

# upds MAG

LE MAGAZINE DES PROFESSIONNELS  
DE LA DÉPOLLUTION DES SITES



Union des Professionnels  
de la Dépollution des Sites.

// H&S

Les données accidentologie  
du 1<sup>er</sup> semestre 2019

// REX

DDT : un chantier hors norme !  
Fuite de GPL : gestion d'une  
urgence !

// DONNÉES ÉCONOMIQUES

La dépollution des sols,  
un marché atone ?



DOSSIER

L'INGÉNIERIE AU SERVICE  
DE LA GESTION DES SITES  
ET SOLS POLLUÉS

# // CALENDRIER

## SOMMAIRE

Edito // p.3

Hygiène & sécurité // p.4

Accidentologie du 1<sup>er</sup> semestre 2019

Dossier « L'ingénierie au service de la gestion des Sites et Sols Pollués » // p.6

Recherche // p.23

Chantiers // p.26

DDT : un chantier hors norme à Angoulême

Fuite de GPL : gestion d'une situation d'urgence

Données économiques // p.32

L'activité des adhérents de l'UPDS

La dépollution des sols, un marché atone ?

Actualités // p.36



Union des Professionnels  
de la Dépollution des Sites.

UPDS MAG n°7 Novembre 2019

Magazine édité par l'UPDS - Union des professionnels de la dépollution des sites  
183, avenue Georges Clémenceau  
92000 NANTERRE

[www.upds.org](http://www.upds.org)

#### Conception

Everbrand 182, avenue Charles de Gaulle,  
92200 Neuilly-sur-Seine

#### Réalisation

UPDS, Alban de La Hougue

#### Collaboration

ADEME, ANTEAGROUP, BURGEAP, COLAS ENVIRONNEMENT, EACM, ERM, HYDRE-KA-ENOVEO, RAMBOLL, RENAULT, SERPOL, SNPE, SOLEO SERVICES, TAUW FRANCE

#### Comité de rédaction

Damien FAISAN, Jean-François KALCK, Christel de LA HOUGUE, Jérôme RHEIN-BOLD.

#### Crédit photo

@UPDS, @COLAS ENVIRONNEMENT, @RAMBOLL, @SERPOL, @ERM, @TAUW, @EACM, @BURGEAP, @SNPE, @ANTEAGROUP.



@upds\_syndicat



[www.linkedin.upds.org](http://www.linkedin.upds.org)



[www.videos.upds.org](http://www.videos.upds.org)



## 4<sup>ÈMES</sup> RENCONTRES NATIONALES DE LA RECHERCHE SSP

26 et 27 novembre 2019 à Paris.



## SAVE THE DATE

6<sup>ème</sup> édition des journées techniques nationales « Reconvertir les friches polluées » de l'ADEME

24 et 25 mars 2020, Paris.

# // CONTACTEZ-NOUS!

Pour toute proposition de sujet ou demande d'information : [updsmag@upds.org](mailto:updsmag@upds.org)

## // EDITO



Franck BOUCHÉ  
Président de l'UPDS

Chers lecteurs, chers adhérents de l'UPDS,

Notre secteur d'activité est par essence pluridisciplinaire. Chaque chantier, chaque site, est une problématique nouvelle et unique. De nombreuses compétences sont sollicitées tous les jours dans nos bureaux d'études et entreprises de travaux. C'est ce qui fait, à mon avis, la beauté de notre métier, mais aussi sa difficulté.

Nos clients, à juste titre, souhaitent maîtriser les coûts et les délais des chantiers. Par ailleurs, les objectifs de réhabilitation fixés dans les arrêtés préfectoraux sont parfois difficiles à atteindre, compte tenu des limites techniques liées aux méthodes de traitement et à leur domaine d'application. Concilier ces exigences contractuelles, techniques et réglementaires représente souvent un défi et nos salariés souhaiteraient parfois disposer d'une boule de cristal qui leur permettrait de supprimer l'incertitude inhérente à la complexité de notre objet d'étude.

Hélas, le secteur des sites et sols pollués s'accorde mal avec la standardisation. Laisser croire à un client que son projet est maîtrisé alors que l'on manque de données fiables, engendre in fine de nombreuses frustrations de part et d'autre.

Pour répondre à cette complexité et améliorer la situation, notre profession a œuvré avec l'ensemble des parties prenantes lors des travaux

de refonte de la méthodologie de gestion des sites et sols pollués afin de faire émerger la notion de Plan de Conception des Travaux (PCT). Le PCT, dont le guide méthodologique vient d'être publié par le ministère en charge de l'environnement, permet, en alliant étude d'avant-projet (B120) et réalisation d'essais de laboratoire (B111) et/ou de terrain (B112), de replacer l'ingénierie de faisabilité au centre des préoccupations et de limiter les incertitudes inhérentes au traitement des sols et des eaux souterraines.

Loin de la boule de cristal, le PCT est une approche « gagnant/gagnant ». Les donneurs d'ordre gagnent en confiance dans leur processus d'achat. Les bureaux d'études disposent d'éléments factuels dans le cadre de leurs missions de conseil et d'accompagnement. Les entreprises de travaux éprouvent leurs solutions techniques dans les conditions du site. Le PCT permet également de renforcer la coopération entre les différents acteurs et constitue un formidable moteur pour l'innovation.

Les travaux présentés par nos adhérents dans les pages qui suivent illustrent l'appropriation de cette démarche constructive et positive du PCT, qui permet de remettre l'ingénierie, l'innovation et la confiance au cœur de notre métier des sites et sols pollués !

Un grand merci à tous les adhérents qui ont apporté leur contribution !

Bonne lecture !

Franck BOUCHÉ  
Président de l'UPDS

## // HYGIÈNE &amp; SÉCURITÉ

## ACCIDENTOLOGIE DU 1<sup>ER</sup> SEMESTRE 2019 CHEZ LES ADHÉRENTS DE L'UPDS

La collecte des données accidentologie des adhérents de l'UPDS pour le premier semestre 2019 concerne 42 adhérents, représentant 2281 salariés :

- 26 bureaux d'études, soit 1240 salariés ;
- 16 entreprises de travaux de dépollution, soit 1041 salariés.

Les données de l'année 2018 ont été mises à jour en fonction des dernières données fournies par les adhérents, sans en changer sur le fond les tendances.

### Un nombre d'accidents du travail préoccupant sur ce premier semestre

Le nombre d'accidents sur ce premier semestre 2019 est malheureusement élevé. En tendance annuelle, le nombre d'accidents avec arrêt augmenterait de 23%. Cette aug-

mentation est principalement liée aux données du collège Ingénierie (+28%) avec des accidents liés à la manutention manuelle ou à des chutes de plain-pied générant principalement des blessures au niveau des mains. Seul point de satisfaction, le nombre d'accidents de trajet du collège Ingénierie serait quant à lui en nette diminution par rapport aux années précédentes. Espérons que cette tendance s'améliore au deuxième semestre !

### Un TG 2019 qui retrouve les niveaux de 2016 et 2017.

Le taux de gravité de l'UPDS retrouve, au premier semestre 2019, le niveau des années 2016 et 2017 pour les 2 collèges.

Au premier semestre 2019, le TG du collège Travaux se situe à 0,24 contre 0,11 pour le collège ingénierie indiquant clairement que les accidents déclarés lors de phases de tra-

voux sont plus graves et conduisent à des arrêts de travail plus longs (en moyenne 28 jours d'arrêt par accident, contre 12 pour le collège ingénierie). La manutention manuelle et les chutes de plain-pied sont encore à l'origine des principales blessures dont le siège est majoritairement au niveau des membres inférieurs.

L'écart de TG entre ingénierie et travaux semble toutefois se resserrer années après années avec une augmentation du TG côté ingénierie.

### Enregistrement des incidents sur chantier par le collège Travaux ?

De façon surprenante, le TF1 et surtout le TF2 calculés pour le collège Travaux sont inférieurs à ceux du collège Ingénierie alors même que le TG est très supérieur et qu'aucun accident conduisant à un nombre très élevé de jours d'arrêt n'est à déplorer au sein du collège Travaux.

Totalité de l'UPDS									
Année	TF1	TF2	Nb de jrs d'arrêt liés aux AAA*	TG	ASA	AAA	ASA+AAA	Nombre d'accidents de trajet	Nombre de décès
2016	7,15	20,27	618	0,18	44	24	68	22	0
2017	5,74	17,77	616	0,17	44	21	65	40	0
<b>2018</b>	<b>7,39</b>	<b>19,89</b>	<b>320</b>	<b>0,09</b>	<b>44</b>	<b>26</b>	<b>70</b>	<b>40</b>	<b>0</b>
<b>2019-S1</b>	<b>8,73</b>	<b>21,82</b>	<b>302</b>	<b>0,16</b>	<b>24</b>	<b>16</b>	<b>40</b>	<b>12</b>	<b>0</b>

\* Ce nombre n'inclut pas les jours d'arrêts liés aux accidents de trajet.



Probablement est-ce un signe qu'il faut re-sensibiliser les salariés du collège travaux sur la déclaration de tous les soins et incidents les concernant. En effet, ceux-ci peuvent avoir tendance à accorder moins d'importance à leurs blessures sur chantier lorsqu'elles paraissent mineures et ne remettent pas en cause leur capacité à réaliser les tâches qui leurs sont confiées.

## Sensibiliser les salariés à la sécurité.

Ainsi, il apparaît indispensable en 2019 d'augmenter significativement les efforts en matière d'Hygiène et Sécurité notamment par des actions de formation à la sécurité auprès des salariés et de leur encadrement. En effet, c'est en limitant les risques de petits accidents qu'on travaille à éviter les risques d'accidents graves !

La commission HSE de l'UPDS reste ouverte à tous les adhérents pour partager les retours d'expérience et les bonnes pratiques. Plusieurs fiches (dont l'accès est réservé aux adhérents) ont ainsi été mises en ligne récemment.

Christel de LA HOUGUE, UPDS

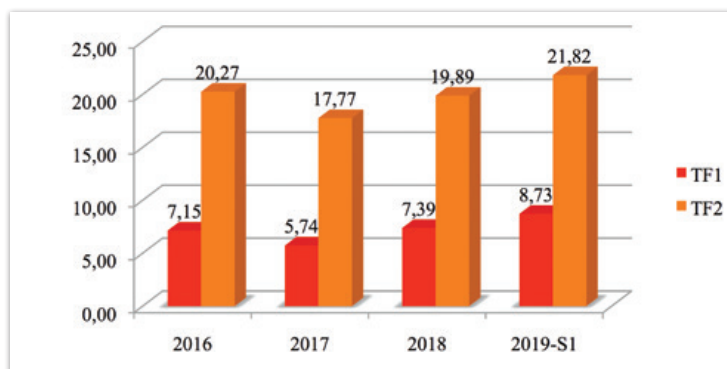
Collège ingénierie									
Année	TF1	TF2	Nb de jrs d'arrêt liés aux AAA*	TG	ASA	AAA	ASA+AAA	Nombre d'accidents de trajet	Nombre de décès
2016	7,04	23,83	154	0,08	31	13	44	20	0
2017	5,88	16,56	166	0,09	20	11	31	28	0
<b>2018</b>	<b>7,19</b>	<b>22,08</b>	<b>145</b>	<b>0,07</b>	<b>29</b>	<b>14</b>	<b>43</b>	<b>26</b>	<b>0</b>
<b>2019-S1</b>	<b>9,03</b>	<b>25,09</b>	<b>105</b>	<b>0,11</b>	<b>16</b>	<b>9</b>	<b>25</b>	<b>6</b>	<b>0</b>

\* Ce nombre n'inclut pas les jours d'arrêts liés aux accidents de trajet.

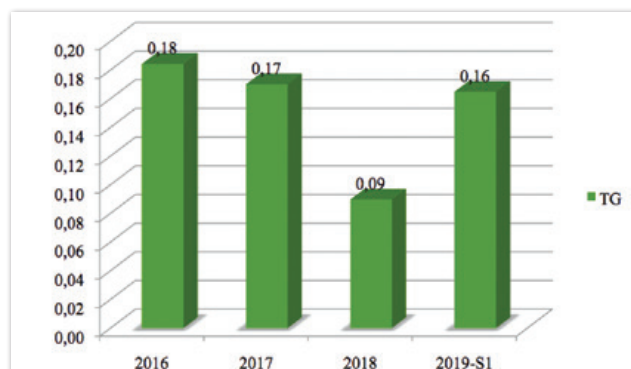
Collège travaux									
Année	TF1	TF2	Nb de jrs d'arrêt liés aux AAA*	TG	ASA	AAA	ASA+AAA	Nombre d'accidents de trajet	Nombre de décès
2016	7,29	15,90	464	0,31	13	11	24	2	0
2017	5,60	19,04	450	0,25	24	10	34	12	0
<b>2018</b>	<b>7,64</b>	<b>17,18</b>	<b>175</b>	<b>0,11</b>	<b>14</b>	<b>12</b>	<b>27</b>	<b>14</b>	<b>0</b>
<b>2019-S1</b>	<b>8,37</b>	<b>17,93</b>	<b>197</b>	<b>0,24</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>15</b>	<b>6</b>	<b>0</b>

\* Ce nombre n'inclut pas les jours d'arrêts liés aux accidents de trajet.

Comparaison des indicateurs TF1 et TF2 pour la totalité de l'UPDS



Comparaison des indicateurs TG pour la totalité de l'UPDS





## DOSSIER

# L'INGÉNIERIE AU SERVICE DE LA GESTION DES SITES ET SOLS POLLUÉS

---

## // RETOUR D'EXPÉRIENCE

Le PCT est la brique de conception entre les « études » et les « travaux ». Cette étape est indispensable pour sécuriser l'atteinte des objectifs en phase travaux, mais il ne s'agit pas d'un raisonnement en tout ou rien. Il est donc important de positionner le curseur de la façon la plus optimisée possible.

### PCT, l'intérêt de la proportionnalité aux enjeux

Le PCT consiste à obtenir des informations nécessaires à la conception et au dimensionnement des travaux de dépollution. La démarche est principalement la suivante : ingénierie de conception du PCT, essai en laboratoire et/ou pilote sur site, interprétation des données. Elle a pour objectif de s'assurer de la réussite des travaux de dépollution. Cependant, s'assurer de la réussite ne signifie pas s'affranchir de l'ensemble des aléas. En effet, il est impossible de réduire complètement l'incertitude sur l'ensemble des paramètres

régissant une dépollution, et en premier lieu, la répartition spatiale ainsi que le gradient de concentration des composés à traiter. **L'objectif du PCT est donc de réduire significativement, et jusqu'à un niveau acceptable pour le Maître d'Ouvrage, l'aléa sur le coût de réalisation des travaux.** Il est donc pertinent d'identifier les moyens à mettre en œuvre (essai en laboratoire, pilote sur site) permettant de satisfaire cet objectif sans engager des coûts d'études de conception disproportionnés.

