

**Zeitschrift:** Ingénieurs et architectes suisses  
**Band:** 119 (1993)  
**Heft:** 18  
  
**Artikel:** Réhabilitation d'un site industriel pollué par de l'arsenic  
**Autor:** Hlobil, Z. / Oboni, Franco  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-78070>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 13.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Réhabilitation d'un site industriel pollué par de l'arsenic

Par Z. Hlobil, M.Sc.,  
Civ. Eng., et  
Franco Oboni, ing. civil  
SIA  
Oboni & Associés SA  
(G-O Partnership SA)  
Les Biolettes,  
1054 Morrens

## 1. Introduction

Le site qui fait l'objet de cette communication est sis dans un quartier industriel à proximité immédiate d'une zone de marécages protégés qui bordent la baie de San Francisco (fig. 1)<sup>1</sup>. Au cours de ses diverses phases d'affectation à la fabrication industrielle de produits agro-chimiques, ce site a été gravement pollué par un mélange de résidus, dont la fraction la plus dangereuse et la plus mobile était représentée par de l'arsenic.

Depuis que le site a été désigné, il y a une dizaine d'années, par les autorités compétentes comme nécessitant une réhabilitation environnementale, sept bureaux d'ingénieurs conseils se sont succédé pour l'étudier, le caractériser et aborder les programmes d'assainissement en collaboration avec les agences gouvernementales. Notre groupe fut le dernier à intervenir et nous avons finalement pu mener à bien, en 1991-1992, les premières phases de travaux faisant l'objet de la présente communication.

## 2. Rappel du contexte général

Le site en question, d'une surface de 55 000 m<sup>2</sup>, a été continûment occupé par des industries chimiques depuis

1926. En particulier, des pesticides et des herbicides à base d'arsenic y ont été produits jusqu'en 1964, date à laquelle la société productrice fut rachetée par ABC et la production d'arsenic substantiellement réduite. Au début des années septante, ABC vendait à son tour le site à la société DEF, qui y a produit d'autres composés. Malgré cela, selon la législation des Etats-Unis, la société ABC reste responsable de la réhabilitation de ce site, puisqu'elle en est le plus ancien propriétaire (solvable) existant et que la société DEF n'a jamais pu être mise en cause.

## 3. Caractérisation géologique et hydrogéologique

Les caractéristiques géométriques tridimensionnelles du nuage polluant dans le terrain ainsi que les nappes phréatiques du site furent étudiées en détail, et les paramètres dynamiques des écoulements déterminés quantitativement.

En 1985-1986, un réseau de puits de mesure et de contrôle fut installé pour le monitoring des nappes superficielles et profondes.

Etant donné les répercussions légales de cette affaire et la pression exercée par les conseillers légaux des parties concernées (les revendications exorbitantes sont courantes aux Etats-Unis), les investigations durent être poussées par nos prédéces-

seurs largement au-delà du nécessaire. Finalement, plus de 84 forages de reconnaissance, équipés en puits de mesure, furent exécutés et plus de 1500 échantillons prélevés, puis analysés en laboratoire.

Paradoxalement, le modèle qui résulte de toutes ces études est relativement simple, et peut être résumé comme suit.

Sous 1 m de remblais, l'on trouve tout d'abord des limons plus ou moins sableux sur une épaisseur de l'ordre de 15 m, contenant une nappe superficielle. Sous ces terrains, des strates de limons argileux sont présentes sur 40 m de profondeur et protègent une nappe d'eau profonde potentiellement potable, épargnée par la pollution, se développant dans des horizons sableux.

## 4. Caractérisation des polluants

La principale pollution est due à l'arsenic, qui représente en outre l'élément le plus mobile et le plus toxique des rejets identifiés sur le site. Parmi ceux-ci, on peut citer le cadmium, le mercure, le plomb et le sélénium.

Des composés volatiles organiques (VOC) furent également détectés dans les eaux de la nappe superficielle, mais la responsabilité de ABC ne fut pas reconnue pour ces produits, de telle sorte que l'objet de notre travail fut bel et bien restreint aux métaux. Naturellement les autorités concernées demandèrent que les techniques mises en œuvre n'aient pas d'effets secondaires sur les éventuelles opérations de dépollution des VOC à entreprendre, à la charge d'autres sociétés, dans le futur.

Au total, environ 150 000 m<sup>3</sup> de terrain sont à considérer comme pollués, avec des concentrations en arsenic supérieures à 20 mg/kg.

Après de longues négociations avec les agences compétentes, il fut convenu que les sols présentant des concentrations en arsenic supérieures à 5000 mg/kg devraient être évacués vers une décharge appropriée, alors que ceux dont les concentrations étaient comprises entre 500 mg/kg et 5000 mg/kg seraient traités sur place dans le cadre des travaux décrits.



