

Zeitschrift: Tracés : bulletin technique de la Suisse romande
Herausgeber: Société suisse des ingénieurs et des architectes
Band: 134 (2008)
Heft: 03: Dépollution

Artikel: Les sites pollués
Autor: Indaco, Antoine / Chappuis, Bastien
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-99657>

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: 08.01.2026

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

Les sites pollués

Chaque site pollué possède des caractéristiques qui lui sont propres. Ces spécificités doivent être prises en compte lors du choix de la méthode à appliquer pour leur assainissement. Une analyse approfondie de chaque pollution est nécessaire pour définir une solution efficace sans engendrer des coûts démesurés.

C'est l'ordonnance fédérale sur l'assainissement des sites pollués (OSites) qui traite l'appréciation et l'assainissement des sites pollués (fig. 1). Les cantons ont la tâche de recenser les sites pollués et d'en publier un cadastre (voir article p.12).

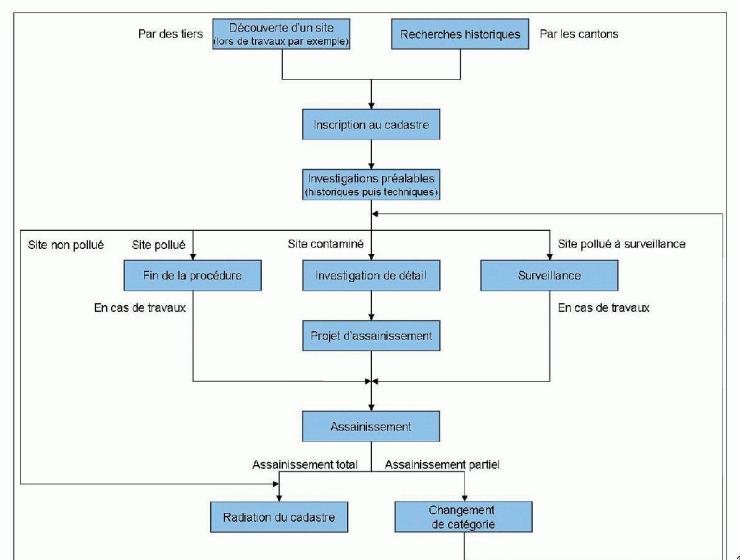
Ce cadastre n'est toutefois pas exhaustif et le fait qu'un site n'y figure pas ne signifie pas qu'il soit propre: si une pollution y est découverte lors de travaux, le site est alors soumis à la procédure OSites. Afin d'éviter des mauvaises surprises, il est conseillé d'effectuer des investigations préalables lors de transactions immobilières ou avant des travaux de terrassement. A l'inverse, un site inscrit au cadastre comme potentiellement pollué – sur la base des activités qui s'y exerçaient – pourra en être radié si des investigations démontrent qu'il ne l'est pas.

Partant du cadastre, l'autorité effectue une investigation préalable des sites potentiellement dangereux, afin d'estimer les risques pour l'environnement (eaux souterraines, eaux de surface, air et fertilité du sol). Ils sont ensuite classés comme sites pollués nécessitant une surveillance, un assainissement (site contaminé¹) ou ni l'un ni l'autre. Les sites classés contaminés subissent une investigation détaillée pour fixer l'ampleur et l'urgence de l'assainissement. Une fois assaini, un site peut être radié du cadastre ou reclasse dans une autre catégorie en cas d'assainissement partiel.

Éliminer la pollution

On peut distinguer trois modes de traitement des sites pollués: *in situ*, *on site* et *off site*.

