



Journée technique du C.F.M.S

Dépollution des sols

*Soil-mixing dépolluant pour la réhabilitation
des friches industrielles*

Stéphane Brûlé – Ménard

Paris, le 10 décembre 2013



Bibliographie

- *La reconversion des sites et friches urbaines polluées (2011). Document ADEME [1].*
- *la circulaire du 8 février 2007 relative aux sites et sols pollués <http://www.sites-pollues.ecologie.gouv.fr/> [2].*
- *Arrêté du 28 octobre 2010 relatif aux installations de stockage de déchets inertes - version consolidée du 13 novembre 2012 [3].*
- *Quelles techniques pour quels traitements ? – Analyse Coûts – Bénéfices (2010) Rapport BRGM 58 609 [4].*
- *Solvants chlorés en milieu urbain – Quelle situation en France ? (2011) Projet CityChlor. Document ADEME et INERIS [5].*
- *S. Brûlé, E. Javelaud, G. Erbeja (2010) Friches industrielles et amélioration des sols. Environnement et Techniques, 296, 44-48 [6].*
- *Dépollution des sols, des techniques in situ de plus en plus rapides (2010), Le Moniteur du 19/11/2010.*

Plan de l'exposé

1. La réalité des friches industrielles
2. Le soil mixing en technique de dépollution
3. Traitement des solvants chlorés
4. Cas d'étude : Site Rossignol à Voiron (38)



Dehalococcoides sp.

1. La réalité des friches industrielles...pour les bâtisseurs...

La raréfaction d'un foncier facilement aménageable sans contrainte et la pression démographique toujours plus importante dans les grandes métropoles conduisent les aménageurs et promoteurs à composer avec des terrains pouvant comporter à la fois un passif environnemental mais aussi un héritage en matériaux hétérogènes tels que les remblais ou la présence de nombreux vestiges d'infrastructures.



1. La réalité des friches industrielles...pour les bâtisseurs...

La reconquête de ces surfaces parfois importantes en zone urbaine est servie par des outils venant compléter la circulaire du 8 février 2007, tels que la norme NFX 31-620 mise à jour en 2011 ou encore la certification des métiers par le Laboratoire Nationale de Métrologie et d'Essais (LNE) et des guides méthodologiques opérationnels.



Cependant l'usage de ces outils ne peut que trouver une meilleure crédibilité auprès des donneurs d'ordre que dans la mesure où la faisabilité des travaux de fondation ou d'amélioration des sols est examinée conjointement avec les études, voire les travaux relatifs au passif environnemental de chaque site.

1. La réalité des friches industrielles...pour les bâtisseurs...

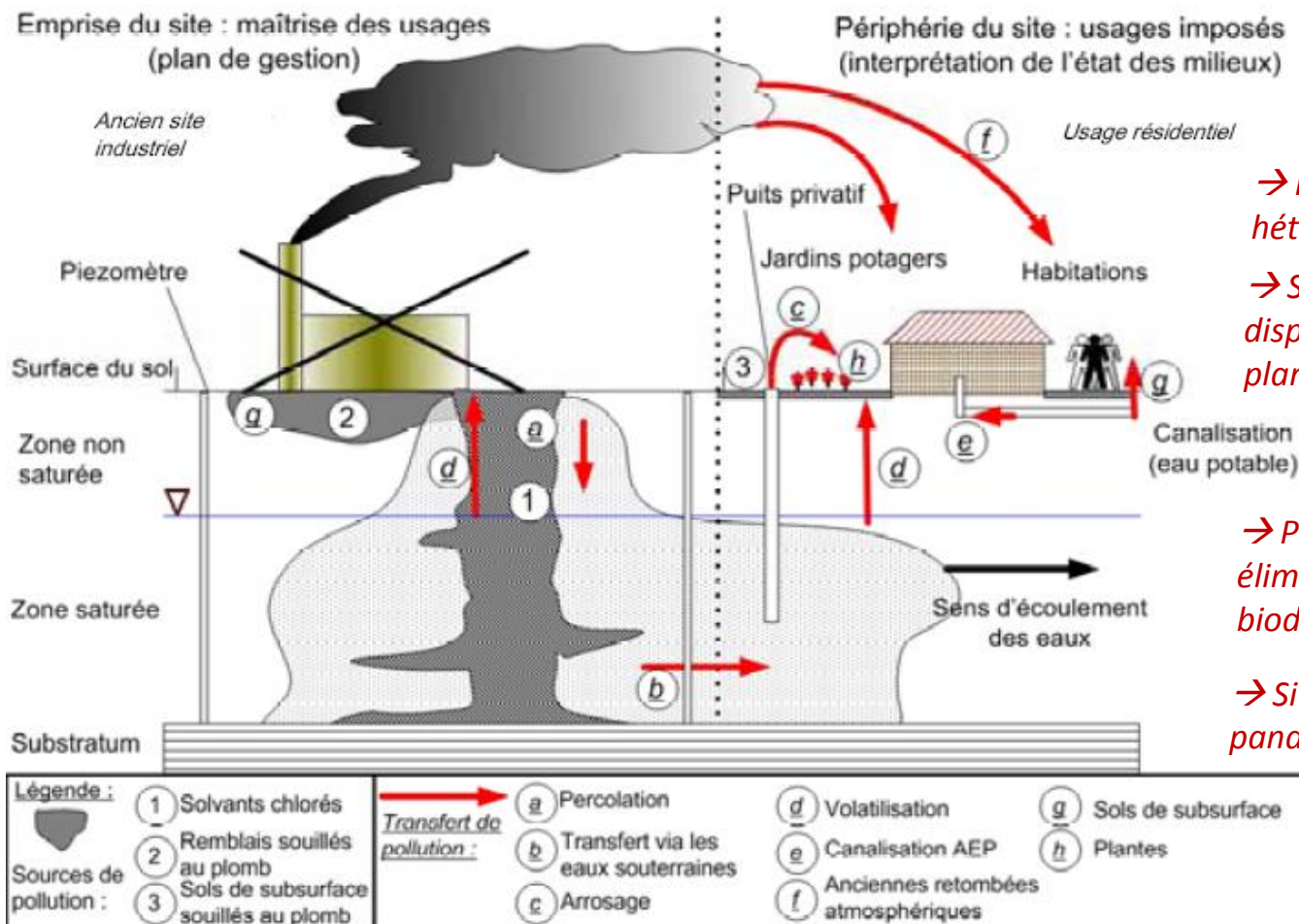
La réhabilitation des friches industrielles est identifiée comme une composante essentielle du Grenelle de l'Environnement (Loi du 3 août 2009) contre l'étalement urbain.

