

MISE EN ŒUVRE D'UNE SOLUTION D'ÉLECTROREMÉDIATION FENTON OPTIMISÉE

- Application avec la technologie EBR®



I – LA RÉACTION DE FENTON

- La technologie EFO est basée sur le procédé d'oxydation de Fenton :

- [1] : $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$
 - [2] : $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \cdot\text{OH} + \text{OH}^-$
 - [3] : $\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}$

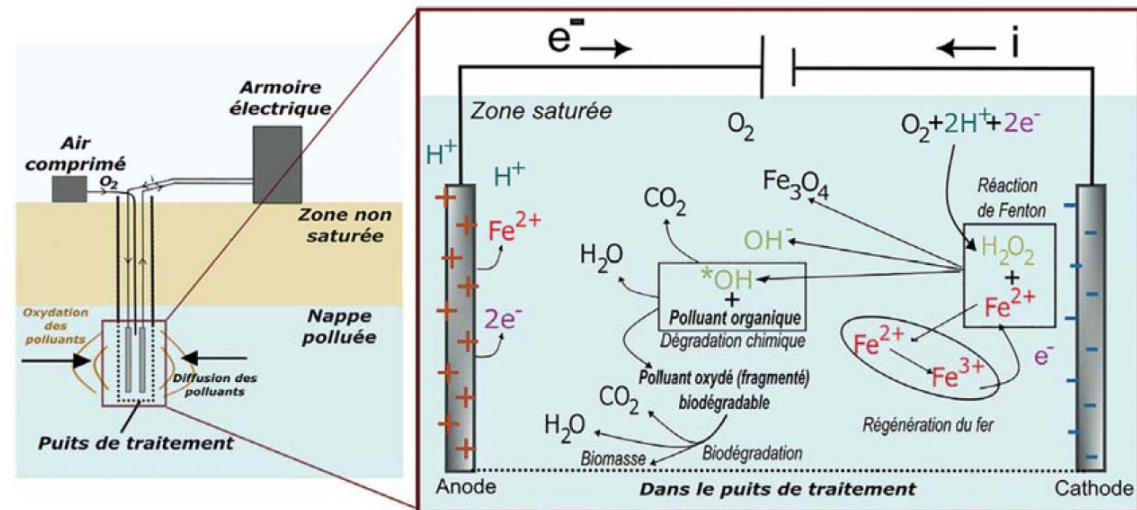
→ Génération de H_2O_2 par voie électrolytique sur électrodes à revêtement spécifique

→ Génération d'ions Fe^{2+} par électro-oxydation d'électrodes de fer

→ Production in situ et contrôlée de radicaux pouvant dégrader les polluants et facilitant leur biodégradabilité sans détruire l'écosystème microbiologique du sol

→ Production annexe de magnétite avec régénération des radicaux

- Réf. fiches technologies innovantes par le BRGM décembre 2024



Source BRGM



2 – CONTEXTE D'UTILISATION

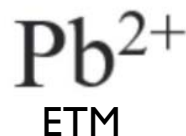
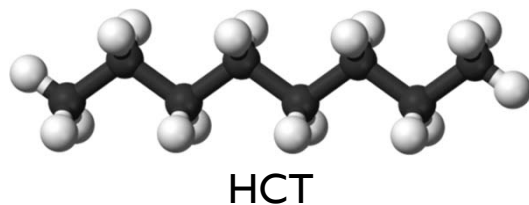
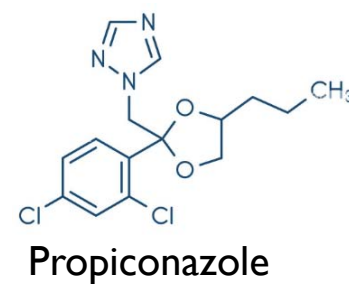
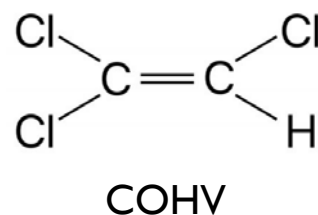
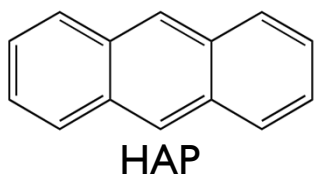
- Dépollution in situ des nappes, uniquement en zone saturée, sans limite de profondeur et quel que soit le niveau piézométrique
- Très adaptée sur des pollutions d'aquifères sensibles en zones alluvionnaires
- Rayon d'action des puits et donc nombre de réacteurs dépend de la nature de l'aquifère et de l'ampérage utilisé
- La présence de structures métalliques enterrées doit être déterminée au préalable