Toutefois, un PCT ne se conçoit pas uniquement sur une base technico-économique mais également, et avant tout, selon les enjeux du Maître d'Ouvrage (délais, aspects contractuels et politiques,...). C'est pourquoi il est essentiel que ce dernier soit impliqué dans la définition des objectifs du PCT.

L'exemple ci-après illustre la mise en œuvre de moyens importants mais nécessaires compte-tenu des enjeux.

Pour réduire l'aléa, il faut collecter de l'information, et cela nécessite des moyens, notamment financiers. Cependant il n'y a pas de relation linéaire entre coût des études de conception, quantité d'information collectée et réduction de l'aléa sur le coût de réalisation des travaux. Chaque cas est particulier, néanmoins la courbe de tendance suivante permet d'illustrer ce propos.

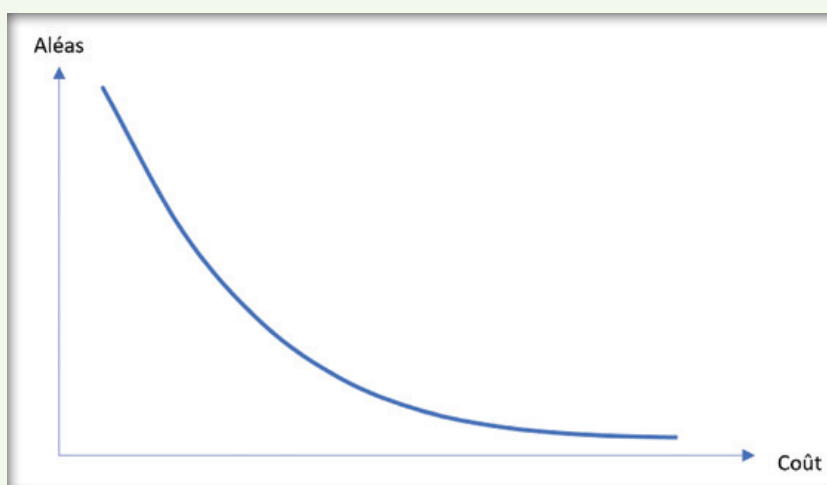


Figure 1 – Exemple de l'évolution des aléas sur les coûts de réalisation des travaux en fonction du coût des études de conception



Dans le cadre de la cessation d'activité d'un site industriel pétrolier de plus de 90 ha, la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués, et notamment la réalisation du Plan de Conception de Travaux (PCT), a été appliquée. L'exemple ci-après détaille cette mise en application du PCT sur une zone spécifique du site.

Le site a stoppé son activité en 2016 et est entré dans une phase de cessation d'activité incluant la décons-

**La technique du (bio)Sparging / (bio)Venting était donc la solution préférentiellement identifiée pour le traitement de la zone.** Néanmoins, il existait une incertitude sur la perméabilité à l'air de la couche de limons décimétrique présente sur la zone à environ 4 m de profondeur.

Pour permettre de valider la faisabilité de la technique et obtenir un premier dimensionnement, il a été décidé de conduire des essais de fai-

De manière générale, les essais conduits pour valider la faisabilité de la technique du venting / sparging et obtenir un premier dimensionnement, ont permis d'identifier des difficultés techniques pour mettre en œuvre la solution privilégiée à l'issue du premier bilan coûts/avantages. A contrario, l'ESV a montré des résultats très positifs sur la capacité d'extraction de la pollution et un premier dimensionnement compatible avec une mise en œuvre à grande échelle.

Les essais de faisabilité réalisés pour chacune des techniques envisagées ont abouti aux constats suivants :

- le **venting** présente une bonne capacité à extraire les gaz du sous-sol dans le contexte du site. Néanmoins dès la remontée du niveau des eaux souterraines en lien avec des précipitations, la technique atteint ses limites ;
- le **sparging** permet une bonne oxygénation des eaux souterraines sur la plupart des ouvrages. Néanmoins, certains ouvrages ne réagissent pas et la technique montre des limites pour traiter, de manière homogène, les sols situés au-dessus de la couche de limons ;
- l'essai **d'extraction sous vide** a montré des résultats prometteurs pour le traitement des sols au-dessus des limons. Le débit d'eau extrait diminue au fur et à mesure du temps ce qui montre que les sols sont progressivement dénoyés. Les concentrations extraites dans la matrice air sont très importantes ce qui met en évidence une bonne capacité à récupérer la pollution de cet horizon.



Figure 2 - Skid de Venting

truction et la réhabilitation. Dans cet exemple, le PCT fait donc partie intégrante du plan de gestion.

Avec les informations obtenues lors des étapes de caractérisation, un bilan coûts/avantages a permis de sélectionner les techniques in situ suivantes (dans l'ordre décroissant d'intérêt) :

- (bio)Sparging / (bio)Venting
- Extraction Sous Vide (ESV)
- Pompage / Traitement (P&T)

sabilité de courte durée pour mieux tester en conditions réelles les solutions de (bio)Sparging / (bio)Venting, mais également d'ESV et P&T et ainsi affiner le bilan coûts/avantages. **Compte tenu des techniques visées (in-situ), il a été privilégié la réalisation d'essais de terrain plutôt qu'en laboratoire.**

Les essais ont été conduits à l'aide de skids dédiés (équipements mobiles facilement transportables).

La première série d'essais de courte durée a permis de repositionner la stratégie initiale sur une technique plus adaptée à la particularité du site, l'extraction sous vide (ESV), et d'en effectuer un pré-dimensionnement. **L'investissement financier alloué à cette phase de conception est estimée à environ 5% du traitement global.**

Compte-tenu des enjeux très importants liés au site, il a été décidé de mettre en œuvre une seconde série





d'essais concernant l'ESV mais, cette fois-ci, sur une période beaucoup plus longue (plusieurs mois). Il s'agit d'essais de performances. Les objectifs de cette seconde série d'essais sont les suivants :

- Mieux comprendre le triptyque rayon d'influence, temps de traitement et niveau d'efficacité du traitement dans l'objectif d'estimer les paramètres optimums ;
- Permettre l'optimisation du traitement des effluents.

La durée du pilote nécessaire pour obtenir ces informations a été établie à 6 mois.

L'unité a démarré en novembre 2018 ; des données et informations ont été collectées tout au long de l'essai longue durée. Les premiers mois d'exploitation ont permis de confirmer les couples débit / dépression obtenus lors de la première série d'essai de courte durée. Les concentrations entrant dans le système d'extraction varient en fonction des niveaux de la nappe dans les ouvrages ; plus les ouvrages sont dénoyés, plus les concentrations augmentent. Ces concentrations en entrée de traitement des gaz extraits varient fortement, ce qui oblige à les diluer avec précision (via une vanne automatique dédiée) pour continuer à extraire tout en maintenant des concentrations acceptables au niveau du procédé de traitement des effluents gazeux. Les contraintes amont à l'aspiration concernent le maintien en atmosphère non explosive, tandis que les contraintes sur le traitement des gaz

en aval de l'aspiration concernent la capacité du CATOX (oxydeur catalytique) à traiter le flux.

**Ainsi, l'essai de performance sur une longue durée (plusieurs mois) a permis d'obtenir des informations cruciales pour un déploiement à pleine échelle, notamment en ce qui concerne la technologie de gestion des gaz.**

L'exploitation de l'installation sur plusieurs mois a permis de diminuer progressivement le niveau d'eau au-dessus des limons. Les informations collectées lors de cet essai de longue durée permettent de préciser un dimensionnement à pleine échelle en prenant en compte le rayon d'influence, l'évolution du rabattement et la capacité de traitement des gaz associée.

En conclusion, sur ce site, la seconde série d'essais de longue durée était indispensable pour affiner le dimensionnement :

- de l'implantation des ouvrages ;
- des éléments d'extraction ;
- des éléments de traitement d'eau et d'air.

Ainsi, dans le cas de ce site industriel au passé complexe et aux problématiques multiples (plusieurs niveaux aquifères, et ATEX, ...), **la phase de faisabilité représente un investissement financier estimé à 15% de l'opération de traitement global.** Cet investissement a permis d'augmenter très significativement la maîtrise de la dépollution, à la fois en termes de coûts mais également de délai et de gestion globale du projet de réhabilitation. Il a conduit à **éviter des erreurs stratégiques qui auraient pu coûter plus de 100% du montant prévu voire aboutir au constat qu'il était impossible d'atteindre les objectifs validés avec l'administration au stade du plan de gestion.**

Arnault PERRAULT,  
COLAS ENVIRONNEMENT



Photographie aérienne de l'installation finalisée pour la seconde série d'essais (longue durée)

## // RETOUR D'EXPÉRIENCE

La Méthodologie Nationale de Gestion des Sites et Sols Pollués introduit de nouveaux outils et concepts dans sa mise à jour d'avril 2017, notamment la notion de Source concentrée et de Plan de Conception de Travaux. Deux ans après sa mise en œuvre, voici quelques retours tirés de cas concrets traités par Ramboll France pour ses clients.

# SOURCES CONCENTRÉES ET PLAN DE CONCEPTION DE TRAVAUX : ÉCUEILS ET AVANCÉES.

Dans sa note du 19 avril 2017 relative aux sites et sols pollués, le Ministère en charge de l'Environnement mettait en avant de nouveaux outils, basés sur les retours d'expérience : **« la réalisation de bilans massiques, la réalisation de tests pour valider les options de gestion et les démonstrations financières argumentées ».**

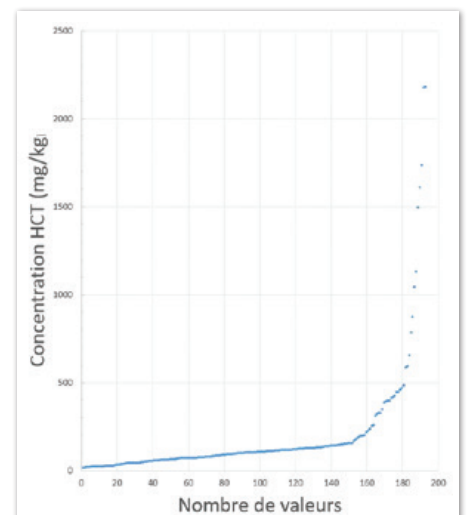
Dès 2016, des guides sur les sources concentrées (UPDS) et le bilan massique (BRGM) ont été publiés. Par ailleurs, le guide sur l'élaboration des Plans de Conception de Travaux (PCT), produit par le Ministère de l'Environnement (DGPR), l'INERIS, l'ADEME et le BRGM vient d'être publié. Ainsi, les bases théoriques et la finalité de ces outils sont claires. Mais **la pratique peut réserver quelques surprises** comme le montrent quelques cas concrets traités ces deux dernières années par Ramboll France.

### REX n°1 - Un diagnostic poussé mais un seuil imprécis !

Ramboll France est intervenu récemment dans le cadre d'un rachat sur un site présentant plusieurs petites sources de pollution distinctes. Afin de respecter le calendrier imposé par la transaction, les investigations, relativement poussées, précédemment menées par un autre bureau d'études, avaient conduit à la réalisation de sondages selon un maillage systématique du site. Une application directe de la méthode de détermination des sources concentrées (principe de Pareto) avait abouti à un seuil de coupure situé entre 200 et 500 mg/kg en hydrocarbures totaux. Une étude technico-économique avait permis de relever ce seuil à 1000 mg/kg en première approche.

Cependant, l'implantation des sondages selon un maillage n'avait

pas permis de délimiter les sources de contamination. L'étude technico-économique, bien que basée sur un grand nombre de données provenant de l'ensemble du site, demeurait très imprécise à l'échelle des sources identifiées puisque les volumes à traiter ne pouvaient pas être circonscrits. Dans ce contexte,



Répartition des concentrations en hydrocarbures totaux dans les sols (site confidentiel)

**l'approche induisait un risque financier très important dont les clients, rassurés par le grand nombre de données et le formalisme de la démarche, n'avaient pas conscience.**

Ce premier retour d'expérience montre qu'il est indispensable que le bureau d'études mette en avant les incertitudes pesant sur ses conclusions. Dans le cas présent, les données ont finalement été revues en détail puis des investigations complémentaires ciblées ont été réalisées afin de réduire les incertitudes. De même, il est apparu ici pertinent de raisonner zone par zone, les polluants étant identiques mais les sources et les niveaux d'impact bien distincts. Enfin, il faut également garder en tête qu'une analyse statistique à l'échelle d'un site nécessite la réalisation de diagnostics poussés et la prise en compte des biais de la méthode. A titre d'exemple, un grand nombre de non-détections peut amener à la définition de seuils très bas ; une analyse de sensibilité des données est donc indispensable.



Essais en laboratoire sur cellules baroides : détermination de la dynamique de dessiccation de boues à pression constante.

## REX n°2 - Une sécurisation technique et financière des projets

Ramboll France a été missionné par un client industriel dans le cadre de la cessation d'activité d'un site de travail des métaux implanté en centre-ville d'une petite commune. Lors des investigations, un impact en métaux et arsenic a été mis en évidence dans les sols avec des concentrations importantes sous nappe et à proximité immédiate de bâtiments résidentiels et de jardins de riverains.

Des essais en laboratoire ont alors été mis en œuvre pour tester plusieurs additifs et traitements afin de sécuriser une éventuelle opération d'excavation et limiter les possibles remobilisations de contaminants dans les eaux souterraines en direction des jardins privés voisins. **Ces essais ont permis en particulier d'écartier certains traitements théoriquement viables et ont abouti à un chiffrage précis ainsi qu'à la définition de critères de démarrage et d'arrêt d'une option d'injection en aval immédiat de la fouille.**

## REX n°3 - Un seuil révisable ?

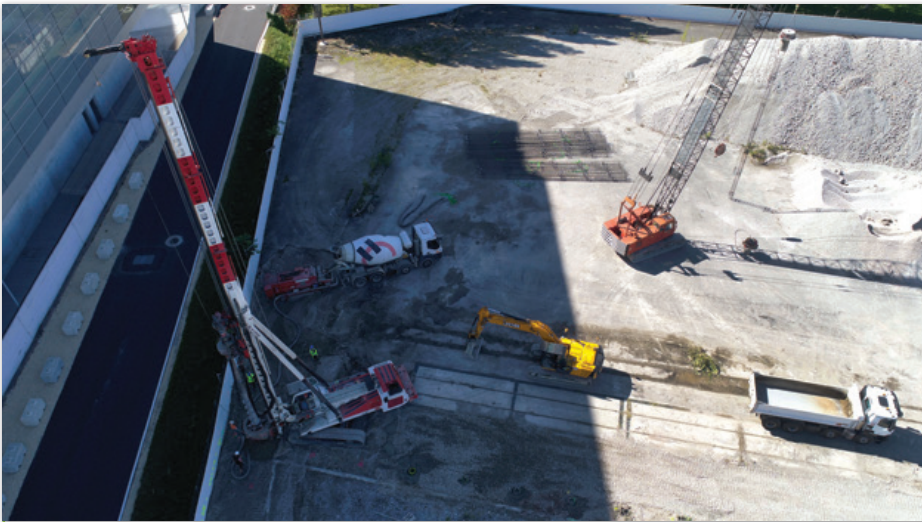
Sur ce même site, du fait des fortes concentrations en arsenic présentes sous nappe, la DREAL a demandé de considérer le retrait des sols impactés par excavation. Un seuil

technico-économique a été établi dans le cadre d'un plan de gestion (PG). **Bien que cela ne soit pas systématiquement inclus dans un PG, un plan de terrassement a été produit et des études géotechniques ont été menées afin d'estimer précisément les coûts de dépollution.** Les seuils définis ont été approuvés par Arrêté Préfectoral et une consultation a été lancée pour les travaux correspondants.