→ *Marché en France en 2010 : 400 M€. Terres traitées : 3.10^6 t - Eau traitées : 6.10^6 m³.*

→ *Un des freins à la réhabilitation : existence de parcelles à problématiques croisées : caractéristiques mécaniques insuffisantes pour les projets d'aménagement (portance, tassement) et passif environnemental.*



1. La réalité des friches industrielles...pour les bâtisseurs...



→ Pollution parfois répartie de façon hétérogène.

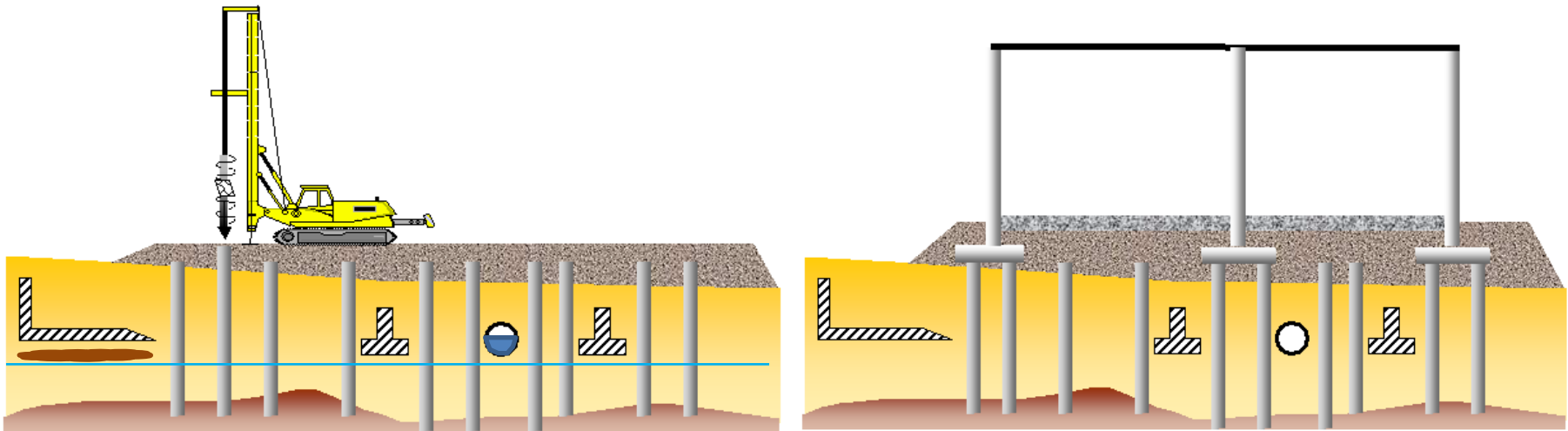
→ Solvants plus denses que l'eau : dispersion verticale jusque sous le plancher de la nappe.

→ Parfois les solvants sont difficiles à éliminer du sol et certains ne sont pas biodégradables.

→ Si habitations en périphérie, le panache peut se situer sous celles-ci.

1. La réalité des friches industrielles...pour les bâtisseurs...

- *Difficulté à obtenir un état représentatif du sous-sol, malgré les reconnaissances in situ.*
- *Nécessité de trouver des solutions à l'interface ouvrage-terrain, autrement dit les fondations du projet, en fonction des données environnementales.*



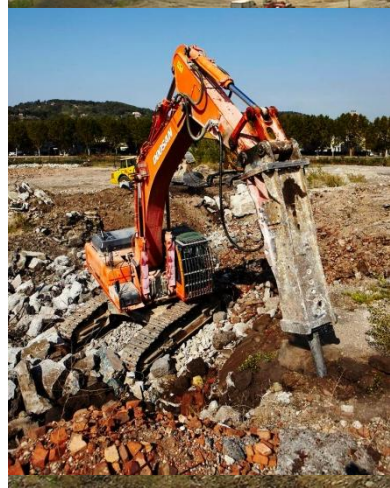
1. La réalité des friches industrielles...pour les bâtisseurs...

ZAC VMC – Givors (69) – 2009 à 2010 – Surface 10 ha

Plus de 50% du volume de sol constitué de béton dans la tranche de terrain comprise entre 0 et 3 m de profondeur