3 – POLLUANTS CONCERNÉS

- Utilisable pour tous les polluants en phase dissoute et phase pure (LNAPL/DNAPL) et pour l'ensemble des polluants sous forme ionisée

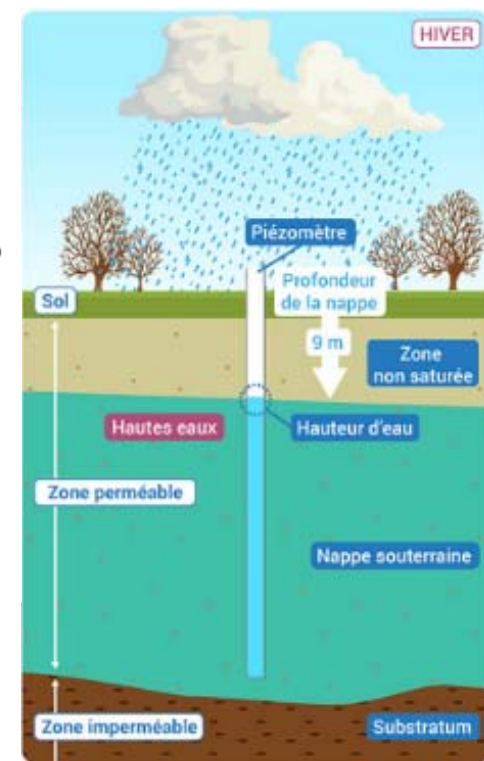
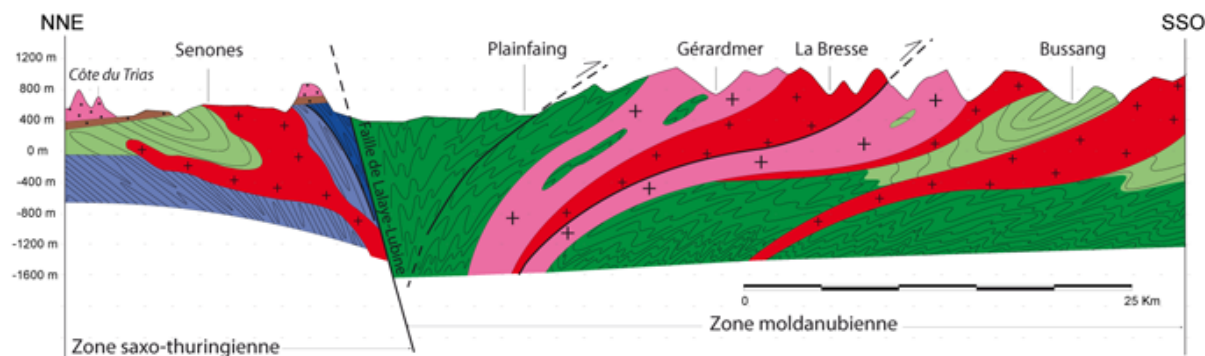
- Validée pour :