Cependant, en cours de consultation, le projet de reconversion du site a été modifié à la demande d'un acquéreur, qui souhaitait conserver une partie des bâtiments industriels présents aux abords de la zone d'impact. **Ce changement engendrait des surcoûts importants de confortement géotechnique du bâtiment et mettait en péril la vente du site.** Sur la base d'études complémentaires, Ramboll France a démontré, dans le cadre d'un PCT approuvé par la DREAL, que les excavations pouvaient être réalisées sans confortement par substitution des terrains en zone saturée et non saturée avec du coulis de ciment injecté à l'aide de machines de forage de pieux sécants.

Ce changement de technique d'excavation n'a généré qu'un faible surcoût pour une masse de polluant retirée équivalente. En revanche, la géométrie du volume excavé a été fortement modifiée dans le PCT : les excavations ont été plus profondes sur une surface moins étendue et avec un seuil de dépollution plus élevé que celui défini initialement dans le PG. **Le site a ainsi pu être dépollué et vendu. Toutefois, seul un courrier des Autorités valide le changement de seuil justifié par le PCT.**





Excavations par substitution à l'aide d'une machine de pieux

## REX n°4 - Un PCT a posteriori ?

Suite à un incident sur un réseau enterré, un polluant organique a été détecté dans les eaux souterraines sous une zone résidentielle située en aval d'un site industriel. L'exploitant a missionné Ramboll France pour intervenir en urgence sur l'évaluation des enjeux et la mise en place éventuelle d'un traitement. Un diagnostic poussé a été réalisé dans des délais très brefs et a justifié une interdiction de la consommation des eaux souterraines de la commune. Ce diagnostic a également permis de définir l'emprise et les caractéristiques approximatives du confinement hydraulique à mettre en place pour limiter la propagation de la pollution. **Une solution pilote a été rapidement mise en œuvre puis progressivement ajustée jusqu'à atteindre un niveau satisfaisant de confinement des impacts en seulement quelques mois.** Dans le cadre de cette étude, une source historique de pollution a par ailleurs été identifiée en amont de la cana-

lisation. Celle-ci contribuait de manière non négligeable aux impacts hors site en fonction des variations de régime hydraulique de la zone. Une première approche quantitative (modélisation hydrodispersive) et une étude technico-économique ont alors été réalisées. Celles-ci ont permis de préciser la durée de vie probable de la barrière hydraulique aval en fonction de plusieurs op-

tions de gestion de la source. Elles ont ainsi amené à la définition d'un traitement de la zone source historique par pompage direct, visant à limiter les coûts de dépollution à long terme sur la base de critères d'arrêt maîtrisés. Ces solutions ont été immédiatement pilotées afin de confirmer leur efficacité en termes de retrait de masse et de réduction des concentrations en phase dissoute.

Le pilotage a abouti à une solution financièrement optimale. Compte tenu de la dynamique de ce projet, un design précis et efficace a été mis en place rapidement en toute transparence avec l'administration. Toutefois, aucun PG ni PCT n'a été établi à ce jour. Un rapport sera donc produit a posteriori pour documenter les actions réalisées et les risques sanitaires résiduels. **Ce rapport comportera un important volet opérationnel décrivant les systèmes en place, précisant la maintenance préventive requise, ainsi que les seuils d'alerte et les**



Essais pilotes de terrain de traitement des eaux souterraines par sparging/venting et extraction multiphase

actions correctives à mettre en place en cas de nouvel incident sur le secteur.

### En conclusion, le PCT est un outil qui se pilote !

Comme le montrent les exemples cités plus haut, **ces outils méthodologiques constituent de réelles avancées pour sécuriser les opérations de dépollution pour nos clients et fixer des objectifs maîtrisés, spécifiques au site et aux problématiques rencontrées.** En effet, les modélisations, les essais en laboratoire, les essais pilotes, ainsi que des compléments d'études ciblés sur des enjeux clés (géotechnique, hydraulique, biodiversité...) permettent, au travers de la mise en œuvre d'un PCT, une meilleure maî-

trise technique et financière des projets de dépollution. **Ils nécessitent cependant en général une grande quantité de données ainsi qu'une forte technicité** afin de ne pas créer de surcoûts liés à des essais mal définis ou non conclusifs. Une mauvaise maîtrise de ces outils peut par ailleurs amener à conclure sur des solutions pouvant sembler précises et détaillées mais basées sur des hypothèses induisant des aléas forts en phase travaux (comme par exemple des plans d'excavation détaillés mais omettant les coûts de gestion des eaux de fouilles ou de confortement géotechnique). **Si le cadre formel est à présent bien posé, le contenu de ces études demeure assez variable et doit être adapté aux enjeux avec l'appui d'experts.**

Ces outils impliquent une montée en puissance de l'ingénierie dans nos métiers. Cela devrait conduire à une meilleure préparation et une meilleure planification des chantiers ainsi qu'à une répartition claire des responsabilités des uns et des autres. **Le respect des objectifs et des enjeux du projet pourra être garanti par l'implication d'un maître d'œuvre dès les phases d'investigations et de définition des solutions de gestion mais aussi tout au long des travaux jusqu'à leur parfait achèvement.**

Olivier CORRÈGE, RAMBOLL



Installations de traitement de terres à grande échelle par lavage

## // RETOUR D'EXPÉRIENCE

L'obligation de traitement d'une source de perchloroéthylène dans les sols au droit d'une salle blanche (atelier de production de composants sensibles) a nécessité plusieurs phases de test pour valider les modalités d'intervention dans ce milieu industriel très sensible.

# ESSAI PILOTE DE VENTING ET AIR SPARGING PUIS CHANTIER TEST :

## EN VUE D'UN TRAITEMENT AU DROIT D'UN ATELIER DE PRODUCTION DE COMPOSANTS SENSIBLES EN ACTIVITÉ

### La nécessité de traiter une source pour protéger un captage d'eau potable

Un panache de Composés Organo-Halogénés Volatils (COHV) majoritairement composés de perchloroéthylène (PCE) menaçait de dégrader la qualité des eaux utilisées pour la production d'eau potable en aval du site. L'Administration a donc demandé à l'industriel d'identifier et de traiter la source à l'origine de ce panache. Plusieurs campagnes d'investigations sur les sols, les gaz du sol et les eaux souterraines ont permis de cibler une source historique de PCE dans les sols au droit d'une salle blanche produisant des composants sensibles.

### La salle blanche : un milieu très sensible aux activités intrusives

Compte tenu de la sensibilité de la ressource en eau en aval du site, la priorité a été donnée au traitement

de la source de PCE, impliquant une intervention à l'intérieur de la salle blanche. En collaboration avec l'industriel, les contraintes d'intervention dans la salle blanche ont été identifiées : forte sensibilité aux poussières conductrices, aux vibrations, aux décharges électrostatiques avec, de surcroît, une importante densité de machines.

Afin de proposer la méthodologie de traitement la mieux adaptée aux contextes environnemental et industriel du site, l'étude de faisabilité a été réalisée en deux temps :

- essais pilote de traitement par venting et air sparging en extérieur du bâtiment pour évaluer les performances envisageables de ces techniques ;
- réalisation d'un chantier test dans une zone de bureaux adjacente à l'atelier de production (zone moins sensible), afin de valider la méthodologie d'une intervention intrusive dans ce milieu contraint.

### Essai pilote de venting et d'air sparging

Les essais pilotes avaient pour objectif de démontrer la faisabilité d'extraction par venting du PCE présent dans les gaz du sol, et la volatilisation du PCE en nappe par barbotage (technique d'« air sparging » ou « sparging »). Ils ont été réalisés au cours de l'année 2017, en extérieur, à proximité de l'atelier au droit duquel se trouve la source.

Les essais pilotes ont consisté en :

- la mise en place d'un réseau de puits d'essai comprenant 3 puits de venting à 4 m, 2 puits d'injection d'air : l'un à 13 m (aquifère alluvionnaire), l'autre à 25 m (aquifère de la craie) et de puits de contrôle comprenant un réseau de piézaires et de piézomètres eau ;
- l'essai d'extraction sur les 3 puits de venting : chaque puits a été testé individuellement, puis les 3 ouvrages ont été testés simultanément ;



- l'essai d'injection d'air sur les 2 puits de sparging : chaque puits a été testé individuellement, puis les 2 ouvrages ont été testés simultanément en opérant un séquençage de phase d'arrêt et de phase active pour étudier la rémanence de l'injection.
- un test à l'hélium : le gaz inerte a été injecté dans la nappe avec l'air comprimé de sparging et sa remontée dans le sol a été analysée en surface et dans les ouvrages de contrôle par un analyseur spécifique. Le test à l'hélium permet de simuler le comportement des composés volatils dans le sol, d'évaluer les points de remontées vers l'air ambiant et de valider le fait que l'air injecté est bien capté par le réseau de venting.

Les résultats des tests ont été concluants et ont permis de confirmer la faisabilité du traitement par venting et sparging, tout en fournissant les paramètres clés pour le déploiement des techniques de traitement (couple débit/pression d'air comprimé injectable pour le sparging, couple débit/dépression de gaz du sol pour le venting, rayon d'action des deux techniques de traitement, possibilité de séquençage des injections d'air comprimé, profondeur des puits d'injection...).

### Chantier test d'installation des puits à l'intérieur du bâtiment

Après avoir validé le principe général des techniques de traitement de la zone source, la deuxième phase de l'étude de faisabilité a consisté en la validation de la méthodologie des travaux les plus sensibles pour la salle blanche, à savoir l'installation des puits de traitement au cœur de l'atelier de production.

Pour cela, un chantier test a été mené en janvier 2019 dans un local contigu à la salle blanche, mais moins sensible aux poussières, vibrations et décharges électrostatiques que celle-ci.

Cette phase de travail a consisté en l'installation de 2 puits de venting à 4m de profondeur connectés à un réseau d'extraction cheminant dans la dalle béton du bâtiment jusqu'à un regard de reprise en pied de mur.

Au cours du chantier, les niveaux de vibrations et de poussières ont fait l'objet d'un suivi spécifique. Les résultats ont été comparés au niveau ambiant (vibrations et poussières) et aux valeurs de comparaison transmises par l'industriel.

Les données collectées au cours du chantier ont conduit aux conclusions principales suivantes :

- nécessité de réaliser les travaux intrusifs (carottage de dalle, réalisation des saignées, forages des puits) sous confinement dynamique, avec maintien de la zone de travail en dépression ;
- choix de technique intrusive sans percussion pour éviter les vibrations : passage de dalle par carottage, foration par carottage sonique ;
- possibilité d'utiliser une foreuse équipée d'un moteur électrique, permettant notamment de s'affranchir de la gestion complexe des gaz d'échappement dans ce milieu confiné ;



Opération intrusive avec suivi d'empoussièrement et vibrations



- installation de canalisations aériennes de traitement en matériaux non susceptibles d'accumuler des charges électrostatiques.

## Déploiement du traitement à l'intérieur de la salle blanche

Forts de cette expérience basée sur les études de faisabilité, les travaux d'installation à l'intérieur de la salle blanche ont pu être réalisés pendant l'été 2019, lors des périodes de moindre activité de l'industriel.

**Le succès de ce chantier dense et complexe s'est bâti sur une solide préparation et une forte coordination entre les différents intervenants.**

Les travaux ont nécessité la coordination des équipes de 7 entreprises différentes qui ont œuvré pendant plus d'un mois (dont 3 semaines en travail posté) pour installer puis démobiliser 3 zones temporaires de confinement dynamique, forer et équiper 4 puits de venting à 4 m et 1 puits de sparging à 10 m et poser l'ensemble du réseau de canalisations d'extraction au sein même de l'atelier.



Vue d'une des trois zones de confinement

## Conclusion

Deux phases d'essai ont été nécessaires pour valider précisément l'efficacité et la faisabilité des mesures de gestion des impacts au droit de cet atelier sensible. Ces deux étapes

successives et complémentaires ont été indispensables pour répondre aux impératifs environnementaux sans compromettre l'intégrité d'un outil industriel de pointe.

Aymeric DESFORGES, ERM France

Nicholas SHARP, ERM France



Atelier de forage dans une des zones de confinement



## // RETOUR D'EXPÉRIENCE

# PILOTE DE TERRAIN POUR LE TRAITEMENT IN-SITU D'UNE NAPPE POLLUÉE AUX SOLVANTS CHLORÉS PAR BIOSTIMULATION ANAÉROBIE

Les solvants chlorés (PCE - tétrachloroéthylène, TCE - trichloroéthylène) sont des polluants souvent rencontrés dans les eaux souterraines. Les traitements biologiques in-situ de tels panaches sont souvent pertinents en termes de ratio coût / efficacité. Ils nécessitent néanmoins la réalisation préalable d'un Plan de Conception de Travaux (PCT selon la NFX 31-620-3) intégrant plusieurs étapes de pilote (laboratoire puis terrain) afin de définir les conditions les plus favorables de biostimulation des micro-organismes et le gain réellement attendu.

## Présentation du site d'étude

Le site a été le siège de stockage en cuves aériennes de solvants divers des années 80s aux années 90s. Les études préliminaires ont mis en évidence plusieurs zones d'impact. A proximité de la limite aval du site, la présence d'une phase coulante est suspectée (jusqu'à 9 500 mg/kg de PCE au contact du substratum argileux), générant un panache hors site présentant de fortes concentrations (3 à 16 mg/L pour la somme PCE + TCE). Du fait de puits privés présents à 75 m de distance en aval hydraulique du site, Tauw France, en sa qualité de maître d'œuvre, a proposé un traitement par biostimulation anaérobie in-situ selon deux scénarios alternatifs: soit une bar-

rière réactive visant à l'atténuation des teneurs dans le panache hors site, soit un réacteur in-situ pour traiter la (ou les) source(s) de pollution. Ces scénarios permettront de pallier à différentes incertitudes lors de la finalisation du PCT, notamment la délimitation des sources, non complète au démarrage des études de traitement.