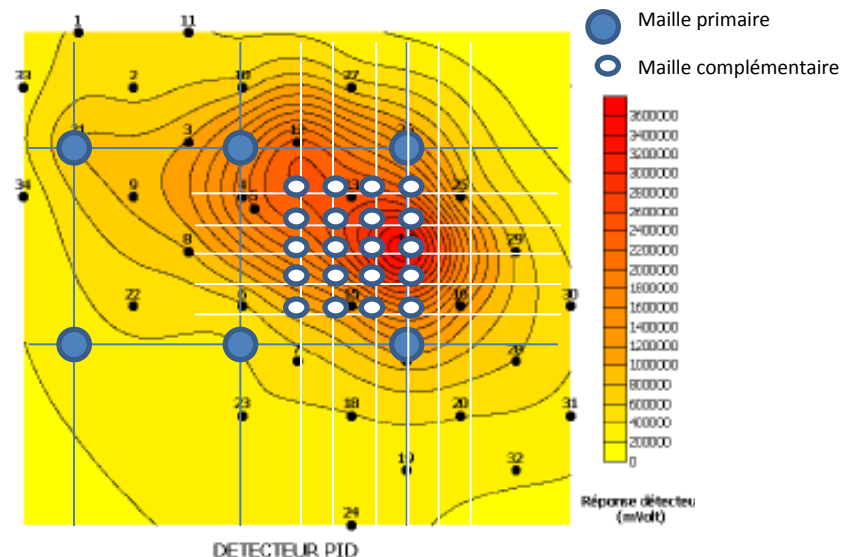
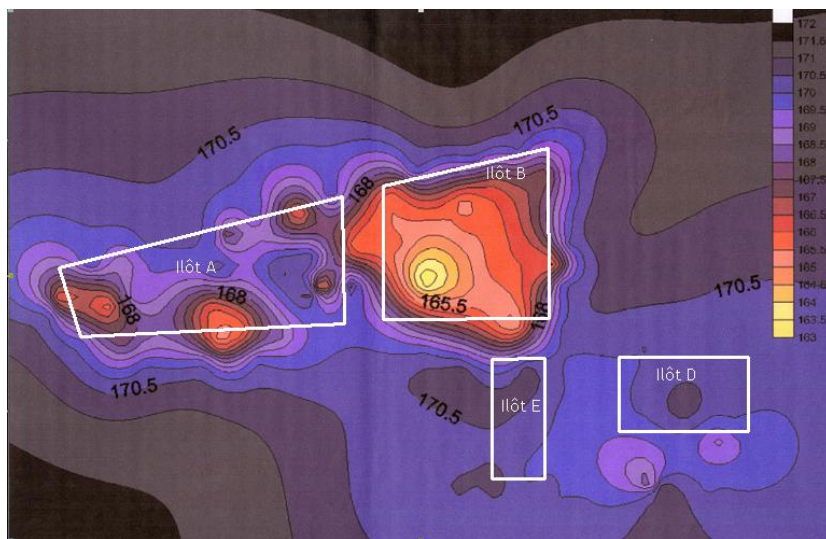
Un Arrêté Préfectoral limitant les excavations (y compris la réalisation des pieux) à moins de deux mètres.

Des sols hétérogènes et compressibles sur 7 à 15 m d'épaisseur.



Source : MENARD

1. La réalité des friches industrielles...pour les bâtisseurs...



- Nécessité de valoriser **l'étude historique** de l'exploitation du site pour identifier les sources de pollution, distinctement des éventuels panaches associés puis faire réaliser des reconnaissances adaptées et à mailles variables.
- Si les pollutions sont mieux qualifiées et si la source de pollution s'avère « ponctuelle », la faisabilité d'une réhabilitation peut être reconsidérée favorablement.

Plan de l'exposé

1. La réalité des friches industrielles
2. Le soil mixing en technique de dépollution
3. Traitement des solvants chlorés
4. Cas d'étude : Site Rossignol à Voiron (38)



Dehalococcoides sp.

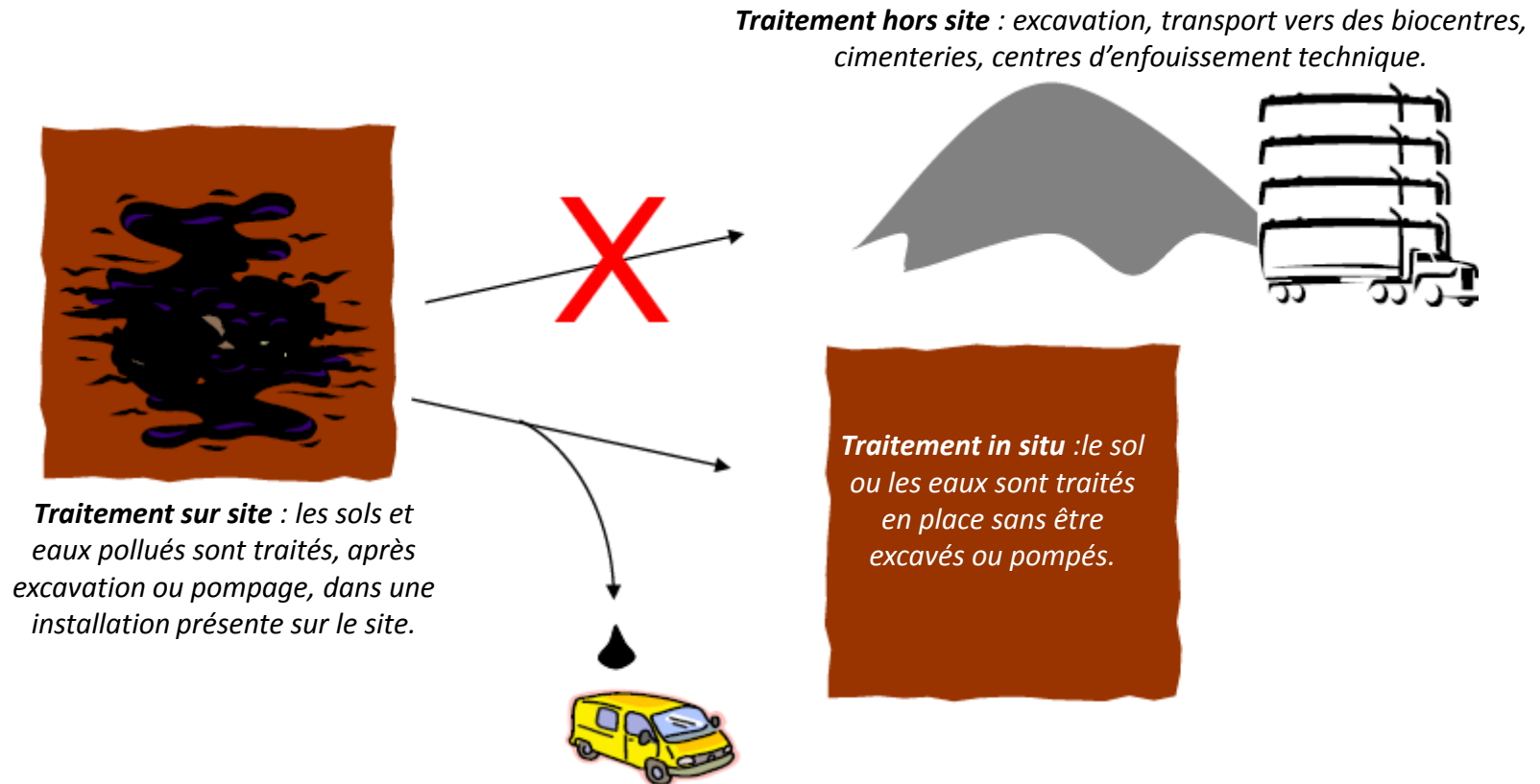
2. Le soil-mixing en technique de dépollution

Dans cette présentation, le ***soil-mixing*** répond au traitement des sources de pollution dans le sol, c'est-à-dire des volumes de sol contenant une forte concentration de polluant dans la phase solide et/ou liquide dans un périmètre identifié.