Les traitements *in situ* se font directement dans le sol, sans excavation. Ces traitements sont principalement réalisés au moyen de puits d'aspiration ou d'injection, en exploitant des processus physiques, chimiques ou microbiologiques. Physiquement, on peut soit aspirer l'air pollué d'un sol pour le traiter ensuite sur charbons actifs (*venting*) (fig. 2), soit faire bouillonner l'eau du sol en y injectant de l'air qui est ensuite collecté et traité (*stripping*). Chimiquement, les solutions consistent à injecter des produits dégradant les polluants, notamment pour les hydrocarbures. On peut aussi modifier la forme d'un polluant: par exemple le chrome VI, très毒ique et mobile, peut être réduit en chrome III, non毒ique. Quant aux procédés microbiologiques, en dépit de quelques applications, ils en sont souvent à l'état de recherches ou de tests. Pour les hydrocarbures aliphatiques, l'injection d'air et de nutriments stimule la croissance de microorganismes hydrocarbonoclastes qui dégradent complètement les hydrocarbures en « consommant » le carbone. On peut aussi créer des conditions anaérobies (absence d'oxygène, milieu réducteur) pour favoriser la biodégradation de solvants chlorés. Des techniques de fixation microbiologique des métaux



¹ Il y a souvent une confusion entre « site pollué » et « site contaminé » : un site contaminé est défini comme un site pollué qui nécessite un assainissement.

Fig. 1 : Procédure OSites

Fig. 2 : Installation de venting pour un traitement in situ

Fig. 3 : Sable pollué aux hydrocarbures sous une citerne

Fig. 4 : Assainissement du site contaminé de Källiken

Fig. 5 : Fût éventré

lourds sont en développement, notamment à l'EPFL (EPFL-ISTE Environmental Microbiology Laboratory, Professeure assistante Rizlan Bernier-Latmani). Citons encore les barrières réactives – qui permettent de traiter chimiquement, biologiquement ou par adsorption les flux d'eaux souterraines qui les traversent – ou la phytoremédiation – absorption par des plantes des polluants, souvent des métaux lourds – dont les applications restent néanmoins marginales, notamment en raison du temps qu'elles nécessitent.

Les traitements dit *on site* se font sur le site, après excavation des matériaux terreux ou pompage des eaux. Il s'agit d'andains de biodégradation, de lavage ou de criblage. Le pompage des eaux et leur traitement par *stripping*, charbons actifs ou encore en bioréacteur est considéré comme traitement *on site* et non pas *in situ*. Abaisser localement une nappe par pompage est un moyen utilisé couramment pour empêcher la dissémination d'un polluant soluble : on parle alors de contrôle ou de confinement hydraulique. On peut encore aspirer une phase libre d'hydrocarbures insolubles (écrémage).

Le troisième mode, le plus courant, est le mode *off site*. Il consiste à excaver les matériaux puis d'en effectuer un tri pour les orienter vers diverses filières d'élimination. Les filières les plus fréquentes sont la mise en décharge inerte ou bioactive, le lavage, la bioremédiation, l'incinération en cimenteries (valorisation) ou l'incinération dans un centre pour déchets spéciaux. Des traitements physiques préalables, comme un criblage, peuvent avoir lieu pour réduire les quantités à traiter.

Retrouver la source

Le point de départ de l'étude d'un site contaminé consiste à définir la pollution. Le problème, avec les analyses chimiques, est qu'on ne peut pas rechercher toutes les substances.

Il est donc nécessaire de savoir ce qu'il y a lieu de chercher et où le chercher. Il est souvent possible de répondre à ces questions si on connaît l'origine de la pollution.

Bien que peu fréquents, les accidents constituent la source de pollution la mieux documentée : en général, on sait précisément ce que l'on doit chercher et où.

De leur côté, chaque secteur industriel engendrent chacun des pollutions spécifiques. La métallurgie produit souvent des solvants chlorés (dégraissage) et des métaux lourds. Le stockage de carburants (fig. 3) se traduit par la présence de BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène, xylènes), d'hydrocarbures aliphatiques et de HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques). Pour la galvanoplastie, on cherchera des métaux (chrome VI, cuivre, zinc, plomb), parfois des cyanures ou du TCE (tetrachloroéthylène). Il ne faut toutefois pas se laisser leurrer par la simplicité de ces liens de cause à effet : se focaliser sur un polluant ou une source conduit souvent à en oublier une autre.

