

## Projet en cours - Résultats à ce jour :

### Déchloration réductive avancée dans un aquifère aérobie à débit rapide, France

avec Studio Maffezzoli et Ortec

Géologie	Sable
Contaminant visé (COC)	PCE
Gamme de COC	1,300 µg/L dans l'aquifère, 32 µg/L dans les eaux superficielles hors
Taux ciblé	3-10 m sous la surface du sol
Zone de traitement et épaisseur	120,000 m <sup>3</sup>
Utilisation précédente du site	Établissement de fabrication de métaux
Motivation du projet	Risque inacceptable persistant pour les récepteurs
Détails de la conception du produit	3DMe® et HRC®



#### Introduction

La déchloration réductive avancée (ERD, Enhanced Reductive Dechlorination) par biostimulation et manipulations d'oxydoréduction est une méthode de traitement bien établie pour la contamination par solvants chlorés dans les eaux souterraines. Cependant, elle est parfois jugée inappropriée quand les conditions naturelles ne sont pas déjà propices à l'atténuation anaérobie, comme les aquifères hautement aérobies ou les eaux souterraines à débit rapide.

L'utilisation de dosages microbiens ou de tests de PCR peut potentiellement renforcer cette opinion, lorsque l'échantillonnage de référence ne démontre que peu, voire aucune preuve de déhalorespiration par certains microorganismes ou de déchloration réductive active. Cependant, l'ERD peut être réalisée dans ces situations par la création et le maintien de conditions d'oxydoréduction idéales, couplées à un apport à long terme de donneurs terminaux d'électrons.

Regenesis a réussi à dépolluer de nombreux sites par ERD, où les conditions initiales semblent peu prometteuses, en utilisant le composé à libération d'hydrogène (HRC, Hydrogen Release Compound) et les technologies sur substrats 3-D Microémulsion (3DMe). Cette étude de cas illustre cette approche et présente des données provenant d'un site en cours de traitement.

#### Le Site

L'eau souterraine sous un établissement opérationnel de fabrication de métaux dans l'Est de la France a été affectée par du tétrachloroéthylène (également connu sous le nom de perchloroéthylène (PCE)) à la suite de fuites et de déversements antérieurs au niveau du site. L'aquifère sous-jacent comprend une formation de sable hautement perméable, ayant permis une vitesse d'écoulement de l'eau souterraine supérieure à 300 m/an. Ceci a entraîné la formation d'un vaste panache en phase dissoute au niveau du site. La contamination s'est répandue sur 260 m, avec des concentrations allant jusqu'à 1 300 µg/L et sans source évidente, bien que de multiples zones aient été suspectées. La contamination s'étendait également du haut de la nappe d'eau souterraine environ 3 m sous la surface du sol jusqu'à 10 - 13 m sous la surface



Fig. 1 Établissement de fabrication de métaux



Fig. 2 Lac de pêche affecté dans les environs

du sol (les solvants chlorés avec leur densité élevée et leur faible viscosité ont tendance à se déplacer vers le bas dans la colonne d'eau). L'afflux d'eau souterraine était également très aérobie, il y avait donc très peu d'atténuation biologique naturelle du PCE.

Le principal risque lié au panache de PCE était dû à sa migration au-delà des limites du site dans un lac de pêche à proximité. Lorsque les concentrations de contaminants pouvaient être mesurées dans l'eau du lac (32 µg/L PCE). La contamination posait également un risque potentiel pour la santé humaine sur le site.

### Stratégie de dépollution

Studio Maffezzoli et Regenesis ont conçu, et Ortec a mis en œuvre, une stratégie ERD in situ sûre, économique et rentable, sans précédent dans cette partie de la France.



Fig. 3 Les bâtiments et l'activité sur le site rend l'accès difficile dans certaines zones

Même si aucune des valeurs cibles spécifiques au site n'a été fixée pour ce projet, l'intention de la stratégie de dépollution est d'empêcher la migration du panache hors du site, atténuant ainsi l'impact sur le lac de pêche et réduisant également le risque pour la santé humaine sur le site.