Selon [4] « La maîtrise de la source de pollution doit être la première option de gestion envisagée car, non seulement, elle participe à la démarche globale de réduction des émissions de substances responsables de l'exposition chronique des populations, mais encore, elle participe à la démarche globale d'amélioration de la qualité des milieux. »



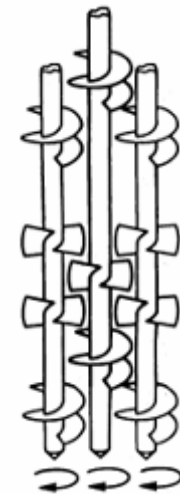
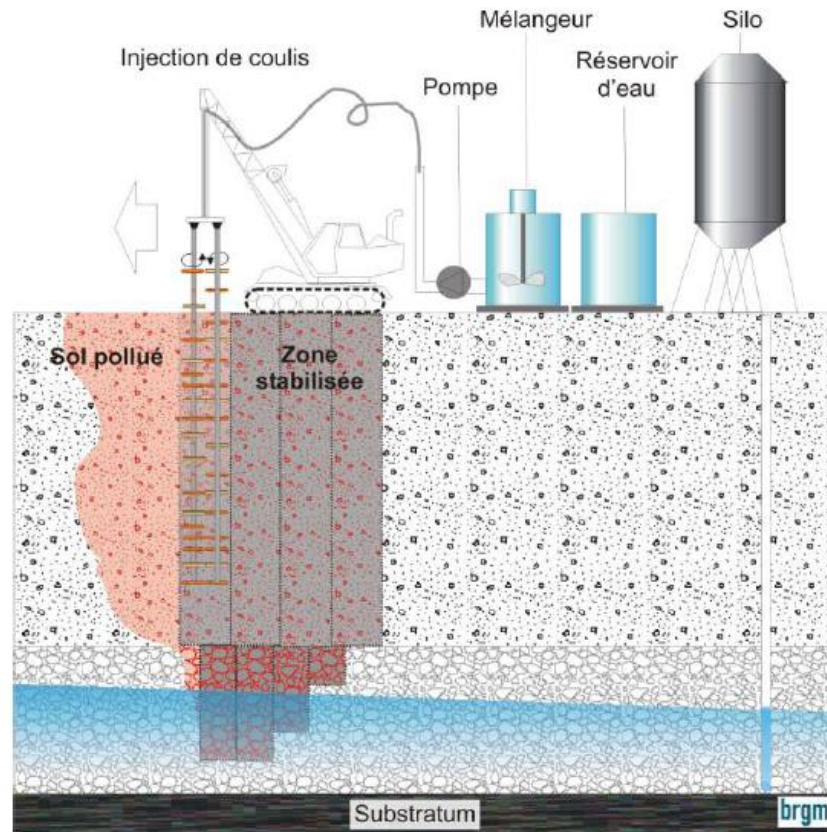
2. Le soil-mixing en technique de dépollution



Le coût de dépose en décharge reste élevé. Le traitement des sols pollués sur site ou in situ est également onéreux en grand volume. En moyenne : 100 € la tonne de terre polluée traitée, soit 200 € le m³ → **orientation vers des traitements in situ ponctuels.**

2. Le soil-mixing en technique de dépollution

Le **soil-mixing** rentre dans la catégorie de la stabilisation/solidification in situ par brassage mécanique (versus l'injection forcée) [4].



menard

Source : BRGM

2. Le soil-mixing en technique de dépollution

Source : Solétanche - Bachy

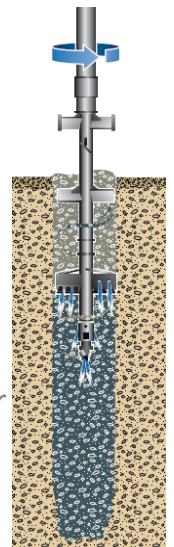
Les diverses techniques de **soil-mixing** permettent la réalisation **in situ** d'éléments constitués par le sol en place mélangé de façon mécanique avec **un matériau d'apport**. Le matériau d'apport est généralement **un liant** dont le choix et le dosage permettent d'obtenir les caractéristiques hydrauliques ou mécaniques requises par le projet.

Les divers procédés comportent généralement **trois étapes** de réalisation :



Source : Hammer&Steel Inc.

- *déstructuration mécanique du terrain en place,*
- *incorporation ,*
- *homogénéisation du mélange.*



Source : Liebherr

2. Le soil-mixing en technique de dépollution

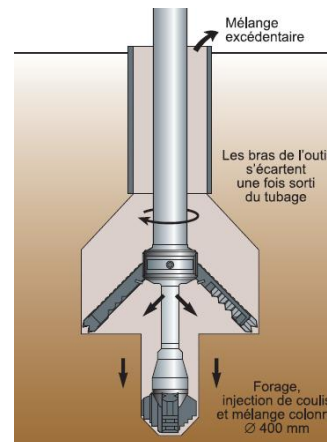
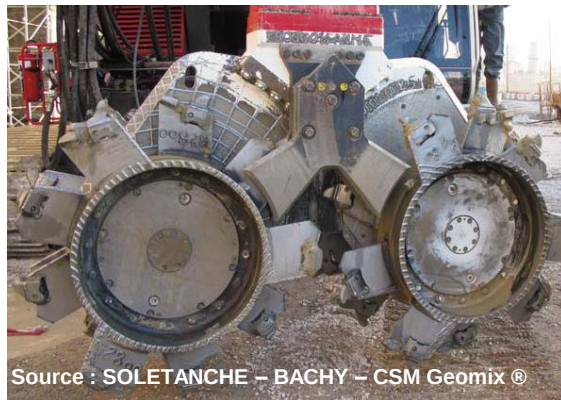
Source : Solétanche - Bachy

Ces techniques ne produisent pas ou très peu de déblais.

