



Dépollution des sols : répondre à la complexité croissante des chantiers

Par Patrick Philipon, Technoscope - Groupe Rouge Vif

Abstract

**SOIL DECONTAMINATION:
DEALING WITH THE
INCREASING COMPLEXITY
OF SITES**

There is no revolution in the world of soil and water decontamination. Works contractors are optimising their tools and dealing with the increased complexity of sites by combining their existing techniques. Pilot trials have become more widespread since 2017 with the obligation to draw up a works design plan. We illustrate the situation based on some recent sites.

Pas de révolution dans le monde de la dépollution des sols et des nappes. Les sociétés de travaux optimisent leurs outils, et répondent à la complexité croissante des chantiers en combinant les techniques existantes. Les essais pilotes se généralisent avec l'obligation, depuis 2017, d'un plan de conception des travaux. Illustration sur la base de quelques chantiers récents.

Désorption thermique, venting, biodégradation, oxydation ou réduction, pompage... : les professionnels de la dépollution des sols disposent d'une vaste palette de techniques désormais éprouvées (voir à ce sujet EIN n°399 et 409). « Il n'y a pas de révolution en vue, pas d'innovation de rupture mais une optimisation continue de l'existant », comme le précise Alain Dumestre, directeur général de Serpol. « Toutes les techniques sont

déjà connues, mais elles sont de plus en plus robustes. Celles qui étaient encore récemment de l'ordre du développement sont aujourd'hui mises en œuvre régulièrement, et le retour d'expériences les rend plus fiables » renchérit Patrice Imberti, directeur général de Suez Remédiation France. Devant la difficulté à breveter des améliorations incrémentales apportées à des procédés déjà existants, les sociétés déposent parfois des marques garantissant à leurs clients l'usage d'une



DÉPOLLUTION DES SOLS ET DES NAPPES

technique affinée par la R&D "maison". A l'instar de Serpol avec ses Bacteau® (biodégradation des hydrocarbures) ou Naneau® (nanoparticules de fer zéro pour réduire les polluants chlorés), ou de Suez Remédiation avec Bionappe® (biodégradation) ou encore Neoter® (plateforme de traitement des terres excavées). La technologie étant désormais plus ou moins stabilisée, c'est aujourd'hui la demande qui dirige l'évolution du métier. La plupart des acteurs se rejoignent sur cette constatation.

DES CHANTIERS TOUJOURS PLUS EXIGEANTS

Premier facteur d'évolution, d'ordre réglementaire : l'obligation depuis 2017 d'élaborer un plan de conception des travaux (PCT) avant toute opération. « Cela date d'un an seulement, aussi le changement des pratiques est-il encore en cours. Les clients nous demandent déjà plus d'essais pilotes, au laboratoire et sur le terrain » rapporte Jean-Daniel Vilomet,



Prétraitement par venting en vue de réduire le volume de COV emprisonnés dans la porosité du sol d'un chantier en Pologne. Réalisation Remea.

chez Remea. Jérôme Rheinbold, directeur de Colas Environnement, estime

que le PCT représente une avancée certaine par rapport au simple diagnostic.

UN PROCÉDÉ DE BÂCHAGE INNOVANT POUR CONFINER LES SITES ET SOLS POLLUÉS



Le bâchage de confinement des emprises et des stockages, sur les sites et sols pollués, au moyen de géomembranes lestées, est un poste onéreux dans le cadre des travaux de dépollution. Dans un contexte concurrentiel tendu, il est souvent pris en compte, par les entreprises en temps masqué alors que les diverses opérations menées par les techniciens sont nombreuses :

- Mise en œuvre d'un feutre anti-poinçonnement ;
- Positionnement de bâches de couverture ;
- Remplissage et mise en place de sacs de lestage ;
- Entretien régulier nécessaire notamment lors d'intempéries (pompage de poches d'eau, remise en place des sacs de lestage et des bâches déplacées par le vent).

Ces opérations représentent un poste non négligeable et impactent fortement l'organisation et la gestion des chantiers. D'autant qu'en fin de chantier, les bâches de couverture sont considérées comme déchets et doivent être traitées comme tels dans une filière agréée.

Le procédé EuroCover SP, commercialisé par Valeur Environnement, est une solution alternative aux techniques traditionnelles de confinement temporaire de sols pollués pour éviter l'émanation des C.O.V, l'envol de poussières et l'entraînement des polluants vers les eaux souterraines. Il a été mis au point par des spécialistes de la dépollution pour assurer précisément une véritable maîtrise technique et financière des projets de dépollution.

Ses principaux atouts sont les suivants :

- Facilité de mise en œuvre, quels que soient le microrelief du sol et la pente ;
- Absence totale de maintenance notamment liée aux zones ventées, et lors de conditions climatiques difficiles ;
- Non-crédation de déchets ultimes ;
- Non-relargage des eaux atmosphériques collectées par la membrane en périphérie du site (capacité absorption/évaporation de l'ordre de 600 % son poids) ;
- Solution technico-économique équivalente aux solutions traditionnelles contraignantes ;
- Durée de protection moyenne comprise de 60 à 180 jours pouvant être prolongée par juxtaposition des traitements ;
- Impact visuel du projet positif par rapport à un bâchage traditionnel.

Chaque chantier ayant ses particularités, une check-liste permet d'évaluer toutes les contraintes inhérentes au site. En complément, une étude préalable est effectuée en laboratoire sur échantillons afin de livrer un produit adapté à la nature du support rencontré. EuroCover SP est appliqué à l'aide d'un équipement spécifique (EuroSeeder) comprenant une cuve, un malaxeur à pales et une pompe volumétrique. L'application est effectuée à partir d'une rampe ou d'un canon de projection ou au tuyau.



TRAITER SUR PLACE OU ÉVACUER ?