Fig. 1. — Vue aérienne du site: au premier plan, on observe la zone de marécages protégés. Au deuxième plan, on trouve deux terrains de forme rectangulaire (à gauche et à droite de l'usine), pollués par de l'arsenic.



## 5. Réhabilitation

### 5.1 Volumes et profondeur à traiter

Environ 4000 m<sup>3</sup> de terrains pollués tombant dans la catégorie à évacuer furent exportés vers une décharge contrôlée en Californie du Nord par camion, sous stricte surveillance, en 1991.

Puis, en 1992, quelque 8000 m<sup>3</sup> de terrain, couvrant une surface d'environ 1,5 ha, furent traités sur le site même.

La moitié de ce volume environ était naturellement confinée dans un horizon «superficiel» de moins de 3 m de profondeur sous la zone évacuée. Il s'agissait là d'anciennes places d'entreposage, au droit desquelles les polluants avaient très fortement imprégné le sol dans les premiers 2 m (zone évacuée), puis avaient encore pénétré en profondeur sur environ 3 m (zone à traiter).

L'autre moitié du volume se trouvait à l'arrière de l'usine, au droit de places de circulation ou de chargement-déchargement des wagons ferroviaires et des camions. A cet endroit, les polluants avaient imprégné une strate d'environ 10 m de profondeur, sans pour autant jamais atteindre les niveaux de concentration justifiant une évacuation du sol.

### 5.2 Stratégie de traitement

Dans les deux cas, nos études ont montré que la stratégie de réhabilita-

tion optimale consistait à fixer les polluants dans le sol par réaction chimico-physique avec un mélange à base de sulfate de fer et d'hydroxyde de calcium, additionné de ciment Portland.

Le mélange de sulfate de fer était dosé à 5% en poids par rapport au sol à traiter, avec un rapport eau/sulfate de 2:1. Le dosage en hydroxyde de calcium et ciment était respectivement de 9% et 3%, avec un rapport en eau de 1,5:1.

L'efficacité de cette combinaison résulte de la formation d'un gel d'hydroxyde de fer dans un environnement au pH élevé, créé par l'hydroxyde de calcium.

L'arsenic est alors fixé dans le gel de telle manière que le sol traité présente des valeurs compatibles avec la législation américaine en vigueur, lorsqu'il est soumis au test US-EPA de lixiviation sous acide acétique. Dans ces conditions, le lixiviat ne doit pas dépasser une concentration de polluants de 5 mg/l.

Une attention particulière dut être apportée à la modification des caractéristiques mécaniques du terrain traité, provoquée par l'adjonction de ciment Portland: le dosage a été calculé de manière à ce que la consistance finale du terrain puisse encore être considérée comme «normalement raide» pour de futures réaffectations du site qui impliqueraient des excavations.

La mise en œuvre des mélanges se fit bien entendu selon des méthodes très différentes dans le cas «superficiel» (3 m) et dans le cas «profond» (10 m).

#### 5.2.1 Zone superficielle

Dans la première zone, le terrain fut divisé en cellules de travail délimitées par un quadrillage orthogonal. Chaque cellule fut alors excavée, le mélange effectué mécaniquement dans un bac en acier prévu à cet effet, puis le matériau remis en place dans un coffrage qui correspondait aux limites de la cellule. Ce dispositif avait pour but de permettre un contrôle de qualité des opérations et, le cas échéant, de rendre possible l'ablation des cellules défectueuses indépendamment de leurs voisines, en vue d'un traitement complémentaire.

#### 5.2.2 Zone profonde

Pour la deuxième zone, une machine de fabrication japonaise (fig. 2) fut mise en œuvre.

Il s'agit d'un porteur équipé d'un moteur de 200 HP, muni d'un outil composé de trois tarières sécantes à axes parallèles (fig. 3). Chaque tarière possède un conduit axial qui permet d'injecter au point le plus bas un fluide mis en pression par une station d'injection conventionnelle installée en surface. Notons d'emblée que des machines similaires de construction européenne existent et que d'autres variantes d'exécution, faisant appel à des techniques «géotechniques» différents, auraient également pu être mises en œuvre.

La surface traitable (en plan) en une passe par la machine utilisée sur ce chantier était de l'ordre de 1,6 m<sup>2</sup>. Notons en passant que ce genre de machines s'avère également efficace pour la construction d'ouvrages civils, tels que des fondations spéciales ou des parois de soutènement.

## 6. Sécurité du personnel

La sécurité du personnel a été garantie pendant toute la durée du chantier par une réglementation très stricte, ne serait-ce qu'au vu des contraintes déjà imposées par les choix concernant les installations de chantier.