Les éléments ainsi réalisés peuvent être soit des **colonnes**, soit des **panneaux** ou même des **éléments continus** (tranchées).

Le procédé s'applique à tous les terrains meubles exempts d'éléments grossiers.

Source : SOLETANCHE – BACHY – Springsol®



2. Le soil-mixing en technique de dépollution



Le **soil-mixing** couplé au **traitement chimique** est une approche innovante pour le traitement des sols et des eaux souterraines.

- Jusqu'il y a peu, le traitement chimique était uniquement réalisé in situ par injections ponctuelles ou continues.
- En laboratoire, les traitements chimiques (**oxydation** ou **réduction**) sont satisfaisants en terme d'objectif de réduction de concentration du polluant dans les échantillons de sol.
- La difficulté est la mise en contact entre le polluant et le réactif, avec les limites techniques des traitements in situ (hétérogénéité du sous-sol, problème d'accessibilité, ..).

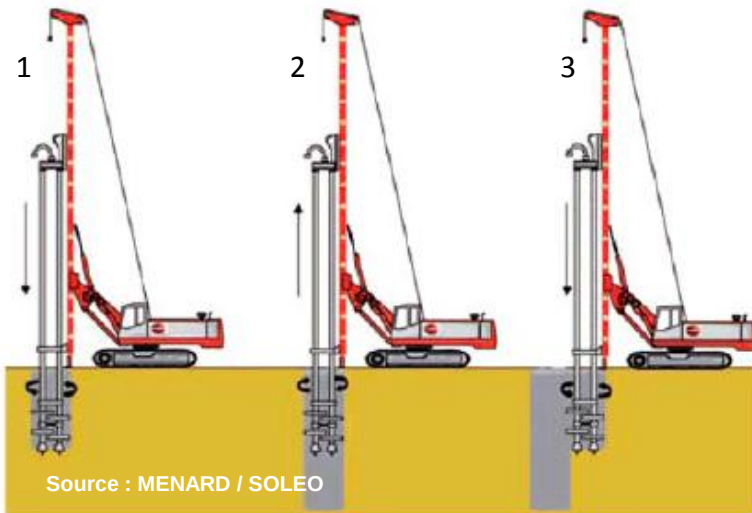
Source : SOLEO

2. Le soil-mixing en technique de dépollution

Malaxage des terrains en place est réalisé à l'aide de tarières, à l'extrémité desquelles des **buses** permettent l'injection simultanée du **réactif** choisi.

Réalisation de **passes** qui se recoupent plus ou moins en fonction de l'effet recherché.

Possibilité de traitement à des **profondeurs importantes** > 10 m.



- 1 – descente lente de l'outils et injection du réactif au dosage souhaité
- 2 – remontée et malaxage intensif
- 3 – poursuite sur la passe voisine

Source : SOLEO et Ménard

2. Le soil-mixing en technique de dépollution



- Technique parfois moins économique que les traitements in situ classiques mais elle peut être plus avantageuse que l'excavation et l'élimination hors site.
- Efficacité accrue due à une meilleure homogénéité du traitement (efficacité comparable voire supérieure à l'excavation + traitement sol).
- Technique idéale pour le traitement des zones sources contaminées par des polluants récalcitrants ou à des niveaux de concentration importante.

→ Technique en concurrence avec l'excavation et l'élimination hors site d'un point de vue Prix – Efficacité - Durée d'intervention.

Source : SOLEO et Ménard

2. Le soil-mixing en technique de dépollution

Avantages majeurs

- Possibilité de traiter en profondeur (> 10 m).
- Avantageux pour les situations de dégazage du polluant du sol contrairement aux travaux de terrassement pouvant libérer des éléments volatils.
- Temps d'application et de traitement très courts.
- Matériel mobilisé limité => faible nuisance (sonore, visuelle, olfactive).
- Permet de traiter des zones exiguës, selon le matériel.
- Le produit injecté est susceptible de participer à une amélioration de la qualité des sols et des eaux souterraines au pourtour de la zone traitée.

Source : SOLEO et Ménard



2. Le soil-mixing en technique de dépollution

Avantages majeurs

- ⇒ Technique idéale pour des applications en milieu urbain.
- ⇒ Possibilité de travail dans un espace plutôt limité et permet de s'affranchir des mouvements de terres (camions), poussières et odeurs indésirables.

Inconvénients

Déstructuration du sol avec perte de portance mais possibilité de consolider les sols ou de les « stabiliser » en fonction de l'utilisation future du site.



Source : SOLEO et Ménard

2. Le soil-mixing en technique de dépollution

Traitement par oxydation

Utilisation d'un oxydant du marché (peroxyde d'hydrogène, permanganate, persulfate d'ammonium....) + formulation spécifique de Soléo Services :

MIXIS®-Ox.

- Composés aliphatiques,
- BTEX,
- certains HAP,
- mélange de polluants.

Composés aliphatiques : composé organique cyclique ou acyclique linéaire ou branché, saturé ou insaturé, à l'exclusion des composés aromatiques.

BTEX : les BTEX (Benzène, Toluène, Éthylbenzène et Xylènes) sont des composés organiques mono-aromatiques volatils aux propriétés toxiques.

HAP : hydrocarbures aromatiques polycycliques. Leur structure comprend au moins deux cycles aromatiques condensés.



Source : SOLEO

2. Le soil-mixing en technique de dépollution

Traitement par réduction

Utilisation d'un réactif puissant basé sur le « fer zéro valent » associé à des adjuvants fonction des polluants à traiter (**MIXIS®- Red**).

- COHV,
- métaux lourds,
- PCB,
- pesticides.

