

LE SOL MIXING DEPOLLUANT

SOIL MIXING FOR SITE REMEDIATION

Stéphane BRÛLE¹

1 Ménard, Nozay, France

RÉSUMÉ — Le sol mixing, technique utilisée en fondations profondes ou en amélioration de sol pour le malaxage des matériaux avec un liant en vue d'en améliorer leurs caractéristiques mécaniques, peut être employé pour le traitement chimique des sols pollués. C'est une technique en développement pour la réhabilitation des anciens sites industriels à passif environnemental, notamment parce qu'elle peut traiter ponctuellement des sources de pollutions chroniques situées en profondeur et dans des sols peu perméables. Dans cet article, un exemple de traitement d'une nappe polluée par les solvants chlorés est présenté.

ABSTRACT — Soil mixing is a technology used for deep foundations or ground improvement. The aim is to obtain better mechanic properties by mixing the soil with a cement-based grout. This technology could be used for contaminated soil and this approach is in progress for site remediation due to its capability to treat local chemical source of contamination sometimes located deeply in low permeability soil. In this paper is presented a soil mixing treatment in worksite for a remediation of chlorinated solvents in ground water.

1. Introduction

Les diverses techniques de sol-mixing s'appliquent à tous les terrains meubles exempts d'éléments grossiers et 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 (chaux et/ou ciment) dont le choix et le dosage permettent d'obtenir les caractéristiques hydrauliques ou mécaniques requises par le projet. Le sol-mixing appelé aussi deep soil mixing en anglais consiste à mélanger in situ, et plus ou moins profondément, un sol avec un liant pour en améliorer ses caractéristiques mécaniques. Ce mélange est réalisé mécaniquement par voie sèche ou par voie humide. Par voie sèche, le liant est introduit dans le sol sous forme pulvérulente et son hydratation est obtenue par l'eau contenue dans ce sol. Par voie humide, le liant est un coulis à base de ciment ou de chaux dont l'hydratation est obtenue essentiellement par l'eau contenue dans ce coulis (AFPS et CFMS, 2012).

Les divers procédés comportent généralement trois étapes de réalisation : une phase de déstructuration mécanique du terrain en place, une phase d'incorporation puis d'homogénéisation du mélange. Les éléments ainsi réalisés, produisant très peu

de déblais, peuvent être soit des colonnes, soit des panneaux ou même des éléments continus (tranchées).

Cependant, la technique du sol-mixing, en raison de sa capacité de brassage intime du sol avec un constituant injecté, un réactif en l'occurrence, répond aux cas des traitements chimiques des sources ponctuelles, ou "spots" 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 (par exemple, 2 g/l de trichloroéthylène versus quelques dizaines de $\mu\text{g/l}$ pour une eau de boisson) dans un périmètre identifié (Brûlé et al., 2010).

2. Le sol-mixing et les sites et sols pollués

Selon le rapport du BRGM (2010) sur les différentes techniques de traitements des sols pollués, 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.

Selon ce rapport, le sol-mixing rentre dans la catégorie de la stabilisation/solidification in situ par brassage mécanique (versus l'injection forcée).

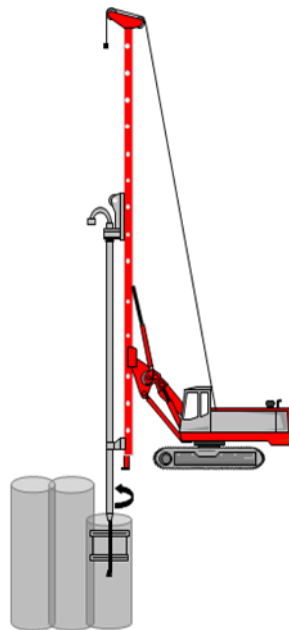


Figure 1 . Principe du traitement des sols par sol-mixing (source : Ménard)

Le sol-mixing (figure 1) couplé au traitement chimique est une approche en voie de développement (Ademe et Ernst&Young, 2012) pour le traitement des sols et des eaux souterraines. Le traitement chimique existe déjà pour des injections ponctuelles ou continues in situ. La difficulté pour la mise en œuvre pour les traitements in situ demeure la qualité de mise en contact du réactif avec le polluant. C'est ainsi que, parmi les premières réalisations de traitement in situ en condition de

chantier en France, certaines ont été demandées en 2010 par l'entreprise de dépollution SOLEO Services avec les équipements de sol-mixing de MENARD. Depuis les premières réalisations comme celle effectuée pour des solvants chlorés sur l'ancien site de Rossignol à Voiron (Isère) en 2010, l'auscultation effectuée a permis d'avoir un retour d'expérience significatif sur les traitements proposés et mis en œuvre par SOLEO Services.