Plateforme Brézillon à destination des terres polluées d'Ile-de-France.

Les deux options présentent leurs avantages : le traitement hors site, après excavation, reste cher mais permet une réutilisation rapide du site. Les plateformes multimodales de tri et de revalorisation des terres créées par Biogénie, Brézillon, Extract Ecoterres, Envisan, GRC-Kallo, GRS Valtech, Hottelier Dépollution, Ortec, ou encore Suez permettent de traiter les terres polluées puis de réutiliser plutôt que de les enfouir.

Les techniques *in situ* ou sur site ont pour elles l'avantage d'un moindre coût mais peuvent exiger plus de temps. Certaines sociétés comme Antea Group, Soleo Services ou ATI Services cherchent à les promouvoir pour cette raison. « Le traitement hors site restera majoritaire malgré son coût car il est simple et rapide, or beaucoup de dépollutions se font dans le cadre de projets immobiliers pris par le temps. On utilise plutôt les techniques sur site et *in situ* sur des terrains en activités, de gros sites industriels qui n'ont pas d'impératif de temps, et où l'excavation est parfois impossible » estime cependant Alain Dumestre. Serpol, spécialisée dans les traitements *in situ* et sur site, est donc plutôt orientée vers des clients industriels. La société va cependant ouvrir deux plateformes de

traitement hors site, à Lyon et Strasbourg. Dans le cadre de la réhabilitation de friches industrielles Burgeap optimise dans ses plans de gestion et PCT associés les techniques de dépollution sur site et hors site à mettre en œuvre en fonction des attentes de ses clients (futurs usages, délai de programmation, coûts, économie circulaire...). Le projet est pensé dans sa globalité.

« Le traitement hors site est encore majoritaire car il permet de traiter de gros volumes dans des temps courts. Or les délais sont parfois tellement contraints que cela reste la seule solution possible. On sent toutefois qu'en combinant certaines techniques sur site, on peut minimiser les volumes à évacuer. Quand on peut le faire, cela atténue les coûts et améliore la valorisation, tout en évitant de mettre des matériaux sur les routes », estime Patrice Imberti. Suez propose également une solution intermédiaire : la société a déployé 14 plateformes de valorisation des terres polluées. Appelées Neoter®, elles sont positionnées dans des bassins industriels ou urbains qui présentent une forte activité de dépollution, voire sur le site du client lorsque sa taille le permet et que les délais imposés le justifient. « C'est une manière d'opérer les travaux hors du chantier au sens strict, d'y amener les terres et de les traiter. On peut alors optimiser les traitements pour exporter les terres dépolluées vers des filières moins coûteuses ou les valoriser pour des utilisations particulières. Neoter® favorise le traitement plutôt que l'élimination en centre de stockage, tout en permettant au chantier d'opérer avec excavation et transport, donc dans un délai court », explique Patrice Imberti.

Suez a pour sa part ouvert à Huy (près de Liège) une plateforme plus classique de regroupement et traitement destinée à accueillir les terres polluées provenant de chantiers de construction et d'assainissement en Belgique. Après tri et traitement, toutes ces terres seront valorisées dans des projets d'aménagement ou de génie civil.

Ce dernier est en effet destiné à répondre à une question d'ordre administratif – ce terrain est-il pollué ? – mais ne donne aucun élément quant à la faisabilité de la dépollution et au dimensionnement des moyens à déployer. « Colas Environnement réalise tout type de travaux de dépollution depuis plus de 35 ans et pour des dépollutions sur site/*in situ*, nous faisons des essais préalables depuis longtemps. Maintenant, c'est acté pour tous. Le PCT permet de rassurer le maître d'ouvrage, de "sécuriser" la dépollution en termes de coûts comme de délais. Même s'il reste illusoire dans notre métier de penser éliminer tous les aléas : chaque terrain est particulier » souligne-t-il. Alain Dumestre, chez Serpol, partage la même expérience. « Nous le faisons déjà sur les gros chantiers, même si ça ne s'appelait pas forcément PCT. L'aspect obligatoire va systématiser la pratique des pilotes, de l'anticipation, sur des chantiers

de taille moindre. C'est un engagement de sérieux », estime-t-il. Pour Patrice

Imberti, Suez Remédiation, « le PCT met au service du collectif un outil pour



Installation de prétraitement sous tente permettant d'optimiser en amont l'ensemble des phases de traitement. Chantier GRS Valtech.



ENVISAN INVESTIT SUR SON CENTRE DE TRAITEMENT DES TERRES À TOULON

En 2015, Envisan a inauguré son premier centre français de traitement de terres et sédiments (CPEM) en région PACA. Ce centre, implanté à Toulon, s'adresse aux maîtres d'ouvrage et aux entrepreneurs qui gèrent des projets comprenant des problématiques de pollution de déblais, de terres ou de sédiments.

Pour élargir son éventail de solutions de traitement et de valorisation, Envisan vient d'investir dans une installation de pointe qui permettra au CPEM d'orienter une plus grande part de matériaux vers des voies de valorisation. La nouvelle unité de traitement permet de procéder au lavage physico-chimique des terres et des sédiments qui présentent des contaminations élevées aux métaux lourds, hydrocarbures et PCB. Elle combine deux techniques séparatives : l'une par voie sèche qui permet d'isoler différentes fractions grenues valorisables, et l'autre par voie humide qui permet de concentrer les contaminants avec les fractions minérales fines non valorisables.