***COHV** : composés organiques halogénés volatils.*

***PCB** : les polychlorobiphényles (PCB) sont des hydrocarbures halogénés (des composés aromatiques chlorés) de haut poids moléculaire. Ils sont constitués d'un biphényle comportant jusqu'à cinq atomes de chlore sur chaque phényle.*



Source : SOLEO

3. Le traitement des solvants chlorés

Les pollutions chlorées peuvent provenir des activités comme les installations de nettoyage à sec, les imprimeries, les industries de la peinture et de la métallurgie.

Caractérisés par une forte densité, les solvants chlorés ont tendance à migrer verticalement dans les sols ce qui fait craindre **un risque de contamination des nappes** d'eaux souterraines.

Leur migration est toutefois hétérogène en fonction de la perméabilité des sols ce qui peut engendrer l'apparition de "poches" de polluants. Les solvants chlorés sont **peu biodégradables** et quant ils le sont les métabolites sont parfois plus toxiques et plus mobiles que les molécules d'origine.

Source : CityChlor



Plan de l'exposé

1. La réalité des friches industrielles
2. Le soil mixing en technique de dépollution
3. **Traitement des solvants chlorés**
4. Cas d'étude : Site Rossignol à Voiron (38)



Dehalococcoides sp.

3. Le traitement des solvants chlorés

L'hétérogénéité et la proximité de ce type de pollution rendent **la gestion** de ces sites souvent **longue** et **complexe**. Les techniques de dépollution doivent être adaptées. Dans de nombreux cas les coûts de traitement dépassent les capacités financières du pollueur.

Au final, en plus d'affecter directement par exposition aux contaminants, la pollution bloque la reconstruction et le développement du quartier. Sans compter que la proximité avec l'environnement urbain impose une communication appropriée. Le traitement de ces sols revêt par conséquent un aspect socio-économique non négligeable.

3. Le traitement des solvants chlorés

Réduction chimique des solvants chlorés



- La fonction de **déhalogénéisation** des solvants chlorés par du **fer « zéro valent »** est connue.
- La réactivité du fer est proportionnelle à sa **surface spécifique** d'où utilisation de fer nano particulaire avec sa très grande surface spécifique, très forte réactivité.

SOLEO, partenaire de MENARD a développé sa propre solution de fer nano-particulaire mise au point et testée en laboratoire. Pour un usage sur le chantier, il a été conçu et réalisé une **unité de synthèse** pour fabrication directement sur site. Le but recherché est l'efficacité et l'élimination des sous produits toxiques type chlorure de vinyle.

Source : SOLEO



Plan de l'exposé

1. La réalité des friches industrielles
2. Le soil mixing en technique de dépollution
3. Traitement des solvants chlorés
4. Cas d'étude : Site Rossignol à Voiron (38)



Dehalococcoides sp.

4. Cas d'étude : le site Rossignol à Voiron (38)



Voiron, France (2010)

Source : MENARD

4. Cas d'étude : le site Rossignol à Voiron (38)



4. Cas d'étude : le site Rossignol à Voiron (38)

- Friche industrielle en région Grenobloise.
- La pollution est liée à l'utilisation de TCE lors du processus industriel.
- Concentration TCE dans les eaux : 2g/l (pur) en zone source.
et les sous produits de dégradation DCE et VC.
- Constat de concentrations décroissantes en périphérie et panache aval.

TCE : trichloroéthylène .

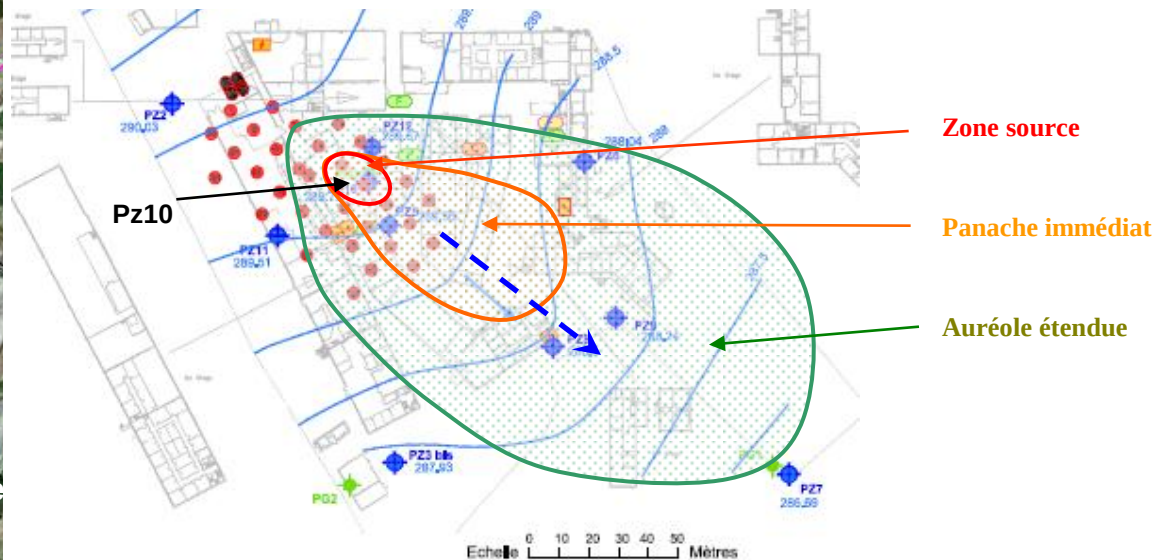
DCE : dichloroéthylène.

CV : chlorure de vinyle.