Le 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. Il est nécessaire de réaliser de passes disjointes ou sécantes en fonction de la nature du polluant, sa concentration et/ou de la perméabilité des sols en place.

3. Les avantages du traitement in situ par sol-mixing

La technique offre l'avantage de pouvoir rechercher des pollutions localisées à plus de 10 m de profondeur pour des traitements des sols et des eaux souterraines. Cependant, elle est parfois moins économique que les traitements in situ classiques mais elle peut être plus avantageuse que l'excavation et l'élimination hors site. La technique s'avère très adaptée pour le traitement des zones sources contaminées par des polluants récalcitrants ou à de tels niveaux de concentration que les traitements biologiques sont inopérants. Un composé est qualifié de récalcitrant (ou de persistant) quand son élimination biologique est très lente ou même impossible à mesurer. Parmi ces composés dits récalcitrants, citons les composés organiques polychlorés tels que les les polychlorobiphényles (PCB).

Sous réserve que les études environnementales aient conduit à identifier des sources polluantes, la durée de mise en place du réactif par malaxage est courte et le matériel mobilisé est d'emprise limité, ce qui diminue les nuisances sonores, visuelles, olfactives en milieu urbain.

Un des apports majeurs de la technique de soil-mixing est certainement de répondre aux situations de dégazage du polluant du sol contrairement aux travaux de terrassement pouvant libérer des éléments volatils pendant les opérations d'excavation. De surcroît, le traitement dans la masse permet de s'affranchir des mouvements de terres avec les chargeurs et les camions avec l'envol des poussières.

Dans le cadre d'un objectif de construction sur la parcelle à l'issue du traitement des pollutions, il faut toutefois garder à l'esprit que l'efficacité du malaxage occasionne en conséquence une perte de capacité portante des sols quand ceux-ci sont décrits dans les granulométries fines (argiles, limons et sables fins).

4. Les polluants et les types de traitement

Deux types de traitement peuvent envisagés : les traitements par oxydation ou par réduction. Les cas de simple confinement par réalisation d'enceintes avec un liant hydraulique, n'est pas abordées ici. L'oxydation/réduction in situ, toutes techniques confondues de mise en œuvre, a été utilisée à hauteur de 17% des traitements in situ sur la base des données synthétisées par l'ADEME en 2010 (Ademe et

Ernst&Young, 2012). Cette forte utilisation s'explique notamment par le large spectre de polluants organiques (Composés Organiques Volatils ou COV, Composés Organiques Halogénés Volatils ou COHV, Composés Organiques Semi-Volatils ou COSV) même à des concentrations élevées. Si le venting-bioventing est également efficace sur ce type de polluant, son efficacité est compromise pour les sols peu perméables alors que l'oxydation/réduction in situ est une alternative envisageable.

4.1. Les traitements par oxydation

Ces traitements font appel à l'utilisation d'oxydants tels que le peroxyde d'hydrogène, le permanganate, le persulfate d'ammonium, etc. avec une formulation spécifique développée par SOLEO Services (MIXIS®-Ox).

Les polluants concernés sont les composés aliphatiques, les benzène-toluène-ethylbenzène-xylène (BTEX), les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) et les mélanges de polluants. Les composés aliphatiques sont des composés organiques cycliques ou acycliques linéaires ou branchés, saturés ou insaturés, à l'exclusion des composés aromatiques. Les BTEX sont des composés organiques mono-aromatiques volatils aux propriétés toxiques. Les HAP sont des hydrocarbures aromatiques polycycliques. Leur structure comprend au moins deux cycles aromatiques condensés.