4 – MÉTHODOLOGIE SUR UN SITE EN FONCTIONNEMENT

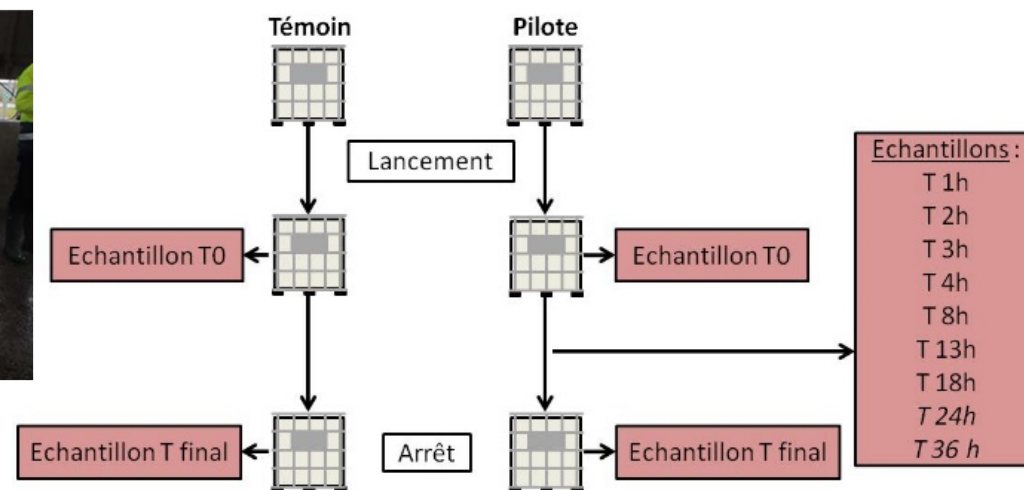
- Etude Hydrogéologique : géologie, aquifère, profondeur, sens d'écoulement...

Vue d'ensemble :



4 – MÉTHODOLOGIE SUR UN SITE EN FONCTIONNEMENT

- Caractérisation préalable et essais de traitabilité : étude hydrogéologique et batch-test

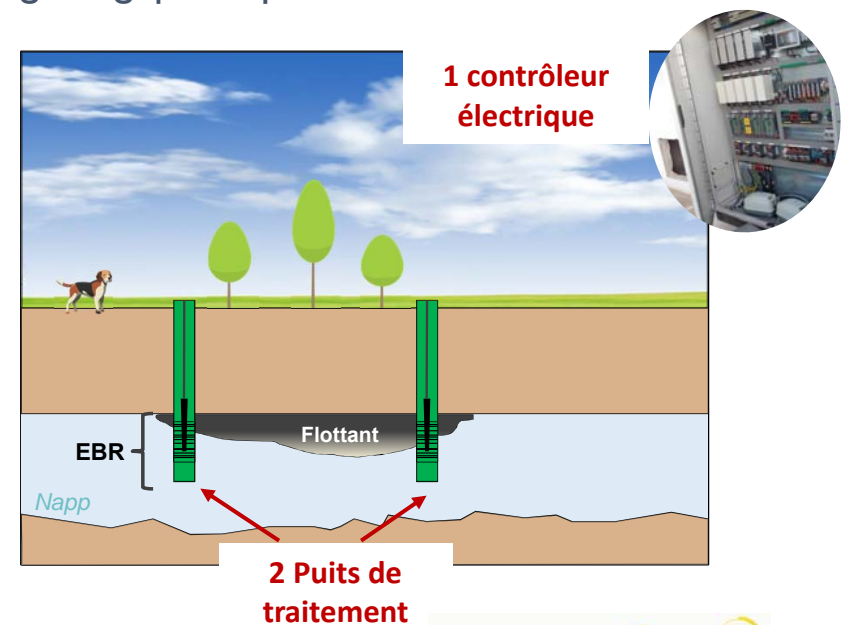


5 - ADAPTATION DU DISPOSITIF EN COURS DE TRAITEMENT

- Essais de faisabilité par pompage différentiel afin de déterminer le rayon d'action du puits