Implantation du site et des piézomètres

## Essais préliminaires et d'orientation au laboratoire

Les essais préliminaires ont porté sur l'évaluation du potentiel de biodégradation de la flore bactérienne existante dans l'aquifère du site. Les essais d'orientation au laboratoire ont porté sur l'efficacité de la bio-

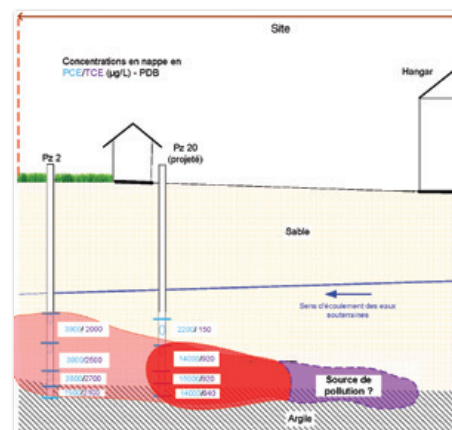
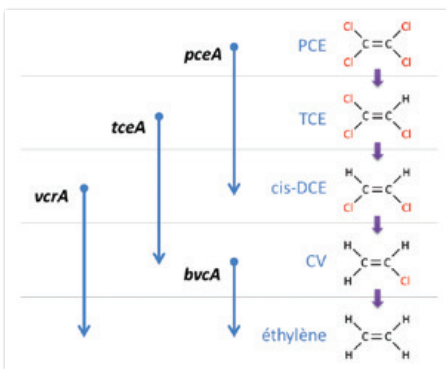


Schéma de principe du panache selon l'axe d'écoulement

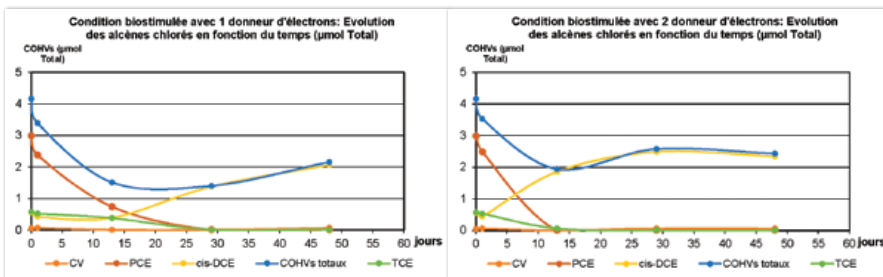
stimulation sous différentes conditions, comparée à celle d'autres techniques chimiques.

Des échantillons d'eau de nappe ont été soumis à l'analyse des marqueurs de biologie moléculaire<sup>1</sup>. Ces analyses ont révélé la présence en faible quantité et l'activité des biomarqueurs *pceA* et *tceA*, cohérente avec l'accumulation de Cis-Dichloroéthylène (Cis-DCE) dans le panache comme produit de dégradation des PCE-TCE.



Gènes codant pour la biodégradation anaérobie séquentielle du PCE à l'éthylène (source : HYDREKA-ENOVEO)

Les matrices prélevées sur site « nappe + sol » ont été soumises à des essais au laboratoire par Soleo Services. Outre les témoins, deux essais en conditions anaérobies ont été réalisés en flacons fermés par ajout de substrats carbonés complexes permettant de dégrader rapidement les polluants. Ces essais ont conduit au résultat suivant : conversion en Cis-DCE à 100% dès 3 semaines et amorce de production de Chlorure de Vinyle (CV) à 7 semaines.

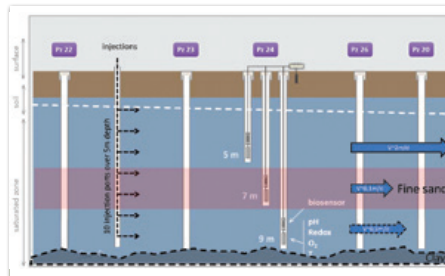


Essais de laboratoire (source : Soleo Services) : suivi de la dégradation des PCE-TCE au cours du temps par biostimulation anaérobie à l'aide de 1 ou 2 substrat(s) carboné(s)

## Dimensionnement du pilote de terrain de biostimulation en nappe

Ensuite, plusieurs mesures réalisées sur le terrain ont permis de mettre en évidence de forts contrastes horizontaux et verticaux sur :

- la vitesse d'écoulement de nappe (de 0,1 à 10 m/jour),
- les concentrations en PCE (maximum à 80 mg/L, facteur 8 entre le fond et le haut de l'aquifère) ;
- le potentiel redox (POR, conditions oxydantes, +250mV, en surface et réduites en profondeur, -100mV).



Pilote de biostimulation : vue en plan (haut) et section illustrant la métrologie à l'aide des sondes in-situ (bas)

Compte tenu des caractéristiques du site et afin de tester les deux alternatives de traitement, le dimensionnement suivant a été retenu :

- le choix d'un substrat carboné sous forme d'émulsion pour une stimulation rémanente dans le temps : Lactate / Mélasse / Huile de Soja. ;
- Un système d'injection par le biais de 5 tubes à manchette (TAM) positionnés sur une ligne de 10 m de largeur pour introduire l'émulsion dans le sol sur 10 intervalles répartis sur les 5 m d'épaisseur de l'aquifère.

Ce dimensionnement résulte d'un travail commun entre le bureau d'études et l'entreprise de travaux et la répartition des tâches suivante a été retenue : installation des TAM et injection de l'émulsion par Soléo Services, campagnes de suivi et interprétation par Tauw France.

## Monitoring et performances

Le réseau de suivi du pilote doit permettre de décrire les performances de traitement aux différentes profondeurs et distances de l'injection. Il est donc constitué de plusieurs piézomètres en flûte de pan (crépines positionnées à 3 profondeurs : 4-5 m, 6-7 m, 8-9 m) en amont (Pz22) de la ligne d'injection et en différentes positions en aval de la ligne d'injection : Pz24 à 7 m dans l'axe d'écoulement, Pz25 et 26 à 15 m et situés de part et d'autre de l'axe d'écoulement (distance de 10 m). D'autres piézomètres sont crépinés sur toute la hauteur de l'aquifère : Pz23 positionné au centre de la ligne d'injection et Pz20 situé à 35 m de l'injection. .

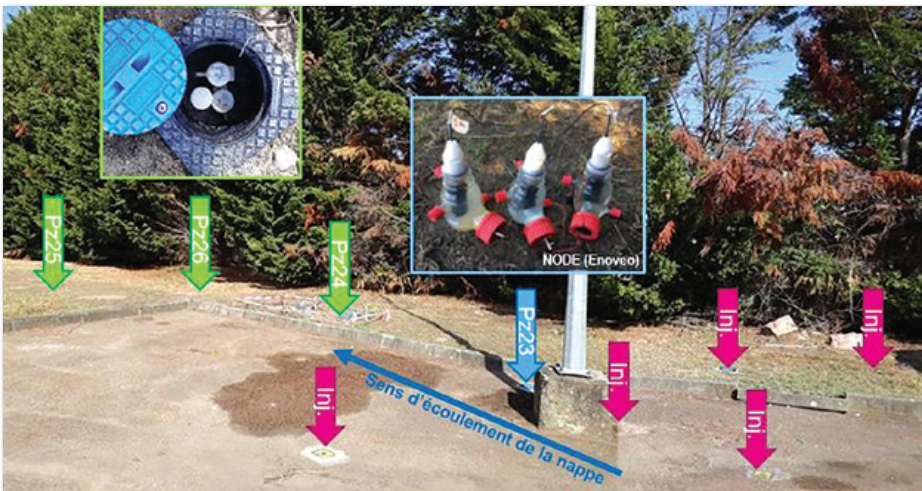
Le suivi du pilote est basé sur des campagnes régulières de prélèvement de la nappe pour l'analyse des polluants et des indicateurs



chimiques et biologiques de la dégradation. Il est complété de sondes in-situ (biocapteurs NODE développés par HYDREKA-ENOVEO). Ces sondes sont placées à 3 profondeurs différentes au droit de Pz24, pour la mesure en continu des paramètres physico-chimiques (pH, POR, O2 dissous) et du carbone organique

de l'aquifère, plus perméable, les conditions favorables à la déchloration (faible POR, fort COT) sont rapidement lessivées. A proximité de l'injection (Pz24), la dégradation du PCE en Cis-DCE est rapide mais n'évolue pas au-delà du cis-DCE, même 5 mois après l'injection. En revanche, en profondeur, les effets de

avec deux solutions de mélasse / huile de soja / Fer Zéro Valent, en proportions variables selon la profondeur. Les conditions induites par la seconde injection (POR < -60 mV, COT > 25 mg/L) sont visibles pendant au moins 3 mois dans tous les ouvrages et à toutes les profondeurs. En Pz24 (7 m de l'injection),



Monitoring du pilote de biostimulation : détail des piézomètres en flûte de pan (gauche) et des sondes in-situ (droite)

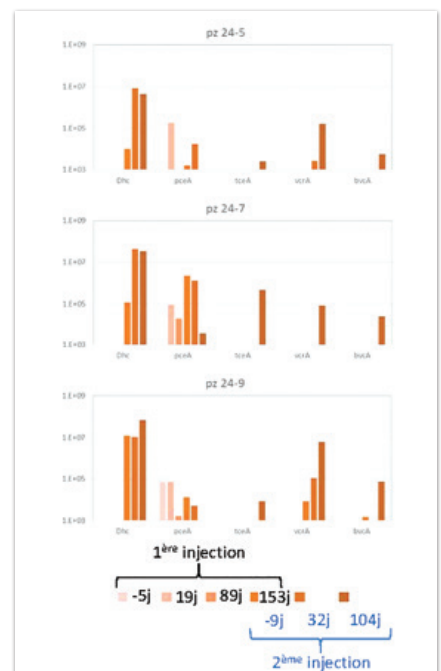
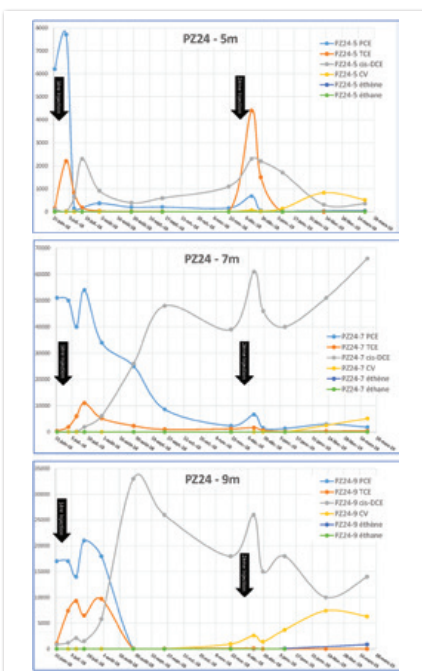
total (COT) consommable par les microorganismes stimulés.

La 1<sup>ère</sup> injection a permis de libérer rapidement le carbone nécessaire à la stimulation des bactéries. Toutefois, dans la partie supérieure

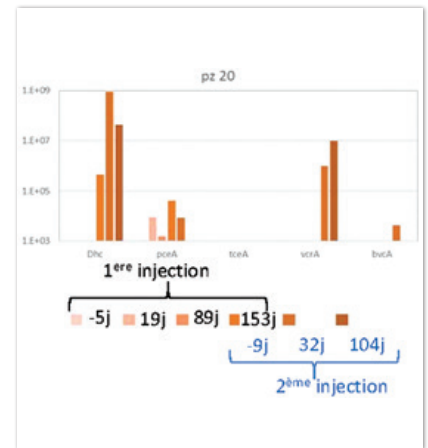
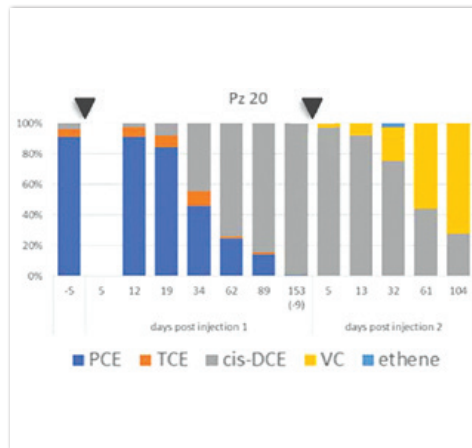
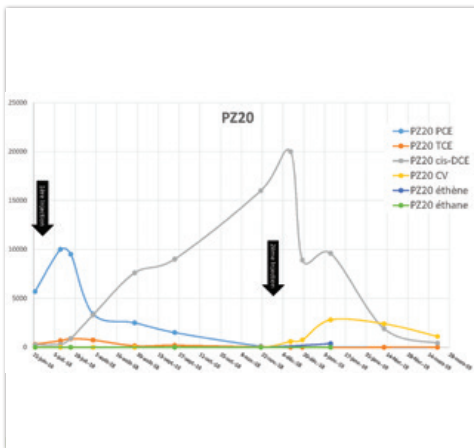
de la biostimulation sont rémanents et efficaces : 99% de réduction du PCE-TCE après 2 mois, apparition de CV au bout de 5 mois.

Afin de maintenir un effet rémanent, une seconde injection a été réalisée

1 mois après l'injection, l'éthène (produit final de dégradation des PCE/TCE) apparaît sauf dans l'horizon intermédiaire de l'aquifère, moins perméable. Ces conditions de dégradation sont également retrouvées plus en aval en Pz26 (15 m de l'injection,



Suivi temporel de la biostimulation au droit de Pz24 en trois profondeurs : concentrations (en µg/L, gauche) et distribution en solvants chlorés (en % molaire, centre), densité des biomarqueurs (densité en copies / L, droite).



Suivi temporel de la biostimulation au droit de Pz20 : concentrations (en  $\mu\text{g/L}$ , gauche) et distribution en solvants chlorés (en % molaire, centre), densité des biomarqueurs (densité en copies / L, droite).

15% d'éthène produit) puis PZ20 (35 m de l'injection). L'augmentation de l'ARN des biomarqueurs *vcrA* et *bvcA*, gènes encodant la dégradation du Cis-DCE à l'éthène, confirment l'effet de cette seconde injection.