4.2. Les traitements par réduction

Ces traitements font appel à un réactif puissant basé sur le « fer zéro valent » associé à des adjuvants fonction des polluants à traiter (MIXIS®-Red). Les polluants concernés sont les COHV (composés organiques halogénés volatils), les métaux, les PCB (les polychlorobiphényles) et des pesticides.

4.3. Le cas particulier 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 (Projet CytyChlor, 2011). 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 quand ils le sont, les métabolites sont parfois plus toxiques et plus mobiles que les molécules d'origine. 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. Pour le traitement présenté en exemple sur le site Rossignol de Voiron (Isère) en 2010 (voir partie 5), il s'agit d'une réduction chimique des solvants chlorés. La fonction de dé-halogénéisation des solvants chlorés par du fer « zéro valent » est connue et la réactivité du fer est proportionnelle à sa surface spécifique d'où l'utilisation de fer nano particulaire avec sa très grande surface spécifique et donc sa très forte réactivité. Les solvants chlorés fortement halogénés (tétrachloroéthylène, trichloroéthylène, etc.) ne peuvent être directement oxydés sans qu'une étape préalable n'ait modifié le nombre initial de chlore de la molécule. Cette déchloration est souvent favorisée en présence de fer zérovalent (Le Corfec, 2011).

SOLEO Services, 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.

5. Le cas du site Rossignol

Les anciennes usines Rossignol de matériel de montage correspondaient à une friche industrielle en proche région Grenobloise à Voiron (Isère). Le site a fait l'objet d'une approche exceptionnelle en matière de requalification de la part du propriétaire/exploitant (Chene, 2013).

La pollution était liée à l'utilisation de TCE (trichloroéthylène) lors du processus industriel avec une concentration dans les eaux de 2 g/l (pur) en zone source et la présence de sous-produits de dégradation DCE (dichloroéthylène) et VC (chlorure de vinyle). Le trichloroéthylène, excellent solvant pour un grand nombre de substances synthétiques et naturelles, est un liquide incolore d'odeur rappelant celle du chloroforme (Ineris, 2007). L'objectif de dépollution était d'atteindre en zone source de 150 m² d'emprise, une valeur comparable en concentration à celle de l'auréole étendue soit 3000 µg/l.

La zone source a ainsi été traitée avec un puissant oxydant constitué de fer nano-particulaire zéro-valent tandis que le proche panache a fait l'objet d'un traitement anaérobie. L'auréole étendue a quant à elle bénéficiée de la bio-atténuation naturelle (BAN) comme indiqué en figure 2.

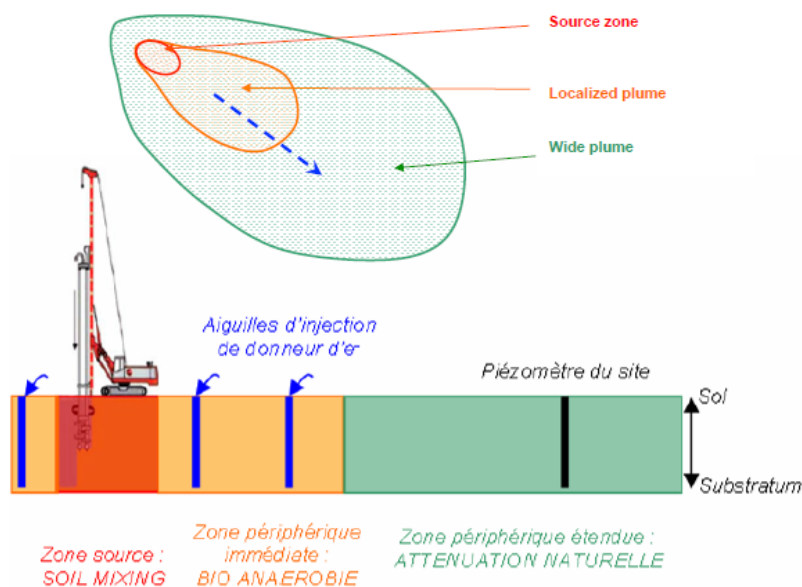


Figure 2 . Principe du traitement sur le site de Voiron (source : Soléo Services, (Chene, 2013)

La méthodologie retenue pour définir le mode de traitement et statuer sur son efficacité consiste à étudier les différentes techniques de traitement envisageables puis de les confirmer par des essais de laboratoire. Ensuite la réalisation du chantier doit s'accompagner de résultats à étapes intermédiaires afin de corriger le cas échéant le traitement et, enfin, l'auscultation sur plusieurs mois doit permettre de valider les courbes de décroissance des concentrations.