Doté de cette nouvelle unité, le CPEM sera en mesure de valoriser des matériaux qui, en PACA, étaient jusque-là exclusivement destinés aux installations de stockage de déchets non-dangereux et dangereux (ISDND, ISDD). Les matériaux (terres ou sédiments) qui arrivent dans cette unité sont séparés en plusieurs fractions : les sables et les particules fines résiduelles. Ils passent dans des hydrocyclones en série qui trient les sables suivant différentes coupures. Ces sables sont destinés à être utilisés sur des chantiers de voirie notamment. Les fines résiduelles sont flocculées

puis concentrées et déshydratées dans des filtres-presses à chambres. Les gâteaux de filtration ainsi obtenus contiennent tous les contaminants initialement présents dans le matériau introduit dans l'unité.

Correspondant en général à moins de 40 % du volume initial, ils sont alors destinés à une ISDND ou une ISDD, en fonction de la concentration de polluants qu'ils contiennent.

Le CPEM traite ensuite les eaux de process dans son installation de traitement des eaux. Ces eaux sont ensuite réinjectées dans le système ou utilisées sur site pour la lutte contre l'envol de poussières.



répondre à la taille et la complexité des chantiers et à l'exigence des donneurs d'ordre. Cette brique méthodologique permet de passer d'un concept à l'opération réelle. Suez est attaché à cette étape qui fait appel à des essais en laboratoires et des pilotes sur le terrain, car elle constitue un gage de réussite des opérations. En déterminant les paramètres de dimensionnement, le PCT permet de monter un projet cohérent afin d'atteindre l'objectif dans le délai imposé par le planning du client ». Assistera-t-on pour autant à l'émergence d'un nouveau marché, où interviendraient des acteurs spécialisés dans les études pilotes ? « C'est un vrai débat », estime Alain Dumestre qui pense cependant que les dépollueurs, qui vont mener les travaux, sont les mieux placés pour « savoir ce qu'il faut regarder sur un site ». Patrice Imberti est du même avis : « les entreprises de travaux ont une grosse part d'expertise à faire valoir à cette étape proche du terrain et des dimensionnements » affirme-t-il. Suez Remédiation dispose d'ailleurs de laboratoires et de moyens d'essais lui procurant une totale autonomie à cet égard. « Un gage de sérieux » selon lui.

Yves Guelorget, Directeur métier Environnement chez Antea Group précise : « le PCT est une vraie prestation

d'ingénierie, elle est donc à l'interface entre les études et les travaux de dépollution. Il est tout naturel, qu'à la fois les



A Petit-Couronne, Valgo s'apprête à combiner plusieurs méthodes de pompage pour se débarrasser des hydrocarbures flottants à la surface de la nappe. Chaque zone, selon ses caractéristiques, va être traitée par une technique particulière de récolte. Sont ainsi sollicités l'écémage "pur" pour les situations simples, l'écémage par bandes pour les couches plus visqueuses et le pompage-écémage.



entreprises d'ingénierie et de travaux s'emparent du sujet. Mais peu importe qui le fait, l'essentiel à ce stade d'un projet est de disposer de l'expérience et des moyens nécessaires permettant de sécuriser la suite des opérations. Ainsi, en fonction de la situation, les essais et le PCT sont déconnectés du Plan de gestion ou intégrés à cette démarche ».

Les sociétés importantes sont en effet toutes équipées pour réaliser des essais sur site et possèdent un laboratoire d'analyse comme Haemers Technologies, ou sont en train de s'en doter comme CAP Environnement, Colas Environnement, ou Soléo Services.

Haemers Technologies a, depuis de nombreuses années, réalisé le scaling-up en partant de la paillasse de laboratoire afin de déterminer les températures cibles et la cinétique de désorption, puis à travers un projet pilote avant de s'engager vers un full-scale. « Les tests de laboratoire ont toujours été indispensables pour réaliser la désorption thermique », souligne Aurélien Vandekerckhove chez Haemers Technologies.

La miniaturisation des technologies d'analyses représente un champ d'innovation important pour la caractérisation des sites et sols pollués. Les méthodes d'acquisitions et de traitement des données ont donc été repensées et certaines sociétés ont créé des



Traitement de surnageant par E2S, Extraction Séquencée de Surnageant, technique brevetée par Colas Environnement et traitement de la ZNS par bioventing. Réalisation Colas Environnement.

solutions de diagnostic des pollutions plus précises et plus rapides. C'est par exemple le cas d'Envisol dont la méthodologie scan 360° repose sur 3 piliers : un laboratoire mobile permettant des mesures sur site pour les grandes familles de polluants, une acquisition et visualisation numérique des données et un 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. Burgeap mène, de son côté deux types d'essais : en laboratoire et sur site. Par leur complémentarité, ces deux modes d'analyses vont aboutir à l'adoption de la ou les techniques les plus efficaces pour la remédiation d'un sol pollué et être intégrées dans le plan de conception des travaux. « Notre objectif est d'acquérir en toute indépendance le maximum d'informations dimensionnantes qui seront les clés de

PRÉVENIR PLUTÔT QUE GUÉRIR



Une seule goutte d'huile peut contaminer jusqu'à 600 litres d'eau, mais malheureusement, au quotidien, toutes les fuites de produit ne peuvent être évitées. Il est donc nécessaire de veiller à ce que cela n'engendre aucun problème. Pour éviter une pollution des sols et de l'eau par des substances chimiques ou toxiques, il faut prévoir en amont des solutions de stockage et de protection de l'environnement adéquates.

Denios propose aux entreprises et industries une large gamme de solutions de stockage de produits dangereux, comme des bacs de rétention et des conteneurs, ainsi que des absorbants pour intervenir en cas de fuites.