Il existe plusieurs lieux de déversement potentiels sur le site et comme la grande vitesse d'infiltration a créé un panache de grande envergure avec de faibles concentrations, il a été difficile de délimiter précisément les zones sources. Les bâtiments et l'activité sur le site ont également rendu l'accès au site difficile dans certaines zones pour effectuer des analyses. En conséquence, une stratégie de dépollution a été adoptée, avec une série de barrières utilisées afin de traiter le panache autant que possible dans la mesure où l'accès reste rentable. En continuant à surveiller, il se peut que des zones plus récalcitrantes soient observées, permettant d'obtenir une meilleure résolution sur les emplacements des sources. Ensuite, une analyse supplémentaire du site au cours de la période de validation peut également être effectuée afin de déterminer si une deuxième dose adaptée à l'emplacement pourrait être complétée dans ces zones.

L'approche de dépollution visait également à minimiser les perturbations de cette usine opérationnelle au fort taux d'activité. Il a donc été décidé d'utiliser Microémulsion 3D (3DMe) car cela stimule l'ERD à partir d'une seule application pendant une durée allant

jusqu'à 5 ans (bien qu'il soit prévisible qu'elle soit légèrement inférieure dans un site au débit rapide comme celui-ci), réduit le nombre de sites d'injection au minimum et évite l'utilisation de tout équipement d'abstraction matérielle sur le site. 3DMe fournit trois phases de libération d'électrons à partir d'un concentré unique de molécules polaires spécialement conçues. Lors de son mélange avec de l'eau sur le site, 3DMe forme une microémulsion de volume élevé, sans besoin d'émulsifiants. Lors de son injection dans les eaux souterraines, 3DMe se déplace initialement dans la formation et s'adsorbe sur les particules du sol.

Comme la molécule est conçue pour être suffisamment soluble, elle est ensuite à nouveau dissoute progressivement dans les eaux souterraines, où elle fermente pour stimuler l'ERD, mais atteint également sa concentration critique de micelles (300 ppm), se reforme en microémulsion et s'éloigne du point d'injection.

Ce processus se répète afin d'« autodistribuer » 3DMe sur de grandes distances dans la subsurface, sans qu'elle soit emportée. Ce mécanisme permettait un plus grand espacement des injections, réduisant ainsi le nombre de sites d'injection.

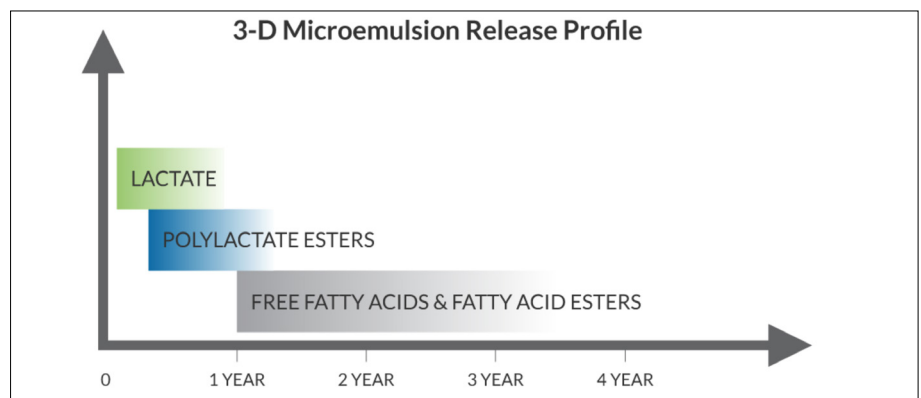


Fig. 4 Profil de libération des donneurs d'électron 3DMe

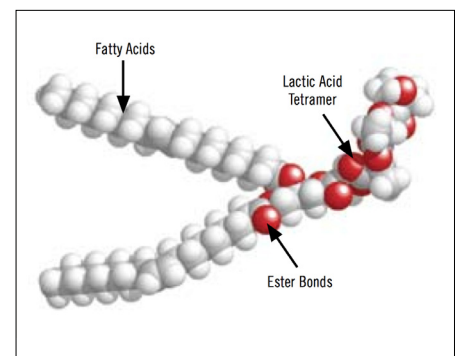


Fig. 5 3DMe Molecular Structure

Ceci a ensuite permis de réduire au minimum à la fois le coût et la perturbation sur le site. La capacité de 3DMe d'enduire la subsurface sans être emporté, tout en étant suffisamment soluble pour fournir une concentration de donneurs terminaux d'électrons efficace dans les eaux souterraines, le rendent idéal pour ce site à fort débit.