Les décharges – *TRIDEL* et la décharge de Bolely-Orjulaz en sont des exemples types – sont les zones de pollution les plus difficiles à évaluer. Hétérogènes par nature, les réactions qui s'y produisent sont difficiles à cerner. De plus, la pollution est souvent répartie par spots (zones localisées), dispersés entre les différentes strates de la décharge. Les sites de ce genre doivent systématiquement être assainis par excavation et tri sélectif, ce qui requiert la présence permanente d'un spécialiste dans la fouille. Son travail consiste d'abord à guider l'avancement des travaux et à organiser l'évacuation des matériaux vers les filières d'élimination adéquates. Il doit en outre veiller à la sécurité des personnes sur le site et à l'application du plan d'hygiène et sécurité, car les risques autant physiques que chimiques sont bien réels. Finalement, son



2



3



4



5



Figure 6: Début des excavations sur le site de TRIDEL

Figure 7: Fin des excavations sur le site de TRIDEL

Figure 8: Schéma de l'installation de « bioventing » et de traitement d'air



6



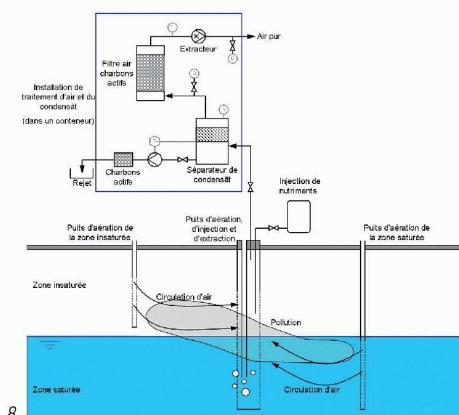
7

rôle est aussi de contrôler que les matériaux pollués sont réellement acheminés vers le lieu de traitement défini.

Les variantes d'assainissement

En plus du type et de l'origine de la pollution, des quantités de polluants présentes et des secteurs de l'environnement menacés, le développement des variantes d'assainissement nécessite la prise en compte de plusieurs points clés trop souvent oubliés.

Le contexte de l'assainissement est un élément majeur. Un site pollué ne nécessitant pas d'assainissement au sens de l'OSites devra l'être, du moins partiellement, si on excave des matériaux terreux, dans le cas d'un terrassement par exemple. En effet, les matériaux d'excavation pollués par des substances dangereuses sont considérés comme des déchets spéciaux au sens de l'ordonnance sur le traitement



Site de TRIDEL

Situation

La nouvelle usine d'incinération de déchets urbains du canton de Vaud, TRIDEL, a été construite sur une ancienne décharge. La construction de l'usine a nécessité l'excavation de 210 000 m³ de matériaux terreux douteux.

Problématique

Le site était classé comme site pollué nécessitant une surveillance. Au sens de l'OSites, les matériaux pouvaient donc être laissés sur place tant que l'on n'y touchait pas. Mais selon l'Ordonnance sur le traitement des déchets (OTD), dès lors que l'on procède à une excavation, les matériaux pollués par des substances dangereuses sont considérés comme des déchets spéciaux nécessitant un traitement spécifique.

Solution

L'assainissement a été réalisé en *off site* intégralement. Un laboratoire de terrain a été installé sur le chantier. Un spécialiste a suivi les excavations pour effectuer un tri sélectif des matériaux et une orientation vers les différentes filières d'élimination. Les coûts ont ainsi pu être réduits, de même que les impacts environnementaux.

Résultats

Les travaux d'excavation ont duré une année. Sur 400 000 tonnes de matériaux excavés, le tri sélectif a permis d'éliminer 20% en décharge inerte, 25% par lavage / inertage et le reste en décharge bioactive. Le site est toujours classé comme pollué nécessitant une surveillance à l'exception des zones excavées.