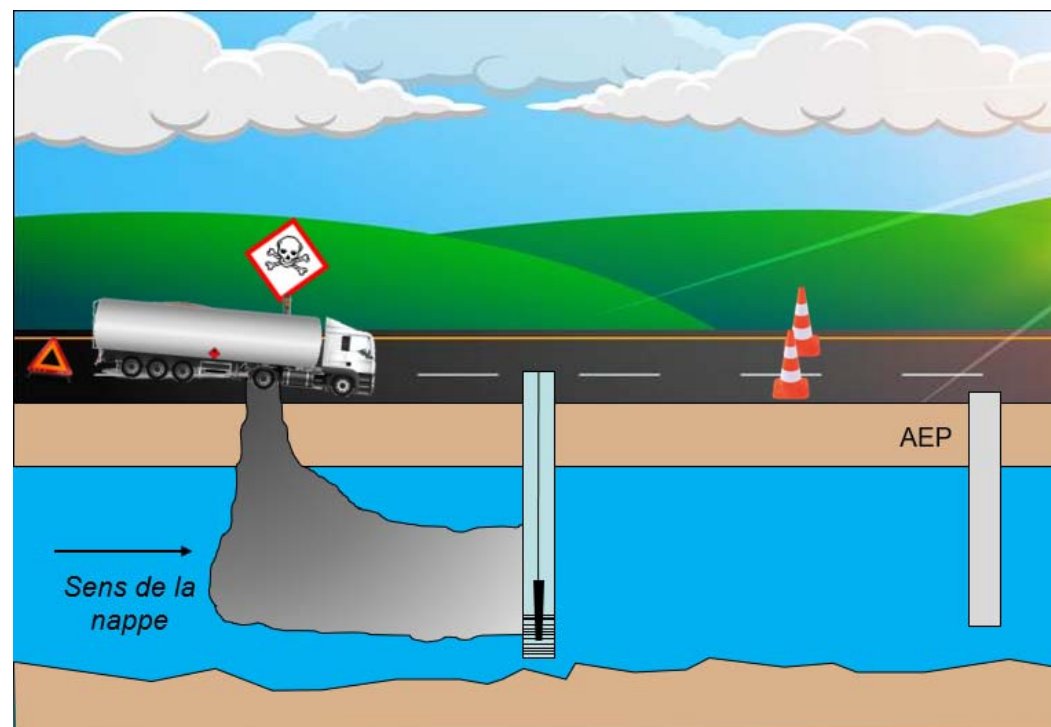


- Positionnement et nombre des puits selon étude hydrogéologique et position de la source



6 – MÉTHODOLOGIE POUR UNE POLLUTION ACCIDENTELLE EN ZONE SENSIBLE

- Pollution Accidentelle
- Polluant sans référence toxicologique
- Enjeux importants
- Hydrogéologie connue
- Intervention en complément du pompage classique
- Sécurité et pérennité
- Présence de puits préventifs sur captages particuliers



7 - ACTION IMMEDIATE

- Evaluation toxicologique du polluant
 - Toxicologie prédictive
- Positionnement des puits de traitement
 - Conjointement aux puits de pompage
- Ajustement de l'intensité électrique selon les résultats du pompage différentiel, **quitte à détruire les électrodes**
- Suivi en temps réel des électrodes



8 – CONCLUSION - PERSPECTIVES

- Applicabilité à d'autres polluants organiques et produits de dégradation
- Optimisation des électrodes et unités de commande
- Utilisation d'un module électrokinétique



POUR ALLER PLUS LOIN

- Technique validée par le BRGM – Fiche technique innovante : <https://ssp-infoterre.brgm.fr/fr/fiches-techniques-innovantes/electroremediation-fenton-optimisee>