La première phase du traitement a été appliquée en mars 2012. 3DMe a été appliqué dans six « barrières » installées perpendiculairement à l'écoulement de l'eau souterraine. Chaque injection consistait à enfoncer une tige d'injection de poussée directe dans la subsurface et à appliquer la dose requise dans la zone cible verticale. Les injections ont été ensuite répétées dans une rangée sur toute la largeur du panache. 3DMe s'autodistribue ensuite à partir de ces emplacements pour créer un large rayon d'influence (ROI, radius of influence), qui se verrouille, créant une zone de traitement anaérobie dans laquelle les bactéries déchlorurantes réductrices peuvent se multiplier. Alors que l'eau souterraine circule à travers les zones de traitement (ou « barrières », voir Fig. 6), la déhalorespiration par certains microorganismes dégrade biologiquement la contamination par déchloration réductive, renforcée par la création et le maintien des conditions idéales d'oxydoréduction et un apport continu d'hydrogène dissous.

Une approche barrière a été choisie pour minimiser les coûts tout en assurant le traitement de l'ensemble du panache, grâce à la migration de la contamination entre les barrières dans la zone de traitement suivante en aval. Afin de dépolluer un panache de 12 000 m<sup>2</sup> à une profondeur de 13 m sous la surface du sol, le traitement comprenait une injection unique dans 45 points, espacés de 4 m à l'intérieur de 6 barrières. Les travaux ont pris seulement 15 jours, avec le traitement in situ prévu durer plusieurs années.