Afin d'éviter une contamination des sols et des nappes, les entreprises ont ainsi la possibilité de stocker et manipuler des substances polluantes directement dans des bungalows et conteneurs de stockage et de les déposer sur des bacs de rétention adaptés à tout type de produit. Le bac de rétention récupère les liquides écoulés suite à des opérations de soutirage ou de transvasement. Ainsi, les fuites peuvent être récupérées par exemple à l'aide d'absorbants, en toute sécurité sans risquer de pollution du sol. Denios propose également une large gamme d'absorbants et granulés pour acides, bases, huiles, solvants et hydrocarbures. Les absorbants peuvent être utilisés comme revêtements de sol préventifs, comme supports lors des travaux de soutirage, nettoyage ou de maintenance, ou pour l'absorption rapide de liquides écoulés en cas de fuites.



Traitement par sparging/venting des eaux souterraines impactées par des solvants chlorés et pesticides issus d'une ancienne décharge. Réalisation Serpol.

la bonne compréhension du contexte par les entreprises de travaux et donc la réussite des opérations de dépollution à venir », explique-t-on chez Burgeap. L'établissement du PCT et la réalisation des travaux pouvant faire l'objet de lots différents lors des appels d'offres, les sociétés de dépollution dotées de ce type d'outil peuvent d'ailleurs les mettre à profit pour proposer des services de réalisation d'essais pilotes, qu'elles mènent ou non les travaux ultérieurs. « Nous recevons de plus en plus de demandes pour faire des essais de faisabilité, de solvabilité, de plan de conception des travaux avant de se lancer dans la réalisation des techniques, explique par exemple Laurent Thannberger, directeur scientifique chez Valgo. Il s'agit

VALORISER LES FRACTIONS FINES

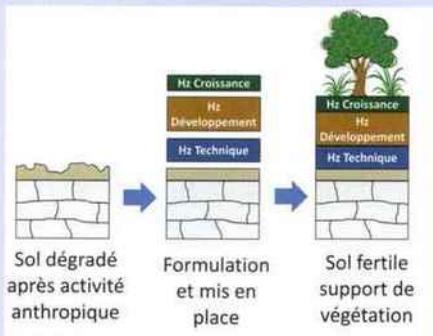


Schéma du procédé de génie pédologique mis en œuvre par Valterra Dépollution/Réhabilitation pour la réhabilitation agronomique de sites dégradés

Malgré le développement de techniques de dépollution *in situ* et sur site de plus en plus efficaces, l'excavation et le traitement hors site des sols plus ou moins contaminés restent souvent une solution privilégiée.

Pour répondre aux besoins de traitement hors site, de nombreuses plateformes ont été mises en place sur le territoire depuis quelques années. Ces plateformes permettent le tri des matériaux excavés selon la nature et les teneurs des contaminants ainsi que leur criblage pour isoler les fractions grossières (sables, graviers, granulats...) souvent peu contaminées et valorisables grâce à leurs propriétés géotechniques. Les fractions fines, parfois fortement contaminées, peuvent être envoyées en ISD ou traitées sur la plateforme pour réduire les concentrations en contaminants via des procédés biologiques ou encore de lavage. La décontamination partielle des fractions fines permet leur élimination en ISDND voire en ISDI, mais surtout, cela incite à leur valorisation. Toutefois, peu de filières sont actuellement opérationnelles, notamment à cause des propriétés variables des matériaux, de leur statut réglementaire de déchets ou du manque de connaissance des spécifications d'entrée dans les filières de valorisation...

L'une de ces filières est celle de la construction de sol fertile pour la réhabilitation de zones dégradées comme les friches industrielles

et urbaines ou encore pour la végétalisation de centre de stockage de déchets en fin de vie. Depuis une dizaine d'années, Valterra Dépollution/Réhabilitation a mis au point et optimise un procédé de génie pédologique breveté (VALTERRA/INRA/LSE n°0757039) permettant de construire des sols fertiles à partir de déchets et sous-produits industriels, dont les fractions fines des terres excavées dépolluées, dans le but de produire de la biomasse végétale (fibres ou énergie) ou encore de favoriser l'implantation de biodiversité sur des sites délaissés.

Ce procédé qui s'inscrit dans une démarche d'économie circulaire, présente le double avantage de proposer une nouvelle voie de valorisation à certains déchets tout en limitant l'emploi de terre végétale issue du décapage des sols agricoles et naturels. D'un point de vue technique, les sols construits sont composés de plusieurs horizons ayant chacun des fonctions particulières pour atteindre les objectifs de réhabilitation. Ils sont eux-mêmes constitués de la meilleure formulation possible de matériaux minéraux (terre excavée, sédiments, fine de carrières...) et organiques (compost, MIATE*, déchets verts...) disponibles.

L'horizon le plus en surface est l'horizon de croissance dont sa principale fonction est de proposer les meilleures conditions physico-chimiques pour faciliter la germination et l'implantation du couvert végétal. L'horizon sous-jacent est l'horizon de développement dédié à l'ancrage des racines et à la fourniture d'éléments nutritifs et d'eau à long terme. Sous ces deux horizons, un horizon technique peut être prévu. Il peut avoir trois objectifs distincts selon sa conception :

- un horizon hydrique qui permet de stocker une grande quantité d'eau et de la restituer aux plantes durant la période sèche,
- un horizon drainant qui permet à l'inverse d'éviter l'accumulation d'eau qui est préjudiciable pour certains végétaux,
- un horizon de confinement qui permet de limiter les transferts d'eau de la surface vers le sous-sol. Cela a le double intérêt de conserver l'eau dans les horizons supérieurs tout en limitant le transfert d'éventuels contaminants vers la nappe souterraine.

*MIATE = Matières d'Intérêt Agronomique issues du Traitement des Eaux.



Deux tentes de confinement de 9.000 m² ont été construites par Suez Remediation sur un site de l'industrie chimique fortement pollué par des hydrocarbures, solvants chlorés et des métaux datant des années 1950 pour limiter au maximum les nuisances olfactives et prétraiter les sols et les nappes par venting et sparging.

d'apporter des réponses beaucoup plus mesurées, dimensionnées, adaptées aux conditions réelles ».