## Retours d'expérience

Malgré des conditions difficiles : aquifère très perméable (vitesse jusqu'à 5 m/jour), faible pouvoir tampon, concentrations élevées en PCE (80 mg/L), forts contrastes verticaux de concentrations et de conditions redox, faible activité initiale en Dehalococcoides, présence de cibles sensibles à moins de 100 m en aval hydraulique, les essais réalisés ont montré que les eaux souterraines contaminées en solvants chlorés pouvaient être traitées par des méthodes biologiques. Ces

traitements in situ nécessitent des phases pilotes plus complexes, faisant appel à l'expertise conjointe de bureaux d'études et de sociétés de travaux, mais affichent ensuite généralement un ratio Coût / Efficacité très intéressant, d'où l'intérêt qu'elles suscitent. Les essais réalisés visent à définir les solutions de stimulation, le mode d'introduction des réactifs dans l'aquifère, la durée de stimulation, les paramètres de monitoring, etc., éléments conclusifs permettant de soumettre le plan de conception des travaux à l'administration avant d'engager les mesures de gestion du site. Les capteurs in-situ permettent quant à eux d'optimiser le déclenchement des campagnes de prélèvement.

Néanmoins, les étapes pilotes menées au laboratoire et sur site ont chacune leurs biais. Les premières

sont souvent peu représentatives de la réalité de terrain (absence d'écoulement, conditions homogènes, réactifs en excès, etc.) ; les secondes restent onéreuses (x10), longues (1 an vs. 2 mois) et lourdes en instrumentation. Afin de s'affranchir de ces biais, Tauw France, HYDREKA-ENOVEO et l'Ecole Centrale de Lyon sont engagés dans un projet, dénommé MISS et soutenu par l'ADEME, en vue de développer un outil de biostimulation par microcosme passif in-situ plus flexible et moins cher que les essais de terrain et plus représentatif que les essais au laboratoire. Les résultats finaux sont attendus pour mi-2021. Des premiers résultats concernant la prise en compte de la complexité des communautés bactériennes bio-stimulées seront partagés lors des 4ème rencontres de la Recherche de l'ADEME et les premiers démonstrateurs sur site seront publiés fin 2020.

Sébastien KASKASSIAN, TAUW FRANCE  
Marten VAN DER KOUWE, SOLÉO SERVICES  
Jean-Michel MONIER, HYDREKA-ENOVEO

## // RETOUR D'EXPÉRIENCE

# ESSAIS EN LABORATOIRE POUR FINALISER ET OPTIMISER LE DIMENSIONNEMENT D'UNE BARRIÈRE RÉACTIVE

### Contexte de l'opération

La SEM Ville Renouvelée (SEM VR) est en charge de l'aménagement du site Peignage Amédée, localisé sur les communes de Roubaix et de Wattlelos, dans le cadre d'une opération d'aménagement qui concerne plus de 9 ha.

Les investigations sur les sols et les eaux souterraines ont principalement mis en évidence la présence, dans les remblais, d'une source concentrée contenant du tétrachloroéthylène (PCE) et ses composés de dégradation. Ces composés ont migré dans la nappe.

Pour les sols, une solution de traitement par venting sur site a été proposée dans le plan de gestion et retenue par le Maître d'ouvrage.

En ce qui concerne la pollution de la nappe, le contexte hydrogéologique est plutôt favorable à la protection de l'environnement dans la mesure où la nappe phréatique est contenue dans une formation limoneuse

peu perméable. Toutefois, même si la nappe migre lentement, des jardins familiaux sont présents en aval hydraulique et la pollution contenue dans la nappe est déjà détectable en limite aval de site.

Des solutions de pompage ou d'injection ne sont pas envisageables du fait de la trop faible perméabilité de la nappe. Le plan de gestion a donc orienté le maître d'ouvrage vers la mise en œuvre d'une barrière réactive, d'une centaine de mètres de long et de 12 m de profondeur, contenant du FeO de façon à procéder à la déchloration des solvants contenus dans la nappe

### Mise en œuvre d'un pilote

Avant de mettre en œuvre la solution, EACM a recommandé au maître d'ouvrage de réaliser un pilote pour vérifier la faisabilité et l'efficacité de la technique. Toutefois, le pilote a été mené avec un dosage de FeO théorique surdosé à 2,5% pour les besoins de l'essai.



Mise en place du pilote de traitement. La pelle hydraulique excave les matériaux naturels limoneux qu'elle dépose sur la droite de la photo et les remplace à l'avancement par un mélange de sable et de FeO pulvérulents préalablement déposé en andains le long du pilote.

### Optimisation du dosage sur la base d'un programme d'essai en laboratoire

C'est la raison pour laquelle, en parallèle de l'essai pilote, EACM a également recommandé la réalisation d'un programme d'essais en laboratoire, destiné à optimiser le dosage en FeO, en fonction de la durée prévisionnelle de temps de séjour de l'eau de la nappe dans la barrière. Le dosage de réactif



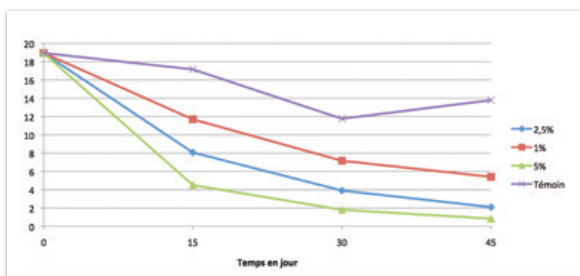
représente, en effet, un poste économique significatif de l'opération globale.

Plusieurs mélanges de matrice réactive ont été constitués avec des dosages de 1%, 2,5% et 5 % de FeO. Ces mélanges ont été mis en contact prolongé avec de l'eau souterraine provenant des deux piézomètres les plus impactés du site. Un témoin, constitué uniquement de sable, sans ajout de FeO, a également été prévu pour l'essai.

Les échantillons d'eau ayant été en contact avec les réactifs aux différents dosages ont été prélevés à t0, t+15j, t+30 j et t+45 j afin d'évaluer la qualité de l'eau dans le bocal et notamment la décroissance des concentrations initialement mises en évidence et l'évolution des concentrations des produits de dégradation.

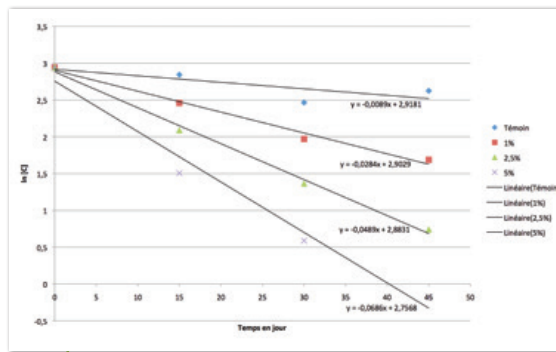
### Résultats des dosages

Le graphique ci-après, présente l'évolution des concentrations des composés chlorés de la chaîne de dégradation du PCE en fonction du temps pour le témoin et les 3 teneurs de Fer<sup>0</sup>.



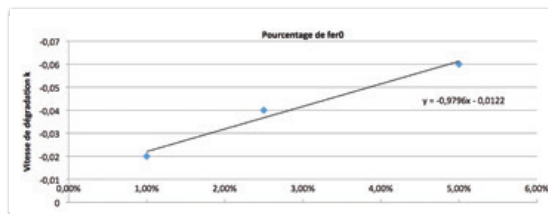
Somme des composés de dégradation du PCE en fonction du temps

La construction d'un graphique du logarithme de la concentration de réactif en fonction du temps, présenté ci-après, permet de confirmer que la vitesse de réaction est proportionnelle à la concentration du réactif (réaction d'ordre 1).



Dégradation des composés du PCE sur une échelle logarithmique

La pente des droites de tendance représente la vitesse de dégradation des composés. La vitesse de dégradation du témoin, permet de corriger les 3 vitesses ainsi obtenues. Ces vitesses de dégradation ont permis de déduire une relation linéaire approximative liant la vitesse et le pourcentage volumique de fer comme présenté dans le graphique ci-après.



Vitesse de dégradation en fonction du pourcentage de fer<sup>0</sup> dans la matrice

### Détermination du pourcentage optimal de fer

Le pourcentage optimal de fer à disposer dans la barrière finale, est celui qui permettra en théorie de déchlorer entièrement les COHV présents dans l'eau dans le temps de transit de l'eau dans la barrière.

Les relations ci-dessus permettent d'évaluer l'évolution de la concentration des composés de dégradation du PCE en fonction du temps et du pourcentage de FeO.

Considérant que le temps de transit de l'eau de la nappe dans la barrière peut être estimé en fonction des données de perméabilité des terrains limoneux encaissants. La valeur optimale de fer zéro valent a ainsi pu être estimée à **1,1%**

### Conclusion des essais

Les essais de laboratoire montrent une dégradation effective de tous les composés présents dans les eaux de la nappe.

Une vitesse de dégradation proportionnelle au pourcentage de fer a pu être mise en évidence grâce aux essais en laboratoire et a permis de déduire une formule liant quantité de fer<sup>0</sup> optimale à utiliser dans la barrière en fonction de la concentration initiale en COHV, de l'objectif de concentration et du temps de séjour de l'eau dans la barrière.

Cette formule a permis de déduire qu'une quantité optimale de fer<sup>0</sup> de 1,1% en volume permettait de dégrader entièrement la plus grande concentration en COHV détectée sur le site dans une barrière de 1 m de large. Une marge de sécurité a été retenue en accord avec le maître d'ouvrage pour finalement demander à l'entreprise un dosage de 1,5% de FeO.

Ces essais en laboratoire ont permis de diminuer de 1% le dosage finalement retenu pour la barrière finale par rapport au dosage initial du pilote, ce qui représente une économie de l'ordre de 25 à 30 k€ pour le maître d'ouvrage, soit environ 10 % du budget de l'opération.

Les essais ont permis d'affiner le CCTP. L'entreprise a été désignée et les travaux devraient démarrer en novembre 2019.

Tanguy LATRON, EACM

## // RECHERCHE

Serpol (SERFIM Groupe), en étroite collaboration avec Renault SA, l'ENSEGID de l'INP de Bordeaux et l'ADEME, vient de réaliser une première: l'utilisation d'une mousse biodégradable comme agent de confinement temporaire in situ d'un sol contaminé par des solvants chlorés. L'objectif était simple: stopper ou du moins réduire fortement les écoulements d'eau souterraine et donc contribuer à améliorer l'efficacité des traitements de cette source de pollution. Explications.

## MOUSSE DE BLOCAGE: UNE PREMIÈRE PROMETTEUSE!

Nous sommes en Europe, dans un site industriel du Groupe Renault, construit en 1964 et dédié à la carrosserie-montage. Le site emploie près de 4 000 personnes et a produit 235 045 véhicules en 2018.

Toutefois, et bien que les sites en exploitation depuis des dizaines d'années se comptent par milliers, la prise de conscience, par les industriels, des risques liés à la pollution des sols est assez récente. «L'entreprise responsable est celle qui assume son passé», affirme **Nathalie Guiserix**, experte sites et sols pollués chez Renault. Nous travaillons depuis plusieurs années pour suivre, analyser et traiter les sols des sites en activité avec, parfois, de vraies difficultés liées justement à l'exploitation et à la nature très complexe des sols.» En l'occurrence, sur ce site, les sols concernés affichaient une forte concentration en solvants chlorés, sous un atelier en exploitation, et une géologie très complexe d'alternance d'horizons perméables et imperméables. Bref, un vrai cas d'école pour conduire une expérimentation!

**Antoine Joubert** est responsable scientifique de Serpol, une filiale de SERFIM Groupe spécialisée dans la dépollution des sols. «La majeure partie des polluants se concentre là où le sol est peu perméable et donc difficilement accessible par les traitements classiques, qui souffrent du faible potentiel de balayage de la pollution par l'action d'un gaz, d'un liquide ou d'une suspension. C'est un verrou technologique que toute la profession souhaite lever... La création et l'injection de mousse in

situ, notamment comme agent de confinement hydraulique temporaire d'une zone source située dans une géologie complexe (alternance d'horizons sableux et argileux) est une technique innovante qui, lors des différents essais en laboratoire, puis sur le terrain, a pu faire la preuve de sa pertinence.»

L'ADEME suit attentivement de nombreuses initiatives de recherche et de dépollution. C'est dans ce cadre que l'Agence a soutenu financièrement



Unité d'injection de mousse de blocage.





Mousseur installé sur le site pilote et en phase d'injection de mousse de blocage.

le projet. Pour **Guillaume Masselot**, chef de projet sites et sols pollués à l'ADEME, « l'utilisation de mousse in situ est une approche technique de rupture qui n'en est qu'à ses débuts. C'est pourquoi nous soutenons des projets pilotes comme celui-ci. »

### Des essais terrain concluants et un brevet à la clé

Renault travaille en étroite partenariat avec l'Ecole Nationale Supérieure en Environnement, Géoresources et Ingénierie du Développement durable de l'INP de Bordeaux, dont Nathalie Guiserix est une ancienne élève. « L'école a travaillé sur le développement d'une technique destinée à mieux contrôler la perméabilité

du sol, c'est-à-dire la capacité d'un fluide à passer au travers. C'est lors d'une réunion de travail à Bordeaux que l'expertise de Serpol à ce sujet a été mentionnée... » Les résultats de cette étude ont été intégrés dans le travail réalisé par le consortium de recherche qui a, tout d'abord, mis au point en laboratoire la formulation de la mousse (concentration en tensio-actifs et composition) et les paramètres d'injection (qualité de mousse, débit et mode d'injection) avant de réaliser des tests sur le terrain. Afin de juger des résultats du pilote, le flux de solvants dans les eaux souterraines à l'aval de la zone d'étude a tout d'abord été mesuré par des préleveurs passifs développés par InnoVaSol<sup>1</sup> afin de caractériser les concentrations de départ.

Deux campagnes ont été réalisées, sous un atelier de production en activité. La surface couverte par le pilote faisait environ 250 m<sup>2</sup>. La première campagne de test a consisté à injecter une mousse composée d'un tensio-actif biodégradable, d'eau et d'air dans le sol. « La machine a été conçue dans nos ateliers sur la base d'un dimensionnement défini par le consortium, poursuit Antoine Joubert. Cette première campagne d'injection, manuelle, a duré 96 heures. Elle nous a permis d'observer à la fois le comportement de l'unité d'injection, la qualité de la mousse et sa propagation à un débit et une pression maîtrisée évitant toute fracturation ou soulèvement de sol. Une réduction de la perméabilité d'un facteur 100 a été mise en évidence





au droit des ouvrages d'injection démontrant la capacité de la mousse à freiner très significativement les écoulements de nappe dans les sables.»