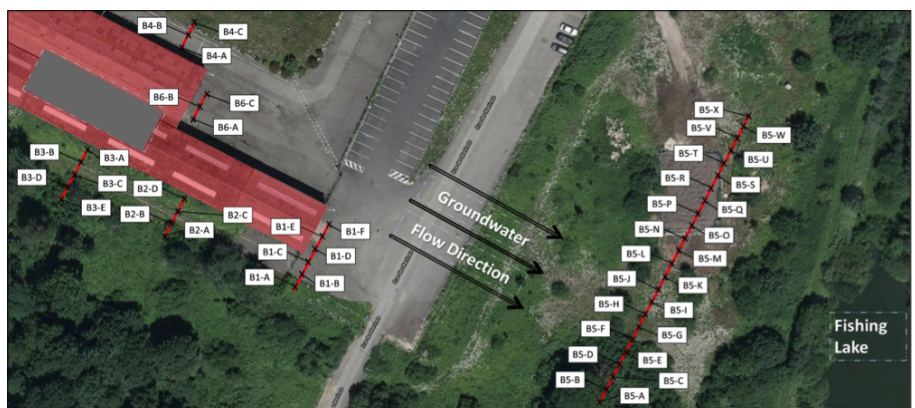
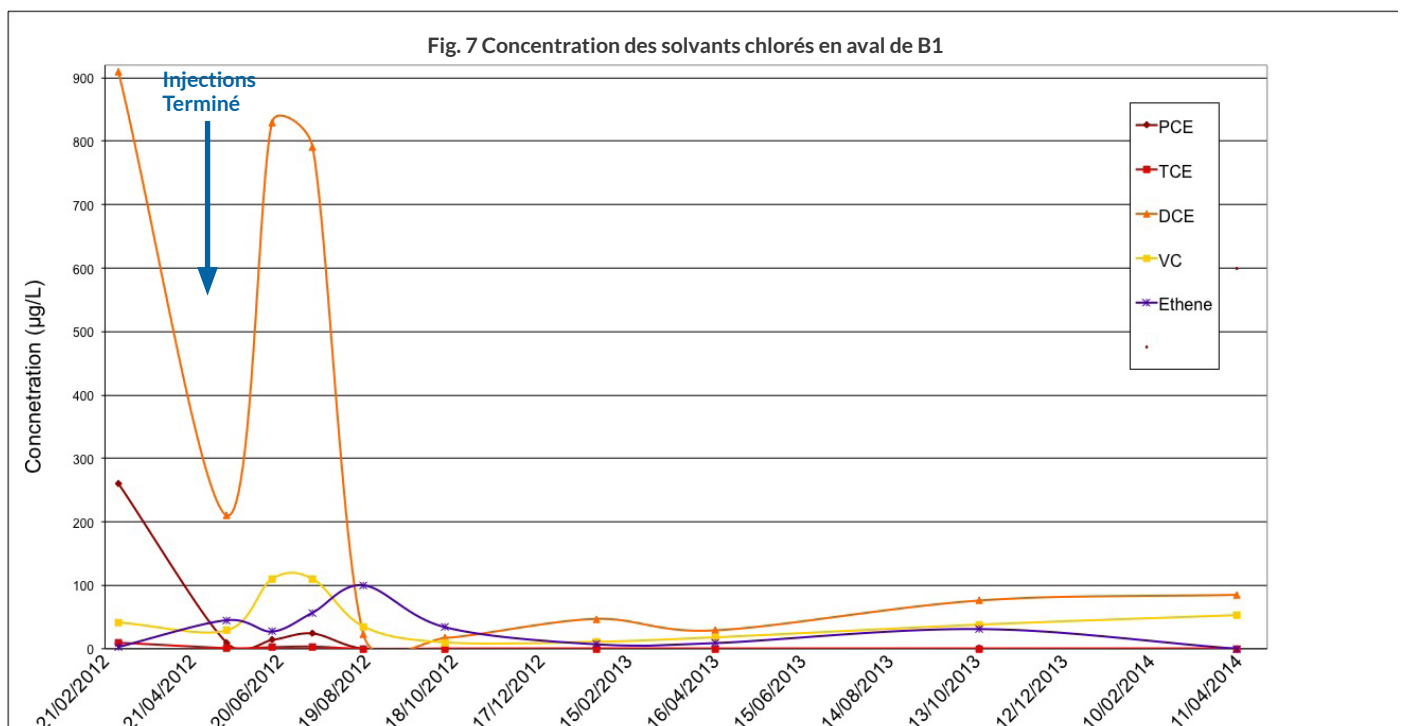


Fig. 6 Emplacements des zones de traitement (« barrière »)