RÉPONDRE À LA COMPLEXITÉ

La principale nouveauté réside cependant dans la complexité croissante des chantiers. « Les chantiers deviennent plus complexes, car les clients demandent d'aller chercher la pollution de plus en plus

profond. Ils veulent également des solutions de plus en plus abouties, et exigent des garanties sur les objectifs » constate par exemple Jean-Daniel Vilomet, Directeur France de Remea. Patrice Imberti chez Suez Remédiation observe lui aussi des chantiers de taille et de complexité croissante, et attribue l'exigence toujours plus forte des maîtres d'ouvrages à une courbe d'apprentissage générale. « Les uns et les autres comprennent mieux le métier, et

ont de plus pris conscience des impacts additionnels négatifs d'un chantier mal opéré » explique-t-il.

Par ailleurs, les opérations sont de plus en plus souvent confinées pour minimiser les inconvénients pour le voisinage. Comme l'explique Jean-Daniel Vilomet : « le niveau d'exigence en matière d'hygiène et sécurité augmente aussi. Cela nous amène à travailler de plus en plus sous tente, ou développer des procédés qui réduisent l'impact sur le voisinage, comme la maîtrise des poussières et des odeurs ». Une évolution confirmée par Jérôme Rheinbold chez Colas Environnement : « la dépollution sous tente se développe. Nous en proposons de plus en plus, et les maîtres d'ouvrage en demandent ». Même constatation chez Suez Remédiation : « le confinement sous tente, qui était encore anecdotique il y a 5-6 ans, est devenu courant », souligne Patrice Imberti.

Comment mener à bien des chantiers plus vastes et plus complexes qu'auparavant, en garantissant de plus les résultats, alors que les techniques disponibles restent peu ou prou les mêmes ? « C'est la combinaison des techniques qui permet de répondre. Chez Suez, nous sommes délibérément placés sur ce terrain. Combiner plusieurs techniques sous confinement représente d'ailleurs une complexité additionnelle », affirme Patrice Imberti. Jérôme Rheinbold

DÉSORPTION THERMIQUE : UNE TECHNIQUE PHYSICO-CHIMIQUE NON SÉLECTIVE EFFICACE

La désorption thermique est une technique de séparation "polluant/matrice du sol" en deux étapes. La première étape consiste à injecter de l'énergie par conduction dans le sol afin de provoquer l'évaporation du polluant, initialement sous forme liquide, solide, adsorbée ou vapeur. La deuxième étape consiste à récupérer les vapeurs issues de la première étape à travers un réseau d'aspiration mis en dépression. Les vapeurs sont soit dirigées vers une unité de traitement de vapeurs (mercure, solvants chlorés, dioxines, hydrocarbures lourds, etc...) soit les vapeurs sont réutilisées comme énergie pour l'étape 1 (hydrocarbures légers de type essence/diesel - afin de contribuer positivement au bilan énergétique et par corollaire, diminuer la facture). « A ce jour, l'apport d'énergie dans le sol par conduction - pour provoquer la volatilisation du polluant - peut reposer sur des résistances électriques ou des brûleurs », explique Aurélien Vandekerckhove.

Haemers Technologies a développé la désorption thermique avec des Smart Burners™, des brûleurs pouvant être alimentés avec du gaz naturel, propane ou diesel. La désorption thermique étant une technique physico-chimique non sélective efficace, les temps de traitement sont prévisibles. Les brûleurs sont dimensionnés de

sorte que le profil de température le long du tube de chauffe soit inférieur à 550 °C - contrainte technique de l'acier. Selon cette contrainte, tous les polluants ayant une température d'ébullition inférieure à 550 °C (mercure, solvants chlorés, etc...) et l'ensemble des composés organiques (la liaison carbone-carbone se casse à des températures inférieures à 550 °C) sont "désorbables". Haemers Technologies, en partenariat avec Biogénie®, a achevé il y a quelques mois un chantier de 2.500 m³ chargé en mercure sous un bâtiment dans la périphérie de Paris. L'installation de désorption a été dimensionnée de façon à évaporer les différentes formes de mercure et les diriger vers une unité de traitement de vapeur. Les vapeurs ont été condensées (refroidies à travers des échangeurs de chaleur) et le mercure a été séparé de l'eau. Le produit final de la désorption est la récupération d'un condensat 'eau/mercure' séparable par décantation. « La solution alternative aurait été une démolition du bâtiment/une excavation/un remblaiement et la reconstruction du site », souligne Aurélien Vandekerckhove. De même, le futur site des jeux olympiques de 2022 sur une ancienne aciérie fait l'objet d'un traitement en plusieurs étapes (765 brûleurs pour 11.000 m²).



L'ASSISTANCE À MAÎTRISE D'OUVRAGE : UN RÔLE ESSENTIEL

« La grande diversité des techniques rend difficile la sélection d'un procédé pour assurer la dépollution d'un site particulier, souligne Hubert Bonin chez HUB Environnement. Pour les maîtres d'ouvrages, il est parfois difficile de s'y retrouver, car chaque prestataire vante les mérites de ses propres technologies. Par ailleurs, la méthodologie nationale en matière de gestion des sites pollués est de plus en plus lourde et complexe, il en résulte que de nombreux maîtres d'ouvrages ont l'impression de payer plusieurs fois les mêmes prestations. De plus, elle est longue à mettre en œuvre avec des étapes successives pas toujours nécessaires; passer par des consultants aguerris et expérimentés permet des gains de temps et des économies substantielles ».

La liberté et la réactivité de certains AMO indépendants génère un climat propice à l'innovation, et « c'est cette catégorie de prestataires qui est à l'origine des plus grandes innovations », analyse Hubert Bonin.