L'unité d'injection a été améliorée afin d'injecter la mousse dans 6 ouvrages en simultané et en continu grâce à l'intégration de sécurités stoppant l'injection en cas de rupture de flexible ou de pression trop élevée. La seconde campagne a donc pu permettre l'injection de mousse en continu, durant une semaine, avec des résultats prometteurs qui ont mis en évidence son impact réel sur un rayon supérieur à 2 mètres et une réduction du flux de polluant en aval hydraulique de 4,5 mise en évidence par les mesures des préleveurs passifs à l'aval direct de la zone d'étude et modélisé par l'EN-SEGID. « Nous avons donc la preuve que la mousse injectée confine de façon importante les eaux souterraines impactées en solvants chlorés ce qui va permettre au traitement, en l'occurrence un agent oxydant, de rester plus longtemps en place et donc d'agir de façon plus efficace sur la source de pollution », note Antoine Joubert. Une analyse par-

tagée par Guillaume Masselot qui souhaite que « les tests terrain et démarches R&D soient multipliés afin de créer un référentiel large » portant sur une diversité de terrains et de problématiques, donc des formulations et des injections de mousses différentes.

« C'est pour Renault une vraie réussite de recherche appliquée conclue par un brevet décerné à la fin de l'été pour le concept de l'application et l'unité d'injection de mousse bloquante, se félicite Nathalie Guiserix. A date, la mousse est restée active plus de 3 mois ce qui nous a permis de valider que les traitements seront bien plus efficaces car concentrés sur une zone déterminée et sur un temps long. Nous venons d'ailleurs de lancer les opérations à grande échelle sur notre site, en étroite collaboration avec Serpol, qui a conduit d'autres pilotes sur deux sites industriels. Ces pilotes sont fondamentaux car, à chaque problème, existe une solution qui sera nécessairement sur-mesure tenant compte à la fois de la géologie des sols et du traitement à administrer... »

## Un succès !

Un brevet venant récompenser cette innovation, la mousse bloquante devrait intéresser de nombreux industriels dans le cadre de la réduction des risques de pollution des sols et des nappes phréatiques ! Serpol poursuit d'ailleurs son investissement de R&D sur l'utilisation de mousses et de polymères pour d'autres applications de traitement.

Antoine JOUBERT, SERPOL  
Nathalie GUISERIX, RENAULT  
Guillaume MASSELOT, ADEME



Mousseur : de l'eau additionné de tensio-actif ainsi que de l'air sous pression sont injectés simultanément pour former la mousse de blocage.

1- InnovaSol est un consortium visant à répondre aux préoccupations des maîtres d'ouvrage en matière de diagnostic, de traitement in situ et d'évaluation des risques. Son objectif consiste à développer un programme de recherches dédié à ses membres sur les trois thèmes, depuis le laboratoire jusqu'à l'application terrain.

[www.innovasol.org](http://www.innovasol.org)

## // CHANTIER DDT

Le DDT a été produit sur le site de la poudrerie d'Angoulême à la fin des années 1940. Les impacts liés à cette activité sont devenus de véritables enjeux techniques et financiers dans le cadre de la réhabilitation du site. Différents essais de traitabilité ont permis de déterminer la meilleure approche technique pour réhabiliter le site conformément aux objectifs de l'arrêté préfectoral.

## DDT ET AUTRES CONTAMINANTS : UN CHANTIER HORS NORME SUR LA POUDRERIE D'ANGOULÊME (16)

### Historique du DDT

Le DDT (dichlorodiphényltrichloroéthane) est un pesticide organochloré de formule de  $C_{14}H_9Cl_5$ . Il a été synthétisé pour la première fois à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle mais ses propriétés insecticides n'ont été identifiées qu'en 1939 par Paul Hermann Müller (prix Nobel de médecine en 1948).

Les armées alliées, intéressées par les propriétés insecticides de cette substance, poursuivirent les recherches entamées. Elles lancèrent la production du DDT à grande échelle à partir de 1943. Cette molécule fut alors abondamment utilisée lors de la Seconde Guerre mondiale pour contrôler les insectes porteurs du paludisme et du typhus. Après la seconde guerre mondiale, l'utilisation du DDT se généralisa à l'ensemble de la planète. Cette substance a fait l'objet de débats concernant son impact environnemental puis ses propriétés cancérigènes suspectées avec des preuves

insuffisantes à partir des années 1970. Le DDT est aujourd'hui interdit dans la majorité des pays mais son recours reste toléré à des fins sanitaires en l'absence d'alternatives économiquement abordables ou suffisamment efficaces.

### Impacts

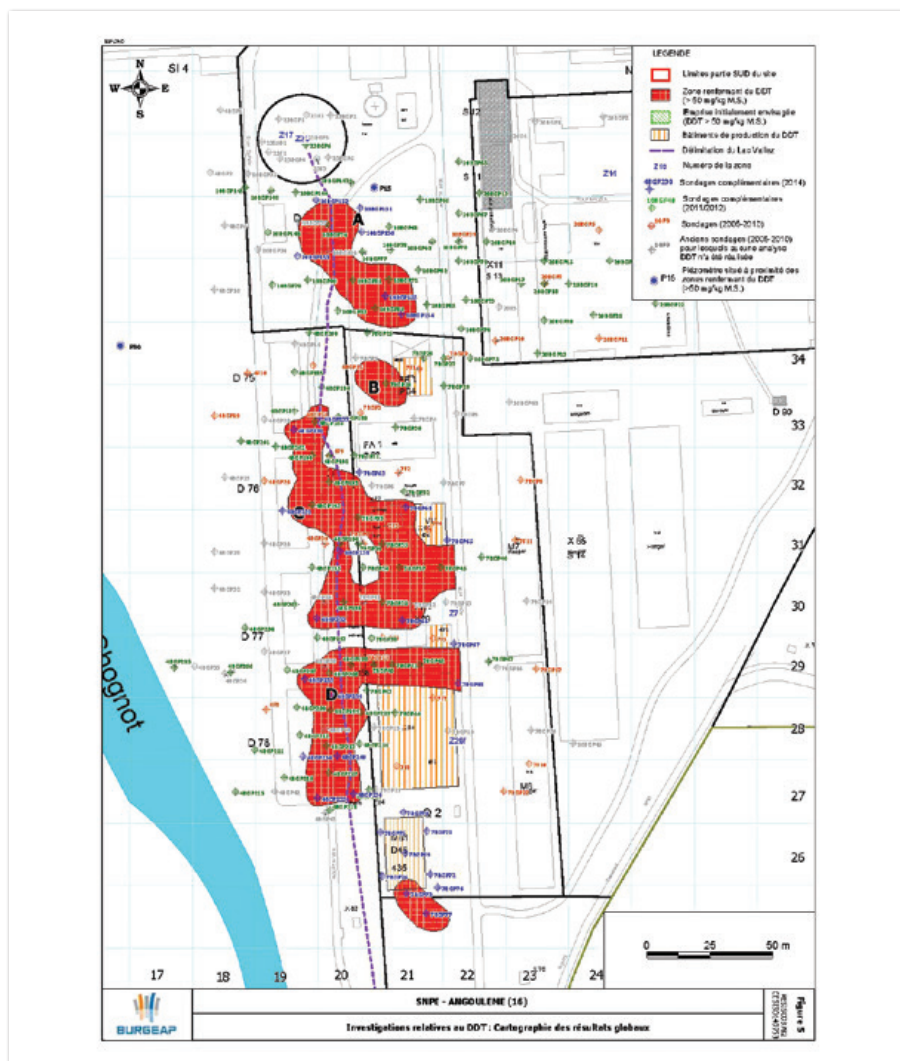
La poudrerie d'Angoulême (177,3 ha localisés dans un méandre de la Charente à l'Ouest d'Angoulême) a accueilli sur son site une entreprise extérieure qui a produit du DDT durant 4 ans (1946-1949). Les années ont passé et en 2004, la cessation d'activité du site a été déclarée. Depuis, le site a fait l'objet de nombreuses études et est en cours de réhabilitation.

Dans ce cadre, le DDT est devenu une problématique majeure et complexe des travaux de réhabilitation du site.

En effet, il a été identifié des impacts en DDT en partie Sud du site au niveau des anciens ateliers de production. Après diagnostics (2005-2014, 179 sondages jusqu'à 7 m de profondeur au maximum et 583 analyses de DDT), 5 zones impactées (à plus de 50 mg/kg en DDT et pouvant atteindre plusieurs %), représentant environ 17 000 m<sup>3</sup> de matériaux, ont été identifiées. En sus de ce volume conséquent, d'autres problématiques sont apparues :

- Des impacts profonds (jusqu'à 7 m de profondeur), en partie localisés sous le niveau de la nappe, et au sein des vases d'un ancien lac jouxtant les anciennes installations de production ;
- La présence potentielle de nitrocellulose et d'obus au sein des vases contaminés par du DDT ;
- Présence de casseaux de fibrociment au sein des remblais de surface contaminés par du DDT.





Cartographie des impacts identifiés

## Essais de traitabilité

Du fait de cet ensemble de problématiques, le chantier de réhabilitation de ces impacts en DDT est devenu extrêmement complexe. SNPE a engagé en 2012 avec BURGEAP une étude visant à définir les techniques disponibles pour traiter le DDT et les essais de traitabilité à mener au laboratoire et sur site.

Ces essais de traitabilité ont porté sur :

- Le criblage et le lavage des matériaux (laboratoire et sur site). Ces techniques n'ont pas montré de résultats probants car seules les fractions les plus grossières étaient déclassées par lavage qui

engendrait, de surcroît, des eaux difficilement traitables ;

- Des procédés thermiques (désorption thermique en four ou en pile, au laboratoire et sur site ou hors site). Ces procédés ont montré des résultats satisfaisants ;
- De l'oxydation/réduction (laboratoire et sur site) et du bio traitement sur site. Ces techniques n'ont pas montré de résultats probants.

L'ensemble des données acquises sur la pollution et les méthodes de traitement a été inclus dans un plan de conception des travaux rédigé par BURGEAP. Les essais de traitabilité ont permis d'orienter le traitement des matériaux vers une voie thermique.

## Travaux

Une consultation pour les travaux a été lancée par SNPE fin 2014 auprès de 6 entreprises spécialisées sur la base du plan de conception.

Le groupement SECHE-Eco-Services et GRS Valtech a été retenu avec une solution de traitement thermique sur site en unité mobile de désorption thermique.

Les travaux se sont déroulés d'octobre 2015 à mars 2018. Les grands principes ou étapes des travaux étaient les suivants :

- réalisation des autorisations et documents préalables aux travaux ;
- mise en place des installations de chantier (aire de stockage/travail, bassins de gestion des eaux...) et montage de l'unité de désorption thermique ;
- création d'une barrière hydraulique en amont de la zone à excaver ;
- excavation (42 687 m<sup>3</sup> dont 16 531 m<sup>3</sup> de matériaux à traiter) et tri des matériaux pollués et des talus inhérents aux travaux d'excavation profonds ;
- sécurisation pyrotechnique des vases du Lac Vallez terrassées, par déminage à l'avancement du terrassement (par couche de 50 cm) et par contrôle du taux de nitrocellulose ;
- échantillonnage des fonds et flancs de fouille et reprise des éventuels fonds ou flancs non conformes ;
- prétraitement des matériaux pollués sur la plateforme étanche ;
- gestion des eaux du chantier (fond de fouille, aire de traitement...);
- traitement des matériaux pollués en désorption thermique sur site (15 735 t) et hors site (15 539 t) afin d'atteindre l'objectif de 50 mg/kg



en DDT (objectif de réhabilitation repris dans l'Arrêté Préfectoral de réhabilitation de la partie Sud du site);

- gestion des matériaux impactés par du DDT et de l'amiante (non traitables thermiquement), sur dérogation nationale (article 7.4 du règlement POP), en ISDD (5 206 t);
- remblaiement avec les matériaux issus des talutages et les matériaux traités sur site;
- repli des installations et remise en état de la zone.

Ces travaux ont fait l'objet d'un suivi HSE renforcé.

Le chantier était totalement clos (à l'intérieur du site lui-même clos) et les accès contrôlés tant au niveau du personnel (passage obligatoire par le vestiaire compartimenté avec douche obligatoire en sortie) que du matériel (décontamination du matériel avant sortie du chantier). Le personnel à pied était équipé d'équipements de protection individuelle classiques (chaussures, casques...) et spécifiques (combinaison jetable de type Tyvek, masques respiratoires, gants jetables et sur-chaussures). Les cabines des engins étaient pressurisées et l'air entrant filtré. Un arrosage des pistes et des systèmes de brumisation ont été mis en œuvre pour éviter toute dispersion de poussières.

Un suivi biologique renforcé (analyses de sang) des opérateurs a été réalisé durant tout le chantier sans déceler d'anomalie.

En termes de suivis environnementaux, les eaux rejetées par le chantier (barrière hydraulique, eaux de ruissellement, de

lavage et eaux de fouilles) étaient stockées en bassin étanche, décan-tées, filtrées et analysées en sortie. Les poussières atmosphériques et le bruit ont fait l'objet de mesures régulières durant tous les travaux afin de s'assurer de l'absence d'impact sur l'extérieur du chantier. L'unité de traitement thermique faisait aussi l'objet d'un suivi de ses rejets atmosphériques (CO, NOx, SO2...) Il n'y a eu aucun dépassement de moyenne journalière ou mensuelle.

Le chantier a fait l'objet de nombreux audits HSE réalisés par les entreprises et le Maître d'Ouvrage.

Le chantier a connu un incident notable (un blessé léger) avec un incendie (sans lien avec les produits manipulés mais dû à un défaut électrique) dans la nuit du 13 au 14 février 2017 et la destruction du conteneur électrique et du laveur de gaz de l'unité de traitement thermique installée pour le chantier sur site. Cet événement a imposé d'évacuer une partie des matériaux à traiter vers l'unité de traitement thermique fixe de GRS Valtech à Saint Pierre de Chandieu (69).

Cependant, l'ensemble des travaux a été réalisé et tous les matériaux ont été traités sur site ou hors site. L'ensemble des fonds et flancs de fouilles a été réceptionné.



Vue générale du chantier depuis le Nord avec l'unité de désorption thermique au premier plan et la zone des travaux au second.

## Conclusions

Le DDT, produit pendant 4 ans (1946-1949) sur le site de la poudrerie d'Angoulême par une entreprise extérieure, est devenu au final une problématique extrêmement importante et une opération de réhabilitation du site parmi les plus complexes.

Le traitement des impacts en DDT a obligé la SNPE à pousser au plus loin l'ensemble des études préalables tant au niveau du dimensionnement des impacts que de la recherche de solution de traitement avec la mise en place d'essais de traitabilité en laboratoire et sous la forme d'essais pilotes sur site.