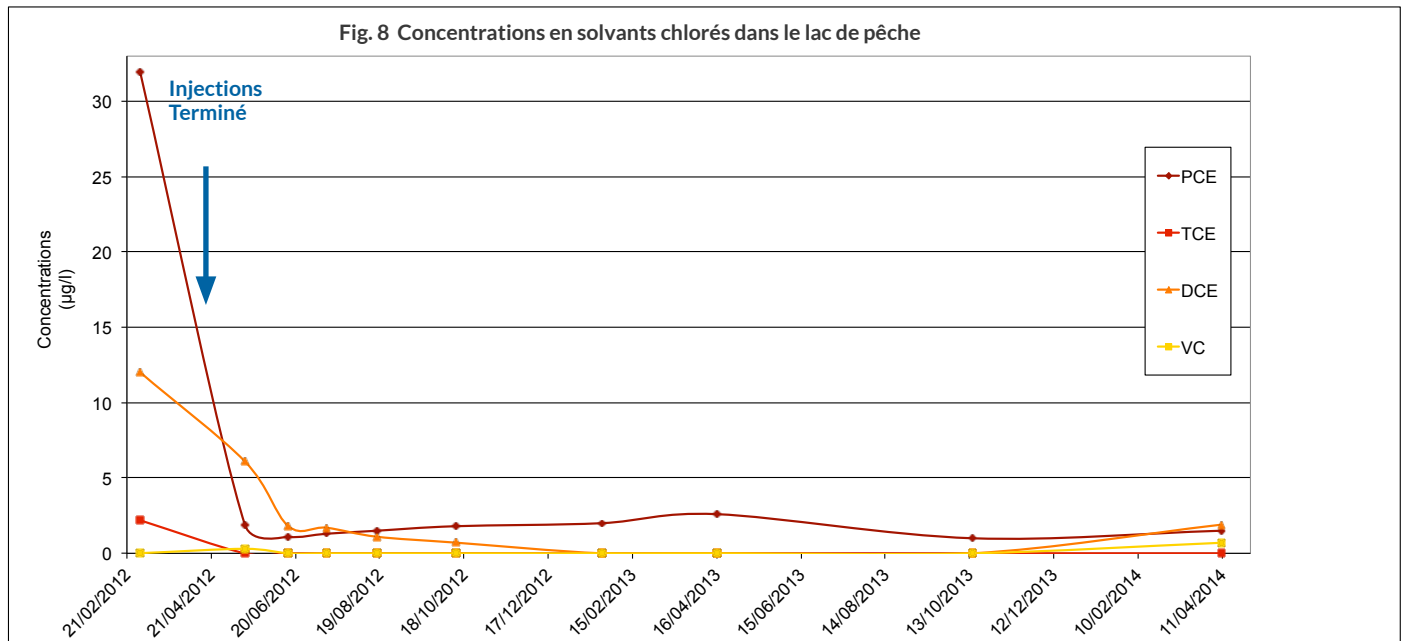
## Résultats

Après l'application, une réduction rapide des concentrations de PCE a été observée dans tous les puits en aval des barrières sur le site. Dans la Fig. 7, on peut voir que les concentrations de PCE ne peuvent pas être détectées après seulement 5 mois. L'application a donné lieu à la production séquentielle et à la décomposition des produits de filiation et à une augmentation de la production d'éthylène démontrant qu'une déchloration réductive complète a été obtenue.



Les faibles taux constants de DCE et VC (vinyl chloride, chlorure de vinyle) en aval de la barrière démontrent qu'il existe un léger flux résiduel de PCE/TCE dans la barrière, qui est entièrement déchloré. Ortec est en train d'effectuer des analyses supplémentaires afin de localiser la source et de cibler un traitement ultérieur.

Dans la figure 8, on peut voir que les concentrations de PCE dans le lac de pêche ont été rapidement réduites après l'application et sont restées faibles depuis. Les produits de dégradation ont été également réduits à des taux presque



## Conclusions

24 mois après le traitement, la concentration de PCE au niveau du site et dans le lac de pêche a été considérablement réduite, sans accumulation de produits de filiation. Dans les emplacements de surveillance en aval des barrières du site, les concentrations des composés mères ont été réduites à des taux indétectables, empêchant toute nouvelle évacuation de contaminants du site. Avec seulement 15 jours de travail sur le terrain, deux ans de dépollution ont été réalisés jusqu'à présent, surmontant les conditions difficiles de l'aquifère pour réussir à créer et à maintenir un traitement ERD.

Une analyse plus poussée intrusive a récemment commencé dans le but de localiser toute zone de source résiduelle sur le site, qui peut ensuite être ciblée avec précision. Pendant ce temps, le produit 3DMe appliqué sur le site continuera à rester actif pendant plusieurs mois/années à venir, en continuant à dégrader tout afflux de contaminants et à protéger à la fois l'environnement en dehors du site et le personnel du site.

**Pour de plus amples informations ou pour parler de votre projet, veuillez contacter :**

Kris Maerten  
Regenesis  
Responsable Technique, Europe

kmaerten@regenesi.com  
+32 (0)498 57 26 90

### Coordonnées

Consultant :  
Ing. Umberto Maffezzoli  
Studio Maffezzoli  
studio@maffezzoli.191.it  
+39 (0)376 328 133

Sous- traitant :  
Fanette Meuley  
ORTEC  
fanette.meuley@ortec.fr  
+33 (0) 442 121 397