Ainsi, HUB Environnement a lancé pour la première fois en 2010 une plateforme interne de traitement de terres polluées sur la ZAC

emblématique de « Novaciéries » à Saint Chamond (anciennes usines GIAT Industries). Cette plateforme fixe de traitement sur site a permis le traitement de 100.000 tonnes de terres polluées qui ont été directement valorisées sur le site de cette ZAC de 80 ha. De même, HUB Environnement a initié l'application de procédés tels que le lavage sur site permettant la production de sables et de graviers réutilisés dans le cadre de la reconversion immobilière. Ce procédé par lavage est difficile à mettre en œuvre sur site et HUB Environnement s'est fait une spécialité de cette démarche en économie circulaire pour transformer la terre polluée en matière première pour la reconstruction...

Aujourd'hui HUB Environnement œuvre pour l'application de nouveaux procédés de confinement associés à de la phyto-stabilisation en travaillant très en amont avec les architectes. Ainsi, le rôle d'expert et d'AMO totalement indépendants est-il particulièrement recherché pour assurer la reconversion immobilière des friches dans de bonnes conditions économiques.



© HUB Environnement

partage cet avis: « les friches industrielles présentent souvent des pollutions multiples, il faut donc mettre en œuvre une combinaison de techniques ». Ainsi de Valgo, qui s'attache à la dépollution de 90 hectares de raffinerie à Petit-Couronne. « Il y a deux ans et demi, nous avons commencé à tester différentes techniques sur une petite zone de 1.000 m². En avançant dans la connaissance, nous nous sommes aperçus qu'il fallait multiplier les réponses. A cette échelle, les zones fonctionnent différemment en termes géologiques, hydrogéologiques ou de natures des polluants. On qualifie donc zone par zone, en fonction d'un certain nombre de critères, les techniques de récupération des polluants » explique Laurent Thannberger, chez Valgo.

« Les techniques disponibles constituent autant de cartes, ayant chacune ses avantages, qu'il faut savoir sortir au bon moment. Certaines, très puissantes mais chères (techniques physiques, oxydation, désorption, techniques électriques) conviennent pour les zones sources, des endroits très bien ciblés où on va traiter

beaucoup de masse. A l'inverse, pour les panaches avec des teneurs faibles en polluant et de grandes étendues, on peut se diriger vers des techniques de traitement biologique, de pompage ou autres. C'est toute l'expérience et l'intelligence du dépollueur qui permettent de combiner les techniques dans l'espace et dans le temps pour obtenir le meilleur résultat en optimisant les coûts », renchérit Alain Dumestre chez Serpol.

Le procédé d'échange ionique est un processus physico-chimique durant lequel des ions indésirables sont fixés par la résine et remplacés par d'autres ions inoffensifs. « L'utilisation de cette technique via des résines sélectives permet de traiter dans des délais rapides et avec des rendements élevés (plus de 90 %) les métaux solubles, les halogénures, les sulfates, les nitrates et les cyanures », explique Bertrand Gallet, Sales Manager chez Puro-lite. Mais le procédé est aussi utilisé pour l'enlèvement de certains polluants organiques.

Dans le domaine des perchlorates, par exemple, qui résultent de nombreuses

applications industrielles notamment dans les domaines militaires ou l'aérospatiale, les traitements sur la base de résines spécifiques ont montré de bonnes performances pour la rétention des ions perchlorate. « De nombreuses références utilisant les résines A532E de Puro-lite sont publiques en Californie (San Gabriel Valley Water Company, Golden State water service, etc.) souligne Bertrand Gallet. Dans la région bordelaise et à Toulouse, plusieurs gros chantiers font appels aux résines échangeuses d'ions pour traiter des perchlorates. Les fortes capacités des résines et leur robustesse dans les procédés en ont donc d'ailleurs fait la clef de la dépollution des nappes ».

De même, les eaux qui contiennent des chromates peuvent être traitées avec les résines A600E/9149 de Puro-lite tout comme celle contenant du cuivre, du plomb ou du mercure avec les résines S930Plus. « C'est une alternative intéressante qui doit être explorée systématiquement sur la base de critères techniques et économiques », souligne Bertrand Gallet qui signale également des projets



intéressants en Italie sur l'arsenic et pour les perfluoro-alkyles pour lesquels les résines PFA694E donnent des résultats prometteurs. « Généralement, la facilité de mise en œuvre et la grande sélectivité des résines permet une utilisation en finition. On les retrouve ainsi pour fixer les métaux lourds, par exemple en sortie de STEP ou après une précipitation ».

RAFFINERIES: DES SITES COMPLEXES PAR NATURE

Pour le compte de la société Brownfields, spécialisée dans la reconversion des sites pollués, Serpol traite les 80 hectares du site de l'ancienne raffinerie de

Reichstett, près de Strasbourg, qui rouvrira sous le nom d'EcoParc Rhénan en 2020. Différentes techniques sont appelées à se succéder. Après isolement du site pour coulage d'une paroi de ciment bentonite jusqu'à cinq mètres de profondeur, les matériaux solides à traiter sont excavés et triés, libérant la surface de la nappe à l'air libre. Les hydrocarbures surnageants, confinés par des barrages flottants, sont alors écrémés par des skimmers – des pompes montées sur flotteurs – pneumatiques. Des engins de chantier brassent régulièrement le lit (sable et gravier) sous la nappe pour remobiliser les hydrocarbures piégés

avant un nouvel écrémage. Les eaux, chargées en hydrocarbures dissous, BTEX et ETBE, sont elles-mêmes traitées sur site par une installation automatique combinant successivement décantation/écrémage, filtrage sur charbon actif et captation des liquides légers. Une partie des matériaux solides extraits sera traitée sur site par landfarming. De son côté, Züblin gère le projet de reconversion de l'ancienne raffinerie de la société Bayernoil AG à Ingolstadt en Bavière qui présente des pollutions typiques des raffineries avec des BTEX et HC mais aussi des composés per et polyfluorés (PFC) (cf. encadré). Pour