Ce chantier a été, de par :

- sa taille (environ 17 000 m<sup>3</sup> de terres fortement polluées à gérer);
- et sa complexité :
  - terrassements profonds (7 m) dont une partie s'est fait en zone saturée impliquant une gestion des eaux;
  - présence d'amiante dans les remblais de surface;
  - vases à gérer présentant un caractère pyrotechnique avec la présence potentielle de nitrocellulose et de munitions;
  - traitement thermique des matériaux;

**un chantier d'exception (et une référence) pour le site mais aussi au niveau national.**

Au final, et malgré les aléas qui ont émaillé le chantier (notamment l'incendie), le résultat des travaux est conforme aux attentes. L'ensemble des matériaux fortement impactés a été géré conformément aux prescriptions de l'arrêté préfectoral de réhabilitation.

Pierre LATESTÉ, SNPE

Mickael BOUVET, BURGEAP

## // CHANTIER EN URGENCE

Les installations de distribution de GPL font partie de notre paysage quotidien mais elles ne sont pas sans risques! Les fuites accidentelles sont généralement bien maîtrisées par les services de secours. En revanche, les fuites chroniques sont plus difficilement décelables alors qu'elles peuvent générer un risque bien plus important...

# GESTION D'UNE SITUATION D'URGENCE LIÉE À UNE FUITE CHRONIQUE DE GPL DANS LE SOL

## STRATÉGIE DE DIAGNOSTIC ET TRAVAUX DE MISE EN SÉCURITÉ

Le GPL, stocké sous pression à l'état liquide, est un mélange de gaz essentiellement composé de butane et de propane, lesquels sont inodores. Un gaz odorant est ajouté au mélange afin d'en faciliter la perception.

Plus dense que l'air, le GPL est susceptible de s'accumuler dans la porosité du sol (remblais, cheminement de réseaux enterrés, regards, cavités anthropiques de type vide sanitaire par exemple, terrains naturels) pouvant conduire, dans certaines conditions, à un risque d'explosion.

Lors de travaux de terrassement à proximité d'une station-service, une forte odeur de gaz a été ressentie par les employés du chantier et des passants. Les pompiers ont procédé aux premières mesures d'urgence : mise en place d'un périmètre de sécurité, vidange des installations de GPL par le fournisseur et décision de fermeture de la station-service par l'exploitant.

Dès lors, une course contre la montre s'est jouée (inquiétude de la clientèle et perte d'exploitation de plusieurs milliers d'euros par jour d'arrêt). La réactivité de tous les acteurs concernés était de mise.

### Des mesures FID<sup>1</sup> en temps réel au plus près des réseaux

Antea Group a été sollicité en premier lieu par l'exploitant afin d'identifier et de quantifier le gaz présent, puis de diagnostiquer son étendue au droit du site.

Dans un premier temps, une réflexion a été menée avec l'exploitant et le fournisseur de GPL afin d'appréhender les moyens rapides et sécurisés pour intervenir au plus près du réseau enterré de GPL et des réseaux connexes de la station-service (hypothèse de circulations préférentielles du gaz dans les remblais du réseau).

Dans un second temps, deux protocoles de mesurages ont été élaborés et présentés à l'exploitant :

#### Protocole n°1: cartographie 2D des alcanes résiduels par mesures in-situ

- Repérage et identification des nombreux réseaux enterrés à l'aide d'un géoradar ;
- Mise en œuvre d'un atelier FID mobile<sup>2</sup> pour la mesure quantitative des COV dans l'air ambiant



Mesurage FID selon le protocole n°1

1- FID : détecteur à Ionisation de Flamme

2- Sonde chauffante embarquée de mesure par ionisation de flamme permettant une mesure quantitative instantanée des alcanes résiduels.

et les gaz du sol à partir de micro sondages d'un diamètre 8-10 mm sous aspersion d'eau et balise de contrôle d'atmosphère (sur les 20 premiers cm) ;

- Cartographie de 30 à 40 mesures à proximité du réseau GPL, des réseaux enterrés proches du point de perception du gaz (zone de terrassement) + blancs/témoins hors zone ;
- Production d'une cartographie 2D (report de valeurs) dès l'après-midi de cette première intervention.

**Protocole n°2 : mesurage quantitatif des gaz propane et butane**

- Prélèvements de gaz de sol sur sac Supel-Inert à l'aide d'une pompe à air sur 2 spots chauds identifiés préalablement au FID ;
- Conditionnement et envoi des échantillons au laboratoire pour analyses butane/propane en urgence.



Prélèvement de gaz de sol selon le protocole n°2

Ces protocoles ont été réalisés lors de la première campagne au plus près des installations de GPL et sur un périmètre élargi lors d'une seconde campagne une semaine plus tard.



Moyens matériels déployés en urgence

Il n'a pas été mis en évidence de migration des gaz de sol au-delà du périmètre de la station-service.

**Une approche avec des outils de mesure de terrain adaptés aux molécules et à l'urgence**

L'association des micro-sondages ciblés au droit des réseaux et le déploiement rapide de la sonde mobile FID embarquée déployée par IRH, filiale d'Antea Group spécialisée dans la Mesure, a permis de fournir des résultats instantanés au fur et à mesure de la progression, tout en garantissant un niveau de sécurité optimum pour les équipes sur place. En effet, le PID habituellement

mis en œuvre pour la détection semi-quantitative de gaz du sol in-situ n'était pas adapté à la petite taille des molécules recherchées.

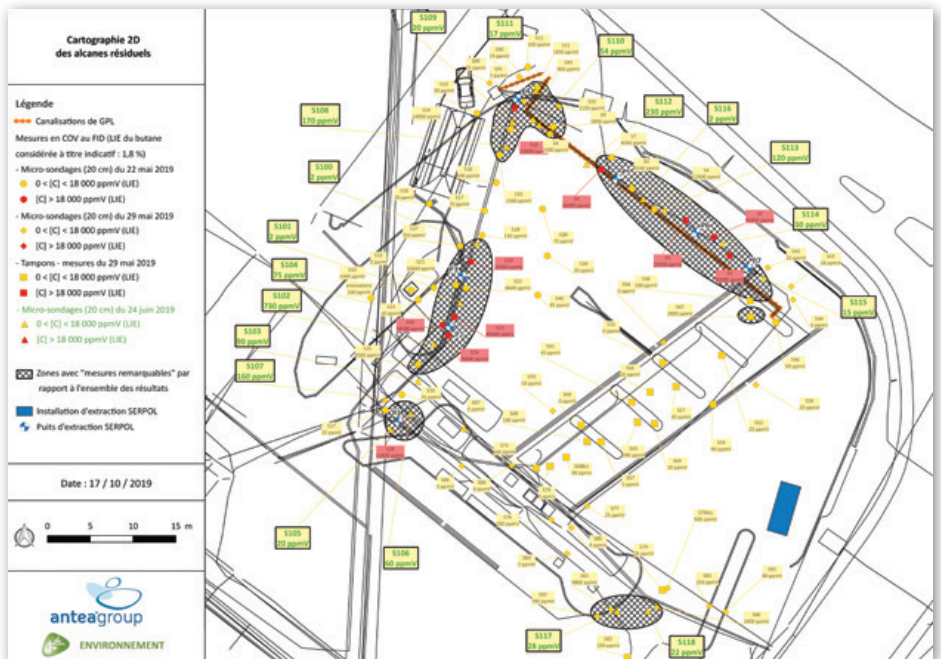
**Des travaux ciblés en délais réduits**

Lors de cette première campagne, des teneurs en alcanes résiduels dépassant la LIE<sup>3</sup> ont été mises en évidence sur 4 zones majoritairement au droit de réseaux enterrés.

Dès lors et sans attendre la seconde campagne, Antea Group a préconisé la mise en place de mesures correctives afin de supprimer le risque d'explosion par une ventilation du sous-sol.

La société SERPOL, spécialisée en travaux de dépollution, a été sollicitée en urgence et a su déployer en moins d'une semaine une solution technique adaptée à la situation.

En concertation avec Antea Group, il a été proposé une extraction des gaz ciblée sur les zones spots impactées. Compte tenu de la nature



Cartographie 2 D des alcanes résiduels

3- LIE : Limite Inférieure d'Explosivité

des gaz, de leur caractère très inflammable et non adsorbable sur du charbon actif, ainsi que de leurs concentrations élevées, un traitement sur site par oxydation catalytique a été retenu. Pour ce faire, le matériel a été équipé d'un catalyseur spécifique pour les alcanes. Un tel système de traitement permet de dégrader sur site les hydrocarbures volatils extraits en vapeur d'eau et en CO<sub>2</sub>, en passant à travers un four catalytique chauffé autour de 350°C. L'intérêt de cet appareil est de fonctionner en auto-thermie à partir du moment où les gaz apportés dans le four sont suffisamment chargés en composés à dégrader, pour des teneurs comprises entre 2 et 6 g/m<sup>3</sup>. En-deçà, un complément d'énergie électrique est nécessaire pour maintenir une bonne température permettant la dégradation des composés, et au-delà, il est nécessaire de réaliser une dilution du flux entrant pour ne pas induire une chauffe excessive et une dégradation du catalyseur.

## Un traitement efficace

Sur site, l'extraction des gaz a été mise en œuvre via des puits en gros diamètre (200 mm) implantés directement dans les remblais des réseaux. Ces puits ont été réalisés sous aspersion d'eau et contrôle atmosphérique (balise) à la mini-pelle et à pied d'œuvre à la pelle manuelle. Du fait de la dangerosité et de la concentration des gaz extraits, notamment vis-à-vis de la LIE, la régulation du fonctionnement de l'installation de traitement est délicate. Ceci a donc nécessité un protocole de suivi spécifique et journalier par un technicien spécialisé de SERPOL. De nombreux réglages ont dû être effectués tout au long du traitement pour adapter et optimiser le fonctionnement, notamment en régulant le niveau de dilution et les débits d'extraction et en modifiant le nombre d'ouvrages exploités en fonction des variations de teneurs entrant dans l'unité de traitement des gaz.



Puits et réseaux d'extraction des gaz

Le système mis en place a permis d'extraire et de traiter 45 000 m<sup>3</sup> d'air du sol en deux semaines et de baisser les teneurs maximales dans les gaz de 76 000 ppmV à 730 ppmV. Une campagne de réception, réalisée par Antea Group un mois après le premier diagnostic, a validé les mesures effectuées lors du traitement et la réception de celui-ci.

L'exploitant a ainsi pu redémarrer dans un délai très court les activités de sa station-service dès le repli des installations de traitement.

Hervé TURPIN, ANTEA GROUP

Pierrick LAFARGUE, SERPOL



Catalyseur oxydatif

## // DONNÉES ÉCONOMIQUES

Chaque année, l'UPDS est la seule entité à consolider les chiffres d'affaires dans le domaine des sites et sols pollués réalisés par ses adhérents sur l'année N-1. Ces données sont très attendues par les organismes qui réalisent des études sur l'évolution du marché français des sites et sols pollués.

# ACTIVITÉ DES ADHÉRENTS DE L'UPDS DANS LE DOMAINE DES SSP

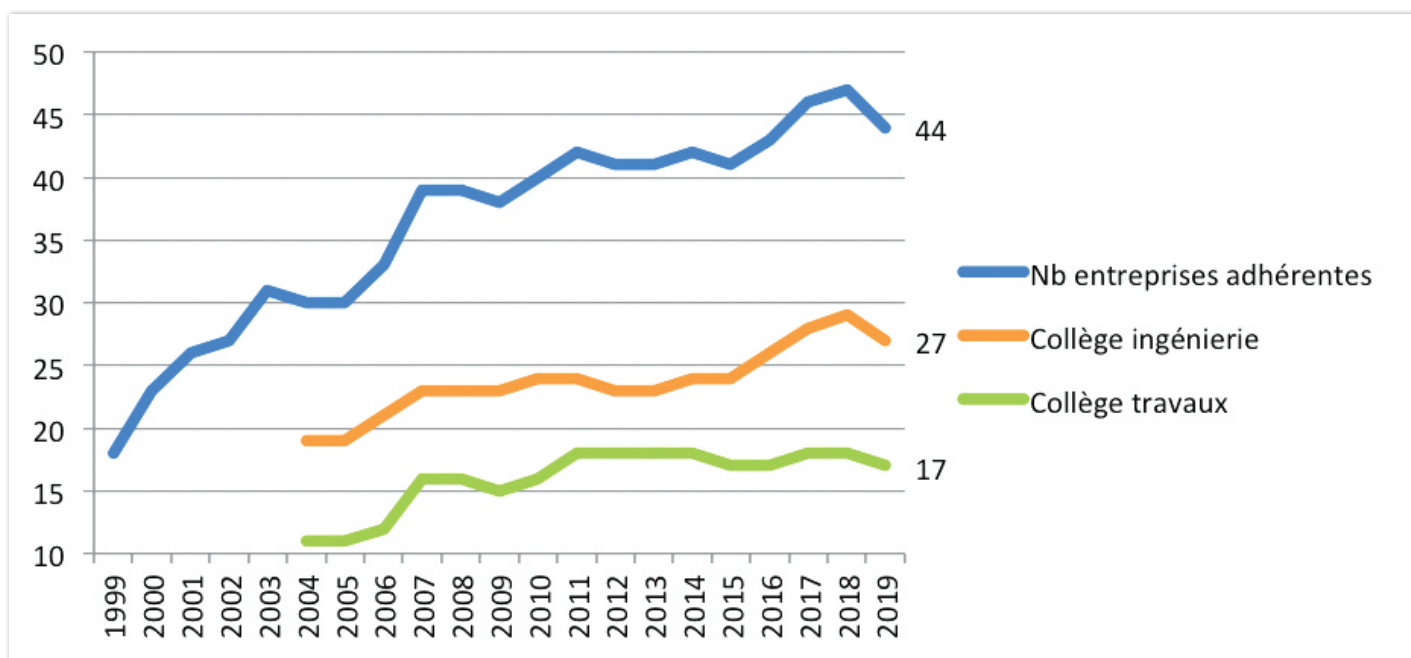
### Un nombre d'adhérents qui varie au gré de la vie des entreprises

En 2018, l'UPDS a eu le plaisir de voir le nombre de ses adhérents progresser du fait de l'arrivée de deux bureaux d'études dans le collège ingénierie : SEREA et FONDASOL.

En 2019, l'UPDS regroupe 44 sociétés adhérentes, 27 dans le collège ingénierie (du fait de la fusion entre AN-TEAGROUP et ICF Environnement et, malheureusement, du départ de SCE) et 17 dans le collège travaux (du fait du départ de RAMERY Revitalisation, puisqu'APOGEO, une des filiales du groupe, est déjà membre).

### Une progression du CA SSP en 2018

Après être resté globalement stable entre 2016 et 2017, le chiffre d'affaires des adhérents de l'UPDS repart à la hausse en 2018. Ce sont les travaux qui présentent la plus belle croissance, avec une progression du



Evolution du nombre d'adhérents de l'UPDS sur 20 ans - période 1999-2019





chiffre d'affaires de 9% entre 2017 et 2018, là où les études se contentent d'une progression de 3,3%.

