à température ambiante.

L'importance d'une conception poussée

Une conception poussée a donc été mise en œuvre, sur la base d'un test de laboratoire et d'un essai pilote terrain, pour anticiper les différentes problématiques et pouvoir garantir l'efficacité du traitement proposé.

Un test laboratoire de désorption thermique en colonne chauffé a donc été réalisé. Cet essai permet de simuler le plus finement possible les phénomènes se passant dans le sol et notamment la cinétique de désorption des polluants en fonction de la température. Il simule aussi le traitement des effluents et permet de réaliser un bilan massique des polluants extraits via les différentes

phases, dissoute, pure et gazeuse. Cet essai a mis en évidence une température cible à atteindre de 80 °C, la nécessité d'un apport énergétique important, des taux d'abattement de 99 % et un problème de cristallisation du naphthalène dans les tuyauteries à anticiper sur le terrain pour ne pas colmater les réseaux.

Pour faire face à l'ensemble de ces contraintes, le dispositif de désorption thermique *in-situ* habituellement utilisé a subi de profondes modifications et a été testé lors d'un essai pilote terrain. Cet essai a duré 4 mois et a permis d'extraire plus de 600 kg de polluants et d'observer un abattement en polluants de 97 %. Le succès de l'essai pilote a permis à Soléo Services de s'engager sur l'atteinte des objectifs de réhabilitation.

L'installation du dispositif complet de désorption thermique *in-situ* s'est déroulée fin 2018 et début 2019. La zone traitée présentait une surface de 1.050 m² et une profondeur de 4 mètres. Le dispositif de désorption thermique était composé de 98 aiguilles de chauffage pour une puissance de 340 kW, de 28 aiguilles d'extraction de gaz, d'un réseau d'extraction chauffé et calorifugé, d'une unité de condensation des polluants et d'une unité de traitement des eaux et des gaz. Le traitement a duré 9 mois.

La bonne anticipation des différentes problématiques au stade de la conception a permis de relever l'ensemble des défis techniques et de mener à bien le chantier : une température moyenne des sols de 88 °C atteinte, respectant ainsi la température cible visée (80 °C). Plus de 5 tonnes de naphthalène ont été récupérés sous forme de cristaux purs, plus de 100 kg et 1.300 kg de polluant ont été extraits, respectivement sous forme dissoute et gazeuse. Une partie des polluants, estimée à plus de 3 tonnes, a été dégradée *in-situ* par thermolyse. Des sondages de réception ont été menés et la compilation de l'ensemble des analyses de sol ont permis de mettre en évidence des abattements en naphthalène, BTEX et hydrocarbures de plus de 90 % confirmant ainsi l'atteinte des objectifs de dépollution en 9 mois de traitement.

une nappe souterraine contaminée, une eau souterraine passant à travers une source concentrée, ou une résurgence sur un terril contaminé », explique Antoine Joubert, responsable scientifique chez Serpol. La technologie, mise au point par l'université technique de Liberec (République tchèque), a fait ses preuves puisqu'un site pilote a montré un abattement de 98 à 99 % de la pollution. Elle consiste en une chaîne de traitements passifs comprenant des filtres garnis de matière organique et de fer et des milieux humides artificiels (lagune aérobie, filtre planté de roseaux...). Autrement dit, un système de traitement passif, peu onéreux, rustique, demandant peu de maintenance. L'idéal pour une pollution diffuse (il ne

s'agit pas ici de traiter une source).

Le projet vise à démontrer que cette technique peut fonctionner, à l'échelle pilote ou en grandeur réelle, sur différents sites européens. « Chaque site est différent, et il faudra à chaque fois étudier l'organisation des filtres, dans quel ordre les construire. Ce qui suppose le passage par des pilotes », détaille Antoine Joubert chez Serpol. Seront ainsi testés, d'une part, un terril en République tchèque, sur lequel ont été accumulés des déchets industriels, dont du lindane. Les eaux de lixiviation, transportant d'importantes concentrations de polluants, alimentent un bassin halieutique, lieu d'activités nautiques. L'autre site, en Pologne, est une nappe souterraine polluée aux pesticides. « Nous

allons pomper une partie de la nappe et traiter ces eaux de manière passive », précise Antoine Joubert.

UTILISER... LA MOUSSE

Serpol est également impliqué dans deux projets plus originaux, à base de mousse... Le premier implique Renault, l'ENSEGID (école nationale supérieure en environnement, géoressources et ingénierie du développement durable) de l'INP de Bordeaux et l'ADEME. Mis en œuvre sur un site en Espagne, il consiste à injecter dans le sol une mousse biodégradable dense. La mousse se fabrique aisément avec de l'eau, un tensioactif et une crépine à travers laquelle passe de l'air comprimé. L'injection dans le sol est plus délicate... Une fois dans le sol, la



Remea travaille sur le sujet mousses afin d'améliorer la capacité de traitement in situ des zones non saturées.

mousse qui contient 95 % d'air constitue un bouchon qui freine l'écoulement. Elle demeure plusieurs mois avant d'être biodégradée, et donc confine efficacement la pollution, que l'on peut alors traiter par oxydation sans que le réactif ne migre ou se dilue. « Le projet de R&D sur le pilote espagnol a démontré la pertinence de la méthode, avec d'excellents

résultats puisque nous avons réduit le flux de pollution d'un facteur 4 à 5. Cette année, nous allons retourner sur le site espagnol pour le traiter à échelle réelle », révèle Antoine Joubert. Un brevet a été déposé conjointement par Serpol, Renault et l'ENSEGID.