Source : SOLEO



4. Cas d'étude : le site Rossignol à Voiron (38)



Source : SOLEO

4. Cas d'étude : le site Rossignol à Voiron (38)

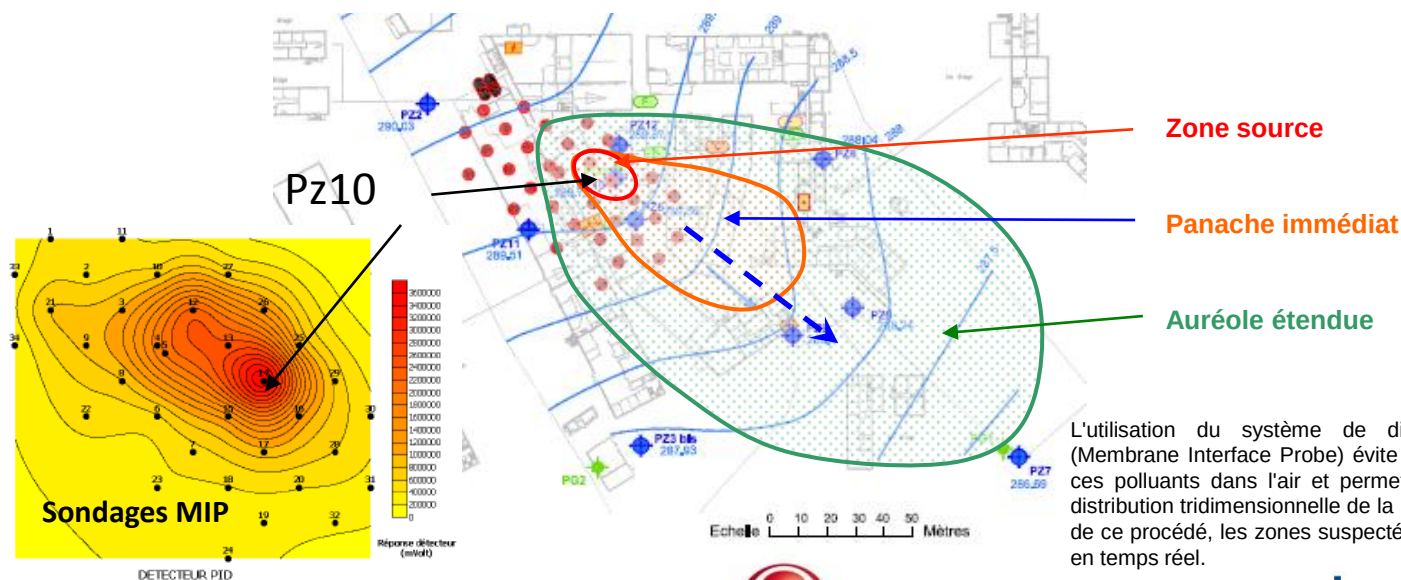
- Sondages MIP réalisés par SOGREAH : zone source de 150m²

Source : SOLEO

- Analyses avant traitement (mars 2010) :

	TCE	DCE	VC	COHVs totaux
Zone source	350000µg/l	29000µg/l	1300µg/l	385000µg/l
Panache immédiat	26µg/l	12000µg/l	1300µg/l	13541µg/l
Auréole étendue	280µg/l	2000µg/l	690µg/l	2983µg/l

- Objectif** : atteindre en zone source les concentrations de l'auréole étendue (3000µg/l)