DÉTERMINER LES TECHNIQUES DE DÉPOLLUTION LES PLUS ADAPTÉES

HPC International est spécialisée dans la gestion des sites pollués et plus particulièrement dans les traitements microbiologiques *in-situ* des eaux souterraines et sols par BAND (Bio-Atténuation Naturelle Dynamisée), afin d'exploiter les forces naturelles biologiques. « *Nous sommes les seuls à donner des garanties sur les résultats des traitements dans un délai donné pour les coûts les plus bas, dès lors qu'une étude de faisabilité technico-économique a pu être réalisée* », explique Frank Karg, Président d'HPC International et qui capitalise plus de 33 années d'expériences dans les traitements des sites pollués. L'une des recettes mises en œuvre par HPC International consiste à recourir aux biotechnologies, notamment à la PCR (Polymerase Chain Reaction), afin de sélectionner génétiquement les bactéries d'un site qui possèdent des séquences ADN les plus à même de produire des enzymes de destruction des polluants concernés (COHV, BTEX, HAP, HET, etc.), ainsi que leurs métabolites toxiques (par exemple le Chlorure de Vinyle en provenance de la dégradation du PCE, TCE et DCE,

etc.) ou les produits amino-nitro-aromatiques en provenance du TNT, DNT, etc. Des solutions bactériologiques et des nutriments sont ensuite injectés en sous-sol un peu à la manière d'une vaccination du sous-sol.

D'autres applications, comme les tests éco-toxicologiques microbiologiques, le fractionnement d'isotopes pour déterminer les vitesses de biodégradation (par ex. en µg/l/jour), etc. font partie des spécialisations déployées par HPC International pour déterminer les moyens de dépollution à moindre coût. De même, les polluants très spéciaux comme la chimie militaire et pharmaceutique et les études toxicologiques des risques font également partie des savoir-faire déployés par HPC International en France mais aussi en Allemagne, Algérie, Amérique Latine, Balkan, etc. via le Groupe HPC AG et la Sté Joint-Venture Inogen.

HPC International travaille surtout pour l'industrie pharmaceutique, chimique, électronique, électromécanique et d'armement, ainsi que directement pour les administrations et les gouvernements.

Julien Bendler, Responsable d'agence adjoint chez Züblin, le traitement des PFC devrait faire partie des prochaines "révolutions" en matière de dépollution des sites en France et en Europe.

A Petit-Couronne (Seine-Maritime), Valgo s'apprête à combiner plusieurs méthodes de pompage pour se débarrasser des hydrocarbures flottants à la surface de la nappe. Chaque zone, selon ses caractéristiques, va être traitée par une technique particulière de récolte. Sont ainsi sollicités: l'écrémage "pur" (pompes écrémeuses prélevant la partie supérieure de la nappe) pour les situations simples, l'écrémage par bandes pour les couches plus visqueuses, le pompage-écrémage, qui consiste à rabattre le niveau d'eau de la nappe pour créer un creux augmentant l'épaisseur d'hydrocarbures flottants, voire des tranchées drainantes permettant de capter un fin film en surface sur une grande section lorsqu'un puits ne permet pas de capter le polluant sur une surface suffisante. « *En fonction de la vitesse de récolte, on peut adapter la technique. Nous avons constaté lors des essais qu'il n'est pas nécessaire de laisser les pompes toujours au même endroit. Mieux vaut travailler quelques semaines à un poste puis se déplacer pendant que la nappe se "réalimente" localement en polluant. C'est ce qui permet de récupérer le maximum d'hydrocarbures. C'est tellement inhabituel qu'il a fallu le démontrer à la DREAL* » se souvient Laurent Thannberger.

Valgo travaille selon un modèle

économique particulier: l'entreprise a racheté le site de la raffinerie, décontaminé et démolit les installations et s'apprête, après avoir dépollué le sol et la nappe, à y développer elle-même un projet immobilier industriel. Ce modèle intégré est-il amené à se généraliser? « *C'est unique à notre connaissance. Il y a quatre ans, nous avons fait le pari que dépollueurs et développeurs immobiliers pouvaient collaborer sur un même site. Cette nouvelle façon de voir commence à intéresser mais reste un marché de niche* » tempère Laurent Thannberger. En termes de R&D, Valgo utilise le terrain d'essais que constitue son site de Petit-Couronne pour, par exemple, déterminer en quoi les outils classiques d'imagerie souterraine, utilisés en géotechnique ou en recherche pétrolière, pourraient servir à la dépollution (projet Geoker). « *En partenariat avec des bureaux d'études et des laboratoires universitaires, nous voulons mieux comprendre et modéliser une technique "écoulée": le venting. Il s'agit au final de mieux dimensionner les filtres* », explique également Laurent Thannberger.

Utilisant les mêmes techniques que ses confrères, Colas Environnement se démarque cependant grâce à une option originale. « *Nos systèmes de dépollution sont visualisables à distance car les containers de traitement automatique sont connectés à Internet. D'abord pour nous permettre un contrôle à distance, mais aussi pour donner accès au client, qui peut à tout moment visualiser*

le fonctionnement du dispositif et l'état d'avancement de la dépollution. Nous avons toujours garanti le fonctionnement de nos unités et la transparence de nos opérations », souligne Jérôme Rheinbold. L'entreprise a présenté à Pollutec un chantier de dépollution d'une raffinerie à Dunkerque. Afin d'élaborer un PCT, des essais pilotes de cinq techniques différentes ont été mis en place. Colas Environnement se propose de traiter les hydrocarbures par oxydation. Originalité de la démarche: l'utilisation d'un maquette BIM (Building and information management). « *C'est une nouvelle façon de gérer les travaux à venir en visualisant le chantier en 3D grâce au numérique* », explique Jérôme Rheinbold.