Sur le site de Voiron, après 4 mois de traitement, la concentration en TCE dans les eaux est passée de 350 000 µg/l à 49 µg/l. Les DCE ont chuté en concentration de 29 000 µg/l à 160 µg/l. Les valeurs récentes donnent [TCE] = 4 µg/l, [DCE] = 17 µg/l et [CV] = 14 µg/l. A titre comparatif et selon l'Organisation Mondiale pour la Santé (OMS), la concentration en TCE ne doit pas dépasser 70 µg/l (valeur guide provisoire) pour les eaux de boisson (Ineris, 2007).

6. Conclusions

Les premières expériences réalisées en vraie grandeur avec ces technologies offrent des résultats concluants. Il est cependant nécessaire de souligner que leur pertinence dépend de la qualité de l'identification des sources de pollution (localisation et nature du polluant), des tests préalables de validation en laboratoire, de la réalisation d'éventuels essais sur site (réalisation d'un pilote) et de la qualité des auscultations qui suivent la phase de traitement.

Remerciements

L'auteur remercie SOLEO Services et en particulier Christophe CHENE (Chene, 2013) pour la mise à disposition des données relatives au chantier de Voiron.

Références bibliographiques

ADEME et ERNST&YOUNG (2012). Taux d'utilisation et coûts des différentes techniques et filières de traitement des sols et des eaux souterraines pollués en France. Synthèse des données 2010.

ADEME (2011). La reconversion des sites et friches urbaines polluées. Connaître et agir. <http://www.ademe.fr>. Dernière visite du 10 décembre 2013.

ADEME et INERIS (2011). Solvants chlorés en milieu urbain – Quelle situation en France ? Projet Européen CityChlor. 58 p. <http://www.ademe.fr>. Dernière visite du 10 décembre 2013.

AFPS et CFMS (2012). Procédés d'amélioration et de renforcement de sols sous action sismique, Guide technique, Presses des Ponts, 231 p.

Arrêté du 28 octobre 2010 relatif aux installations de stockage de déchets inertes. <http://www.legifrance.gouv.fr>. Dernière visite du 7 mars 2014.

BRGM (2010) Quelles techniques pour quels traitements ? – Analyse Coûts – Bénéfices. Rapport BRGM/RP 58 609. Version de juin 2010. 399 p.

Brûlé S., Javelaud E., Erbeja G. (2010). Friches industrielles et amélioration des sols. Environnement et Techniques, 296, 44-48.

Brûlé S., Javelaud E., Meneveaux P. (2010) Réhabilitation des friches industrielles par les techniques Ménard d'amélioration des sols, Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur JNGG2010, 7-9 juillet 2010, Grenoble, France, 933-940.

Brûlé S. (2013). Dépollution des sols : le soil mixing dépolluant pour la réhabilitation des friches industrielles. Journée Technique du Comité Français de Mécanique des sols du 10 décembre 2013. <http://www.cfms.org/documentation/exposes-du-cfms>. Dernière visite du 7 mars 2014.

Circulaire du 8 février 2007 relative aux sites et sols pollués <http://www.sites-pollues.ecologie.gouv.fr>. Dernière visite du 10 décembre 2013.

Chene C. (2013). MIXIS® the association of Soil Mixing and Chemical Treatment. A new approach for insitu source zone remediation. <http://www.intersol.fr>. Dernière visite du 7 avril 2014.

Ineris (2007). Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : TRICHLOROETHYLENE, 33p. (<http://rsde.ineris.fr/>). Dernière visite du 30 mars 2014.

Le Corfec (2011). Sites et sols pollués. Gestion des passifs environnementaux. Dunod. 407 p.