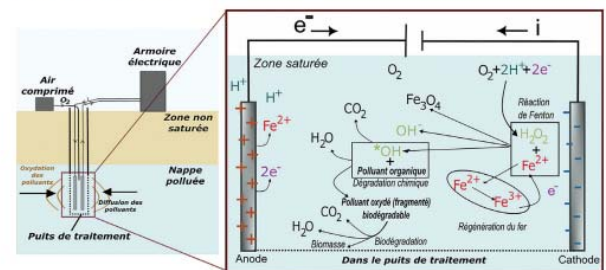
ELECTROREMEDIATION FENTON OPTIMISÉE

TRAITEMENT DES NAPPES PAR ÉLECTROCHIMIE

DESCRIPTION DU PRINCIPE DE LA TECHNIQUE

La technique d'électroremédiation fenton optimisée (EFO) est une technique de **dépollution *in situ* des eaux souterraines par une oxydation chimique optimisée** qui couple l'électrochimie et la réaction de Fenton dans la zone saturée [1]. Elle repose sur l'utilisation, dans un même puits, d'une anode de fer et d'une cathode. Ce réacteur électrochimique est capable de produire *in situ* des radicaux hydroxyles $\bullet\text{OH}$. Ces radicaux hydroxyles sont

des oxydants très puissants ce qui leur permet de **dégrader chimiquement la plupart des composés organiques dont les organohalogénés jusqu'à leur minéralisation totale** (décomposition en CO_2 et H_2O ainsi que, selon les polluants dégradés, N, Cl, ...). Le fer est un catalyseur de la réaction : le Fe^{2+} obtenu par la réaction de Fenton réagit au niveau de la cathode pour régénérer le Fe^{2+} .



Principe de fonctionnement d'une unité d'EFO

Contrairement aux méthodes de dépollution classiques reposant sur la réaction de Fenton et optimales à pH = 3 en raison de la plus forte solubilité du Fe^{2+} dans l'eau à pH acide, l'EFO produit directement des ions par corrosion électrique des électrodes de fer, et peut donc être utilisée quelle que soit le pH et la teneur en fer de l'eau à traiter. De même, l'injection d'air comprimé en permanence dans les puits de traitement permet de maintenir les conditions aérobies nécessaires au bon déroulement de la réaction de Fenton quelle que soit la teneur initiale de l'eau en oxygène.

La puissance fournie par l'EFO est faible (200 à 300 W au maximum) ce qui est insuffisant pour chauffer un aquifère. Par comparaison, les puissances utilisées en désorption thermique *in situ* sont de l'ordre de 500 kW à 1 MW. De plus, aucun courant n'est induit dans l'aquifère à l'extérieur d'un puits de traitement puisque chaque puits comporte sa propre anode et cathode. La tension et l'intensité électriques appliquées aux électrodes de fer et au réacteur de production d' H_2O_2 sont adaptées au cas par cas, en temps réel, pour moduler les différentes réactions en fonction de l'objectif à atteindre (temps de dépollution souhaité). Cette modularité sur la quantité d'oxydant produit *in situ* dans la nappe permet de limiter l'impact de l'EFO sur les microorganismes. Ainsi, l'injection d'oxygène et la fragmentation des polluants, même

réfractaires, liées à la technique peut offrir des conditions favorables au biotraitement des concentrations résiduelles si des microorganismes capables de biodégrader les polluants sont présents dans le milieu.

Utilisation d'un module optionnel dit électrocinétique

Utilisation d'un module optionnel dit « électrocinétique » qui, en appliquant un potentiel électrique entre deux puits, permet une migration des substances chargées électriquement vers un puits d'extraction comme les métaux en solution pour les extraire du milieu par pompage. Un courant électrique est induit dans l'aquifère par l'EFO en dehors des puits de traitement uniquement si ce module est activé. En plus des radicaux $\bullet\text{OH}$ très puissants, de la magnétite (Fe_3O_4) ayant également des effets oxydants est également produite au niveau des électrodes de fer et peut, grâce au potentiel électrique, être mobilisée à contre-courant du sens d'écoulement de la nappe pour le traitement des panaches de pollution.

Dans le cas d'un objectif d'abattement rapide des concentrations en polluants, les concentrations en oxydant peuvent donc être maximisées par le module d'électrocinétique, avec potentiellement plus d'impact sur les

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

oudin@semaco.fr
www.semaco.fr