4. Cas d'étude : le site Rossignol à Voiron (38)

Étude des différentes techniques de traitement envisageables



Choix de la technique



Tests au laboratoire: détermination de l'efficacité



Dimensionnement terrain: préparation du chantier



Réalisation du chantier



Résultats obtenus



Poursuite du traitement sur l'ensemble du site

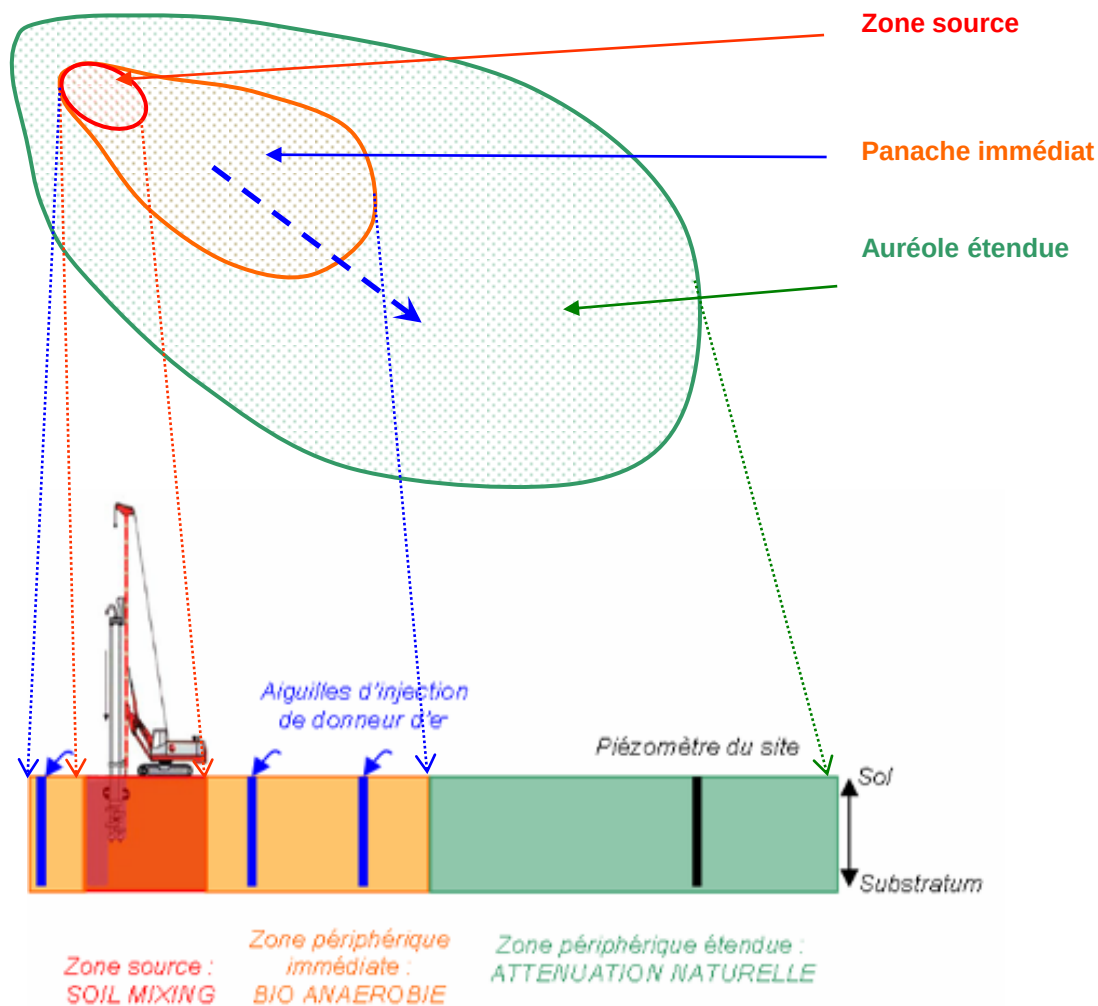


Auscultation sur plusieurs mois

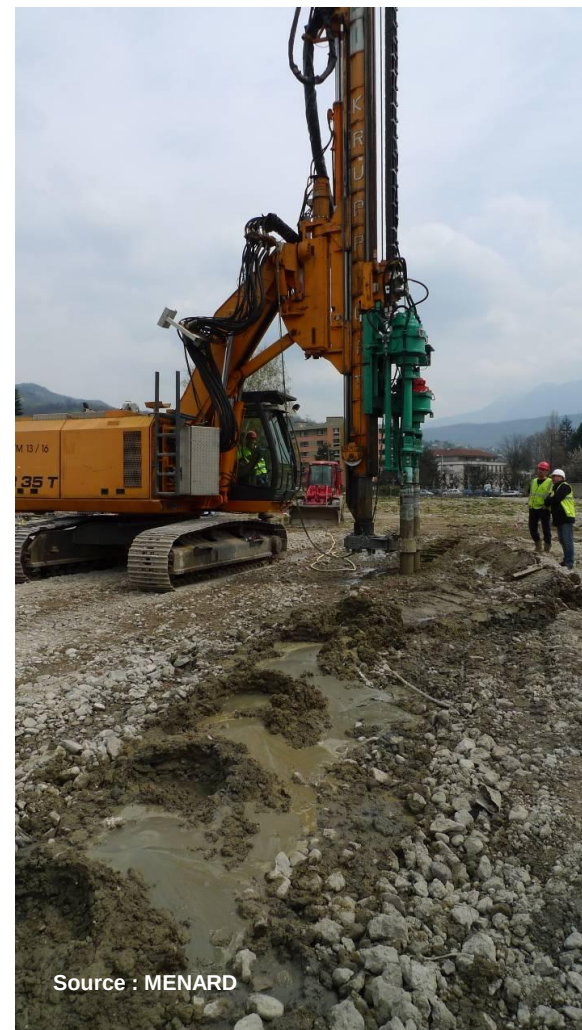
Source : SOLEO



4. Cas d'étude : le site Rossignol à Voiron (38)



Source : SOLEO



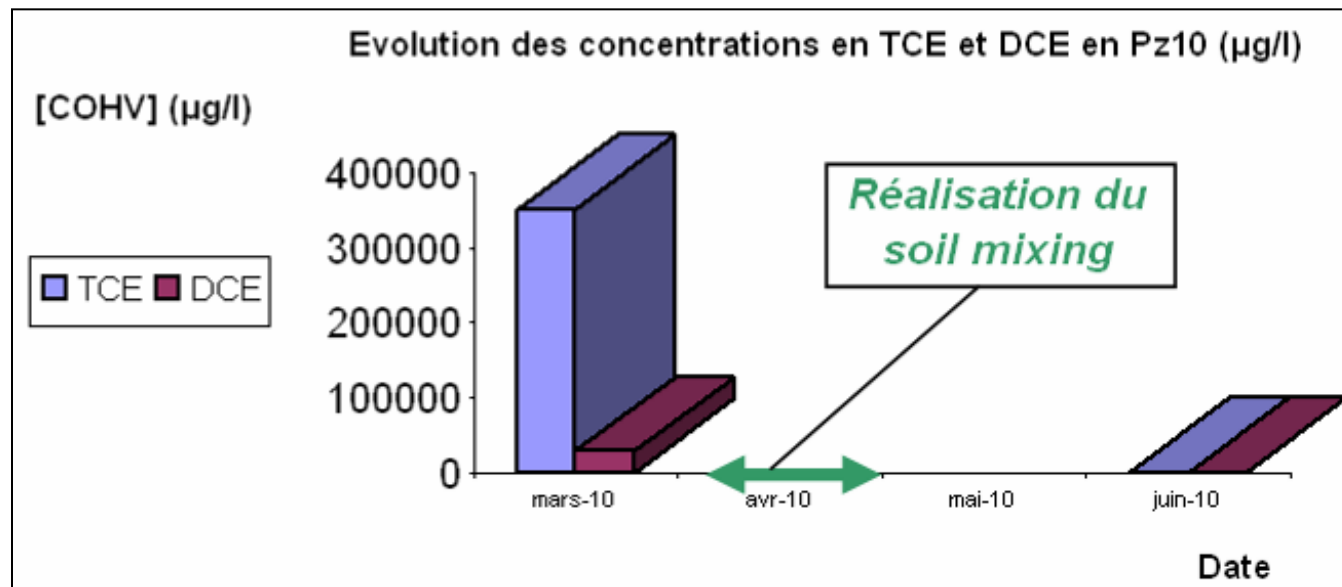
Source : MENARD

4. Cas d'étude : le site Rossignol à Voiron (38)

4 mois après le traitement :

[TCE] : 350 000 µg/l → 49 µg/l

[DCE] : 29 000 µg/l → 160 µg/l



Valeurs récentes

TCE = 4 µg/l

DCE = 17 µg/l

CV = 14 µg/l

Valeurs pour la boisson

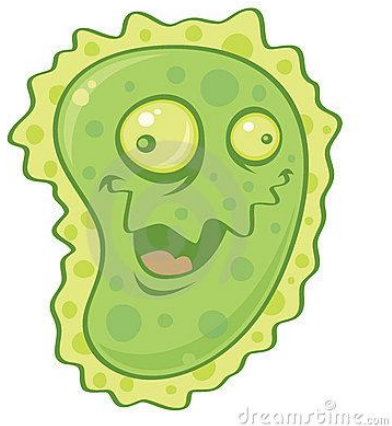
10 µg/l (F)

50 µg/l (OMS)

0,5 µg/l (F)

Source : SOLEO

Conclusions



Merci pour votre attention