L'évolution moyenne du CA SSP des adhérents de l'UPDS présente une progression moyenne de 4% par an sur 10 ans (période 2008/2018). Cet enthousiasme est toutefois tempéré par le resserrement des marges et par le fait que ces évolutions sont souvent le fait de chantiers ponctuels de grande envergure.

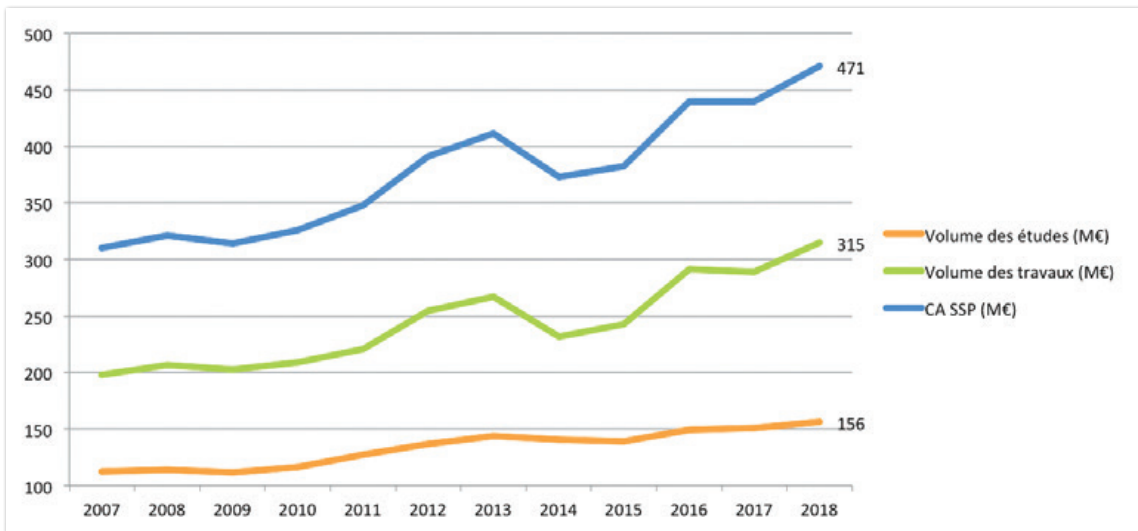
### L'UPDS, reflet de la diversité des profils de sociétés du domaine des SSP

L'UPDS rassemble des sociétés de tailles très différentes. En effet, 50% des adhérents de l'UPDS (18 bureaux d'études et 4 sociétés de travaux) ont un chiffre d'affaires inférieur à 5 M€. Cette diversité de profils participe à la richesse des échanges lors des réunions.

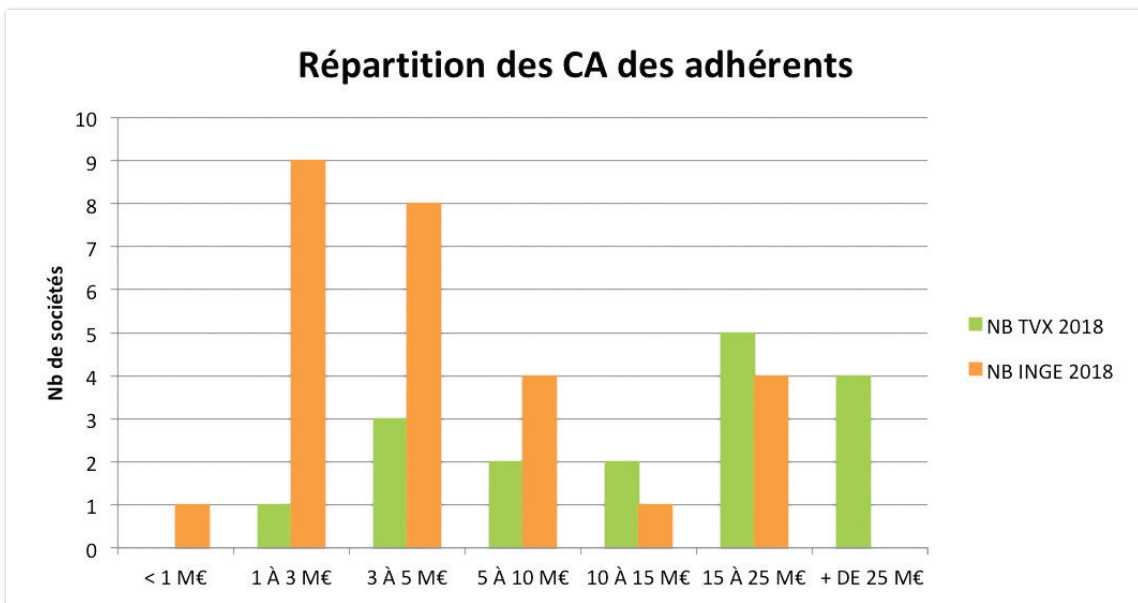
### Une proportion de salariées qui augmente

Les femmes représentent 37% des salariés de l'UPDS. Ce chiffre est en constante progression. On compte toujours plus de femmes dans le collège ingénierie (45 %), qui s'approche de la parité, que dans le collège travaux (26%), mais ce dernier rattrape peu à peu son retard.

Christel de LA HOUGUE - UPDS



Evolution du chiffre d'affaires des adhérents de l'UPDS - Période 2007-2018



## // DONNÉES ÉCONOMIQUES

Après une croissance annuelle des chiffres d'affaires des acteurs de la dépollution des sols de 4,4% entre 2015 et 2018, l'étude du groupe XERFI<sup>1</sup>, publiée le 26 mars 2019, prévoit un ralentissement de cette croissance, évaluée à 2% par an jusqu'en 2021. Des signes encourageants invitent toutefois à l'optimisme.

# LA DÉPOLLUTION DES SOLS, UN MARCHÉ ATONE ?

Dans son étude intitulée « Le marché de la dépollution des sols à l'horizon 2021. Quels leviers et perspectives de croissance pour les acteurs ? », XERFI s'attache à évaluer les perspectives de croissance des acteurs de la dépollution. Cette étude s'intéresse principalement aux entreprises en charge de la réalisation des travaux de réhabilitation.

### Une conjoncture qui reste favorable

Sur la période 2015-2018, une conjoncture favorable portée par le dynamisme du marché de la construction de nouveaux logements, de locaux tertiaires et de surfaces industrielles a permis aux entreprises de dépollution d'accroître leur CA de 4.4% par an. Cette embellie a connu début 2018 un ralentissement en raison du recul des mises en chantier de logements et de locaux commerciaux.

Néanmoins, l'étude n'entrevoit qu'un impact limité sur le dynamisme du

secteur avec un taux de croissance annuelle de 2% d'ici 2021. Ce recul est selon l'étude, notamment compensé par une mutation des besoins en fonciers portée par les acteurs de l'immobilier de logistique. L'essor de l'e-commerce et la redéfinition des modes de distribution des produits (p. ex. Drive) poussent ces acteurs vers la recherche de fonciers pour y construire des entrepôts. En raison de leur localisation stratégique, les anciens sites industriels deviennent alors attractifs, permettant d'accélérer les travaux de dépollution.

### Des leviers de croissance déjà présents et en devenir

Le secteur de la dépollution peut asseoir son développement sur des leviers existants. Par exemple, la densification urbaine se caractérise par une demande croissante de foncier à l'intérieur et en périphérie des grandes villes. Les friches jusqu'alors délaissées sont aujourd'hui intéressantes. D'ailleurs,

après plusieurs années d'observation, certains fonds d'investissements spécialisés dans la réhabilitation de sites pollués utilisent le statut de tiers-demandeur, introduit par la loi ALUR en 2014, pour saisir ces opportunités.

L'État et les collectivités, conscients des enjeux d'aménagement du territoire, sont également des vecteurs de croissance par les financements directs de grands projets (Grand Paris Express, Jeux olympiques) nécessitant souvent des travaux de dépollution, ou à travers le soutien de partenaires privés porteurs de projets d'aménagement.

L'opinion publique peut aussi promouvoir indirectement les travaux de dépollution. En effet, les questions de santé publique et de préservation de la biodiversité sont de plus en plus au cœur des préoccupations de nos concitoyens, conduisant les donneurs d'ordres à réhabiliter les friches, leur donnant ainsi un nouveau souffle.



1- Groupe XERFI. Le marché de la dépollution des sols à l'horizon 2021. Quels leviers et perspectives de croissance pour les acteurs ? , mars 2019. 245 pages. Etude disponible sur [www.xerfi.com](http://www.xerfi.com)

## De nouveaux usages qui ne conduisent malheureusement pas forcément au traitement des sols

L'étude indique également que ces prises de conscience conduisent parfois à diriger les friches vers de nouveaux usages. La création de centrales photovoltaïques ou de fermes hors-sol favorisant les circuits courts de distribution, limite malheureusement souvent la portée des travaux de traitement des sols.

## Une pression tarifaire intensifiée

Selon XERFI, la pression tarifaire sur les travaux sera toujours plus forte jusqu'en 2021. La maturité du mar-

ché de la dépollution qui tend vers la standardisation des solutions proposées, la montée en compétence des donneurs d'ordres renforçant leur pouvoir de négociation, conduiront à une déflation des prix. Les traitements in situ, plus longs mais jugés moins onéreux (en moyenne trois fois moins chers) que les filières hors sites (à technologie équivalente) tendent à être favorisés.

## La maîtrise des charges et l'innovation, facteurs clés de la réussite

Dans ce contexte de pression croissante sur les prix, la préservation de la rentabilité passe nécessairement par l'adaptation des modèles économiques de chaque entreprise.

La dépollution nécessitant de multiples compétences et savoir-faire, certains acteurs appliquent une stratégie d'intégration verticale visant à maîtriser l'ensemble de la chaîne de valeur. D'autres font le choix de la diversification afin d'élargir leur portefeuille.

Les acteurs poursuivent leurs efforts d'innovation pour trouver des nouvelles techniques de dépollution et pour proposer de nouveaux produits et services digitaux, axe de différenciation et de croissance déjà mis en œuvre par certains acteurs (BIM<sup>2</sup>, big data, etc.). L'optimisation des modes de production par l'utilisation du digital est également une orientation marquée.

Damien FAISAN - UPDS



## // ACTUALITÉS

## LES DERNIÈRES PUBLICATIONS EN LIEN AVEC LES SSP

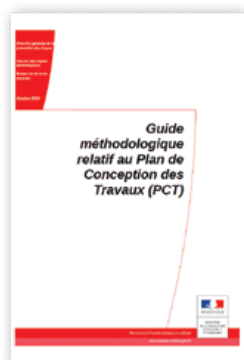
### Guide méthodologique relatif au Plan de Conception des Travaux (PCT)

Ministère de la Transition  
Ecologique et Solidaire

Publié le 7/11/19

[Télécharger le guide](#)

La mise à jour de la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués, publiée le 19 avril 2017, a introduit un nouvel outil dénommé Plan de Conception des Travaux (PCT). Ce guide précise le périmètre et le contenu du Plan de Conception des Travaux mais aussi son articulation avec les autres outils de la méthodologie, notamment avec le plan de gestion. Il apporte également un éclairage sur les modalités de commande ainsi que sur le rôle et les responsabilités de chacun des acteurs dans sa déclinaison.



### Vidéo - Prélèvements de sols pour les composés organiques, y compris vo- latils.

Prestations A200, A260  
selon norme NF X31 620-2

BRGM

Publié le 7/11/19 .

[Cliquer ici](#)

Ce tutoriel a été réalisé dans le cadre du Groupe de Travail «Echantillonnage» du MTES dont l'UPDS est membre. Il s'adresse aux opérateurs procédant à l'échantillonnage des sols lors des diagnostics de site et sols (potentiellement) pollués. Il a pour objectifs l'amélioration des pratiques d'échantillonnage de sols et la limitation de leur impact sur les résultats d'analyse. Il présente les méthodes d'échantillonnage des



sols pour la recherche de composés organiques (notamment les volatils), les bonnes pratiques pour minimiser les pertes, obtenir un échantillonnage représentatif du milieu étudié et limiter les impacts liés à l'échantillonnage ainsi que les principales causes de perte des composés organiques.

### Diaporamas présentés lors de la journée tech- nique SSP du MTES qui s'est tenue le 7/11/19

Publiés le 12/11/19

[Cliquer ici](#)



## // ACTUALITÉS

---

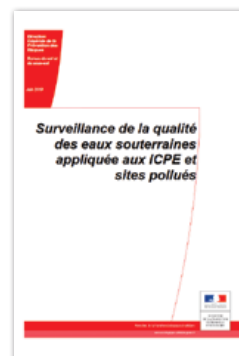
### Guide Surveillance de la qualité des eaux souterraines appliquée aux ICPE et sites pollués

Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire

Publié le 28/06/19

[Cliquer ici](#)

Il s'agit de la mise à jour du guide, rédigé par l'INERIS et le BRGM, initialement publié en mai 2018.



---

## LES DERNIÈRES PUBLICATIONS EN LIEN AVEC L'HYGIÈNE ET LA SÉCURITÉ

### Les appareils de protection respiratoire Choix et utilisation

INRS

Publié en août 2019

[Télécharger le guide](#)

Ce guide s'adresse à toute personne qui, en situation de travail, doit procéder au choix d'un appareil de protection respiratoire pour une situation de travail où il existe un risque d'altération de la santé par inhalation d'un air pollué par des gaz, vapeurs, poussières, aérosols ou d'un air appauvri en oxygène.



# LA RECONVERSION DES FRICHES, UN ENJEU MAJEUR POUR LES TERRITOIRES

## RECONVERTIR LES FRICHES POLLUÉES

24-25 MARS 2020

PALAIS DES CONGRÈS

PARIS - Porte Maillot

6<sup>e</sup> ÉDITION

Véritables opportunités foncières à considérer dans les stratégies de territoires et de développement des projets d'aménagement, les friches sont au centre de toutes les attentions.

Pour accompagner les acteurs publics et privés dans la planification territoriale et/ou la conduite de leur projet d'aménagement, de développement ou de renaturation sur foncier dégradé, l'ADEME organise avec ses partenaires **les 24 et 25 mars prochains, la 6<sup>e</sup> édition des journées techniques nationales « Reconvertir les friches polluées ».**

Cet évènement rassemble l'ensemble des intervenants majeurs du secteur et est l'occasion pour vous de faire le point sur les démarches, méthodes, outils disponibles et de partager le retour d'expérience des opérateurs de terrain.

Retrouvez le programme et les informations d'inscription sur :  
[www.reconversion-friches.ademe.fr](http://www.reconversion-friches.ademe.fr)

 #JTFRICHES2020