Ainsi, par exemple, il était impossible à qui que ce soit de pénétrer dans le

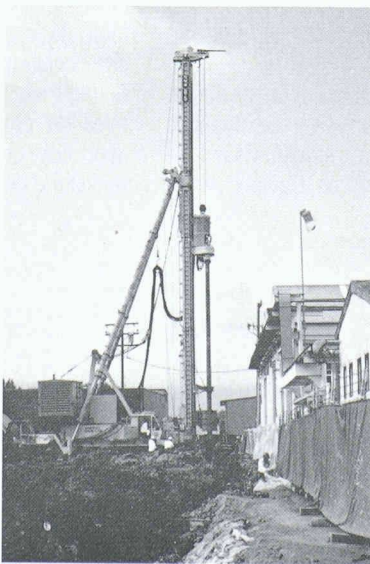


Fig. 2. — Vue de la machine utilisée pour le traitement des zones profondes

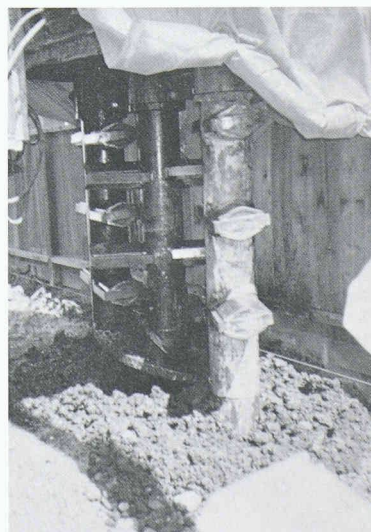


Fig. 3. — Vue des trois tarières sécantes à axes parallèles. L'injection des fluides se fait par le point bas de l'outillage.



périmètre contaminé sans être équipé d'une tenue réglementaire, à savoir: masque respiratoire, combinaison étanche, gants et bottes de protection étanchés avec du ruban adhésif (fig. 4).

A l'inverse, on ne pouvait pas quitter le chantier sans déposer les habits contaminés et traverser un sas équipé de douches.

Les camions qui devaient éventuellement sortir de l'enceinte du chantier subissaient un lavage complet, avec récupération des eaux pour traitement ultérieur.

Etant donné les températures parfois extrêmement élevées pendant l'été, des zones de repos, où le masque respiratoire pouvait être déposé et les gants enlevés, étaient aménagées à l'intérieur de l'enceinte contaminée, dans des zones faisant l'objet de contrôles particuliers.

La protection des riverains était assurée par des clôtures coupe-poussière et par un monitoring de la qualité de l'air.

### 7. Coût de la réhabilitation

Le coût de l'opération de réhabilitation de la zone profonde, soit d'environ 4000 m<sup>3</sup> de matériaux avec des concentrations allant de 500 à 5000 mg/kg d'arsenic, a été de l'ordre de 850 000 \$US, dont environ 300 000 pour les réactifs de traitement.

On peut donc parler d'un coût de l'ordre de 212 \$US/m<sup>3</sup>, dont 35% pour les réactifs, largement inférieur au coût global d'un transfert dans une décharge ad hoc.

Mentionnons encore que le coût total de l'opération pour 1,5 hectare à traiter a été de l'ordre de 3,7 millions



Fig. 4. – Contrôle de l'implantation d'une colonne de traitement par un technicien équipé selon le règlement de sécurité pour ce chantier

\$US, y compris le projet, la mise en soumission des travaux, le suivi, les analyses en cours de travaux et, finalement, la pose d'un tapis bitumineux sur l'ensemble de la surface.

### 8. Conclusions

La présente communication expose le cas d'une réhabilitation d'un site orphelin, par fixation in situ et foraine des polluants dans le sol, grâce à une modification physico-chimique des constituants mêmes des terrains imprégnés.

Cette solution a fait l'objet de négociations très serrées avec les agences gouvernementales concernées. De plus, comme tous les travaux de ce

type, elle se doit d'obéir à la législation en vigueur qui fixe, par exemple, les valeurs limites des lixiviats après travaux.

Il nous paraît important de souligner que, au sein d'un cadre technico-légal général, chaque cas particulier devrait impérativement pouvoir être apprécié individuellement, afin d'éviter des décisions mal pondérées sur le plan technico-économique.

Enfin, une bonne connaissance préalable de la géologie-hydrogéologie du site concerné, de même qu'une parfaite maîtrise des techniques constructives du point de vue géotechnique sont des qualités essentielles à la réussite d'un projet de ce type.

## AlpTransit: mise en soumission de travaux d'ingénierie et de géologie



Une lacune dans la transmission a fait omettre, dans l'information parue en page 347 de notre précédent numéro, l'adresse où doivent être demandés et renvoyés les dossiers de soumission relatifs à AlpTransit.

Voici cette adresse complète:

Secrétariat de mise en soumission PI/PG,  
mandats AlpTransit c/o BSP & partenaires  
Hauptstrasse 22, 4562 Biberist  
tél. 065/32 13 31, fax 065/32 25 62.

Nos lecteurs voudront bien excuser cette omission.