En parallèle, et toujours avec une mousse biodégradable, Serpol, Réméa.

Remea travaille sur le sujet mousses afin d'améliorer la capacité de traitement in situ des zones non saturées. Et plusieurs autres partenaires ont mené un projet un peu différent sur le site d'un chimiste à proximité de Tavaux (Jura). Pollué par de très fortes quantités de solvants chlorés, le sol a d'abord été traité par pompage pour éliminer la phase organique pure. Puis, quand la phase libre s'est épuisée, est restée la matrice solide du sol, toujours imprégnée de solvants chlorés, cette fois-ci impossibles à extraire par pompage. Un traitement chimique du sol aurait nécessité une quantité trop importante de réactifs. Avec l'université de Besançon, l'équipe a alors développé une autre mousse de tensioactif. Cette fois-ci, elle a été utilisée pour nettoyer le sol. Puisque la mousse ne contient pratiquement pas d'eau, elle peut extraire les polluants du sol (grâce à sa phase organique) sans les diluer, donc sans les disperser dans le milieu. Ne reste plus alors qu'à la pomper pour récupérer les solvants chlorés. « En pratique, on injecte la mousse en périphérie de la zone polluée pour tout pousser vers le centre où l'on extrait. Ce n'est donc pas une mousse de blocage mais de remobilisation », précise Antoine Joubert. Fort de résultats encourageants sur le site jurassien, Serpol envisage maintenant d'autres pilotes sur des sites pollués par des hydrocarbures flottants comme des stations service ou des dépôts pétroliers. « Ils représentent l'essentiel de notre marché », justifie Antoine Joubert. ●

LHOTELLIER : RÉUTILISER LES TERRES EXCAVÉES



Depuis 100 ans, le Groupe Lhotellier déploie son savoir-faire dans les métiers du bâtiment et de travaux publics, ainsi que dans la dépollution de sites et sols pollués. Il intervient aujourd'hui en offrant des solutions de valorisation in situ ou sur ses propres centres de traitement. Cette ETI assure également la déconstruction, le désamiantage des bâtiments, le traitement de l'eau.

Les chantiers de reconversion de sites pollués se traduisent souvent par l'excavation d'une quantité importante de terres, liée aux

terrassements nécessaires au projet d'aménagement. Le cadre réglementaire fixé par les lois Grenelle I et II a fixé pour objectif la réduction de la production de déchets tout en favorisant leur valorisation et leur recyclage. « Aujourd'hui, les besoins en matériaux qu'ont les acteurs du bâtiment et des travaux publics sont nombreux, et poussent à fabriquer des matières premières secondaires à partir de terres polluées. C'est pourquoi, nous mettons en œuvre sur les sites à dépolluer, ou sur notre centre de traitement dédié d'Alizay (27) une technologie avancée de lavage qui permet de réutiliser plus de 70 % des terres excavées », explique Julien Alix directeur de l'Activité Dépollution, du groupe familial Lhotellier. La séparation granulométrique sous eau permet d'extraire des matériaux dépollués et valorisables et de limiter la production de déchets ultimes grâce au traitement des effluents. Cette technologie développée par le groupe familial permet de traiter un large spectre de pollutions : hydrocarbures, métaux lourds dans le respect des normes environnementales.



AMIANTE : NE PAS L'IDENTIFIER PEUT MENER À DES DÉCALAGES DE CHANTIERS



Chantier de terrassement

Parmi l'ensemble des polluants à identifier dans les sols, il en est un à ne pas oublier : l'amiante.

Eclairage de Thomas Dodelande, Directeur technique Isodiag

Bien que la question des pollutions chimiques se pose systématiquement dans le cadre d'un chantier de terrassement, celle de la pollution amiante est parfois oubliée. Pourtant si ce risque n'est pas pris en compte suffisamment tôt, il peut exposer le chantier à des décalages de planning, à des coûts non prévus. La réalisation d'un diagnostic amiante est donc recommandée en fonction des conclusions de l'étude historique du site.

Certains donneurs d'ordre et bureaux d'études ont intégré le risque spécifique de pollution amiante dans leurs chantiers de terrassement. C'est le cas de certains connexes aux projets du Grand Paris. Sur ces chantiers d'envergure, les volumes de terres excavées sont

très importants et l'anticipation du risque amiante est primordiale. Dans le cadre de ces chantiers, Isodiag qui accompagne les maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre dans la gestion globale du risque amiante depuis 2015, a élaboré et met en œuvre une méthodologie complète de diagnostic de sols potentiellement pollués à l'amiante.

C'est avec des pelles mécaniques pressurisées équipées de moyens de brumisation pour abattre les poussières que des sondages sont réalisés et qu'un opérateur de repérage amiante réalise l'identification de matériaux ou produits susceptibles de contenir de l'amiante présent dans ces terres excavées, les échantillonne pour les faire analyser par un laboratoire d'analyse et confirmer la présence d'amiante dans ceux-ci.

Il réalise également des prélèvements d'échantillons composites de terres afin de les faire analyser et rechercher la présence de fibres d'amiante dans la matrice terreuse.

Isodiag établit alors une cartographie en X Y Z des terres impactées par la pollution amiante avec une localisation par maillage. Les terres peuvent ainsi être triées puis orientées vers des filières adaptées de gestion de celles-ci tout en prenant en compte des critères lithologiques et organoleptiques. Le tri permettant ainsi de revaloriser les terres non impactées par la pollution amiante. Pendant ces différentes phases, des mesures d'empoussièrement sur les travailleurs et dans l'environnement sont réalisées pour vérifier les niveaux de risques des processus mis en œuvre lors du diagnostic.