A CHAQUE POLLUTION SA SOLUTION

Depuis 2017, Remea dépollue pour un ancien site industriel impacté par la chimie des pigments et situé à la frontière franco-helvético-germanique. Il s'agit de débarrasser le sol et la nappe de polluants comme des métaux lourds et des solvants principalement organo-chlorés. Après excavation, les sols sont traités par une installation de lavage mobilisée sur site qui permet de recycler plus de 90 % de la masse initiale de sols. Ces derniers sont alors remblayés alors que moins de 10 % des matériaux extraits sont éliminés. L'eau de lavage est ensuite traitée et réutilisée en boucle. Toutes ces opérations sont réalisées sous tente étanche pour préserver le



© GRC-Kallo

Les unités de lavage physico-chimique de GRC-Kallo restent un outil adapté à la plupart des pollutions rencontrées sur des sols sableux ou faiblement limoneux. Pour mémoire, le lavage physico-chimique a pour objectif de concentrer les polluants dans la fraction fine (inf. 63 µm) et de permettre la réutilisation des fractions sableuses du sol concerné.

voisinage... « C'est un chantier remarquable par l'ampleur des terrassements : jusqu'à 15 mètres à l'abri d'une paroi de pieux et ensuite jusqu'à 20 mètres avec notre technique "maison" de terrassement par substitution, qui permet de se passer de soutènement », souligne Jean-Daniel Vilomet.

En Savoie, Remea combine sur un même site deux techniques de soil mixing, dont sa propre méthode des "empreintes", pour venir à bout de solvants chlorés. « De manière générale, nous cherchons à réaliser dans les sols les réactions chimiques que nous obtenons au laboratoire. Nous sommes donc toujours à recherche des moyens d'obtenir le meilleur contact entre le réactif, le polluant et le sol », explique Jean-Daniel Vilomet. La société utilise par exemple des tubes à manchette pour maîtriser la pression d'injection et la quantité de réactifs apportés dans le sol. Elle développe également des procédures améliorées de soil mixing, dont l'insertion de réactif par "empreinte" (un brevet est en cours de dépôt) : une réserve de réactif est insérée dans le sol, et sera vectorisée par l'eau souterraine. Remea (avec l'Utinam de Besançon) s'intéresse également à l'utilisation de mousses comme vecteurs capables de propager horizontalement les réactifs dans des sols poreux secs.

Dans l'Isère, Serpol a été chargée du traitement d'eaux souterraines polluées issues de l'ancienne décharge d'une plateforme chimique. Après analyse et modélisation de la pollution présente sur le site, la firme a installé une unité pilote de traitement. Cette dernière vient d'achever la démonstration de l'efficacité d'un procédé par sparging/venting : de l'air est injecté dans la nappe, se charge de polluants volatils (solvants chlorés et pesticides) et est ré-aspiré à la surface pour passer sur des filtres à charbon actifs avant rejet. Le traitement à grande échelle est en cours d'installation. Par ailleurs, comme certains de ses confrères, Serpol développe actuellement, avec l'université de Bordeaux et Renault, des techniques à base de mousse de tensio-actifs pour traiter les nappes. Elles ont été présentées à Pollutec en décembre 2018. Pour sa part, Suez Remédiation a remporté en Europe du Nord plusieurs appels d'offres pour le traitement de sols pollués aux goudrons acides, devenant le principal opérateur de ce type de chantiers. « L'excavation des terres est compliquée par les émanations potentiellement acides de ces sols : il faut donc disposer d'un procédé qui neutralise en permanence ces gaz, parfois sous confinement. Les questions d'hygiène et de sécurité sont essentielles sur ce type d'opérations,

pour garantir tant la santé des intervenants que la protection de l'environnement. Comme les goudrons ne peuvent pas toujours être traités sur site, il faut aussi savoir les neutraliser à la chaux avant de les envoyer sur la route... après avoir trouvé une filière capable de les accepter », explique Patrice Imberti. Un exemple : le site de construction d'un tronçon d'autoroute à Rotterdam, qui passe sur une ancienne fosse de stockage de goudrons où des déversements sauvages ont été effectués pendant de nombreuses années. Le sol est contaminé avec des métaux lourds et des HAP (Hydrocarbures Aromatiques polycycliques), ainsi que de l'amiante. Plus de 80.000 tonnes de terres seront finalement excavées et traitées. Les eaux issues de l'excavation sont traitées sur place grâce à des unités mobiles.

Suez Remédiation intervient aussi sur un site de l'industrie chimique datant des années 1950 et en cours de reconversion. Les sols sont fortement pollués par des hydrocarbures, chlorés et des métaux. Deux tentes de confinement de 9.000 m² ont été construites pour limiter au maximum les nuisances olfactives et pré-traiter les sols et les nappes par venting (aspiration des COV) et sparging (injection d'air pour récupérer les polluants). Environ 80.000 m³ de terres polluées seront excavées et orientées vers des filières de traitement, notamment sur une plateforme Neoter pour optimiser leur réemploi.

Enfin, la société a été chargée de la dépollution de 400 hectares de lagons à Al Karaana, qui recevaient les eaux usées - non traitées - de la zone industrielle de Doha (Qatar). « Ici, la complexité est liée à l'échelle. Entre autres solutions, nous avons mis en œuvre une unité de désorption thermique qui a été montée, testée et vérifiée aux Pays-Bas, puis mise en conteneurs et envoyée au Qatar » souligne Patrice Imberti. En cours depuis plusieurs mois, le chantier devrait s'achever mi-2020. ●