Coûts

Les coûts d'élimination s'élèvent à 40 millions de francs, tandis que les études et les honoraires se chiffrent à 250 000 francs.

des déchets (OTD) et doivent donc être traités comme tels. Des solutions d'aménagement du territoire, ou des solutions techniques permettent d'éviter ces problèmes, en planifiant de s'éloigner des zones de pollution ou en remplaçant par exemple des fondations par des pieux. Ces solutions sont souvent légales et intéressantes économiquement mais ne sont que palliatives. D'un autre côté, un projet de reconstruction incluant des sous-sols sur un site contaminé crée



9



10

Site de Bioley-Orjulaz

Situation

Ancienne gravière, exploitée pour la production d'enrobés bitumineux, puis remblayée avec des ordures ménagères et des matériaux terreux. Des fûts de brai de houille (résidu de lavage d'une usine à gaz) ont aussi été enfouis mais leur nombre est incertain (entre 100 et 400 selon les témoignages). Le brai de houille contient des teneurs importantes en HAP (cancérigène) et en hydrocarbures. Le volume de la décharge s'élève à environ 80 000 m³.

Problématique

La décharge se trouve sur un sillon graveleux dont l'aquifère est exploité pour l'approvisionnement en eau potable d'environ 10 000 personnes. Les eaux captées ne sont actuellement pas polluées mais le stock de HAP constitue une menace pour la ressource en eau. Le site est pollué et nécessite un assainissement au sens de la protection des eaux souterraines (site contaminé).

Solution

Etant donné la nature de la pollution, l'excavation et le tri sélectif des matériaux est la seule solution envisageable. Les matériaux pollués avec des hydrocarbures aliphatiques sont traités par bioremédiation *off site*. Au total 7 filières d'élimination ont été prévues plus deux pour les matériaux non pollués et tolérés, stockés sur place en vue du remblayage. Les excavations sont suivies par un spécialiste et un laboratoire de terrain a été installé. Afin de pouvoir atteindre le fond de la décharge qui se trouve sous le niveau de la nappe, 7 puits de pompage ont été réalisés. Un suivi hydrogéologique de l'aquifère et de la source a été mis en place.

Un plan d'hygiène et sécurité poussé a été mis en place afin de prévenir une exposition des travailleurs.

Résultats

Les travaux sont réalisés en *off site* pour les matériaux terreux et en *on site* pour l'eau de la nappe.

Les travaux sont encore en cours et devraient être terminés pour début 2009. Actuellement un tiers des excavations a été réalisé. Grâce à un suivi permanent et un tri sélectif efficace, les matériaux non pollués ou tolérés, qui représentent 80% des remblais, peuvent être stockés sur place pour un remblayage. Un contrôle hydraulique de la nappe sera réalisé afin d'assécher le fond de fouille et prévenir une contamination durant les travaux.

Coûts

Le coût des éliminations est estimé à 5 millions de francs pour des coûts d'études et d'honoraires de 780 000 francs.

une plus-value à un traitement par excavation et élimination. Dans tous les cas, les différents critères doivent être mis en balance pour trouver la solution optimale.

Le délai d'assainissement, fixé par un projet d'aménagement ou par une décision des autorités concernant l'urgence d'assainir joue un rôle éliminatoire dans le choix de la technique d'assainissement.

Un dernier point, non sans importance, est le voisinage du site. Tout doit être fait pour le protéger contre les problèmes d'hygiène, de sécurité et de nuisances.

Au final, le détenteur du site doit choisir la variante d'assainissement parmi les différentes propositions. Le choix est souvent réalisé sur la base des coûts.

Une facture difficile à estimer

L'assainissement des sites contaminés coûte cher, parfois même très cher, jusqu'à 450 millions de francs pour l'ancienne décharge pour déchets spéciaux de Kölleken (fig. 5). Ces coûts devraient être payés par le pollueur, mais encore faut-il pouvoir le retrouver et qu'il soit capable d'assumer de tels coûts. Les pollutions datent parfois de 50 à 100 ans, les personnes ou les sociétés ont souvent disparu. La différence est financée par les pouvoirs publics, cantons et confédération. Il est en outre relativement difficile d'estimer les coûts avant d'avoir procéder à une analyse du site.

Il est utile de diviser les coûts d'un assainissement en deux catégories : ceux des études (y compris les analyses et le suivi) et ceux des travaux. Le rapport entre ces coûts toutefois varie fortement d'un cas à l'autre. L'assainissement du site de Bioley-Orjulaz présente un rapport d'environ 1/6

Figure 11 : Station d'enrobage de Grandvillard
(Toutes les illustrations ont été fournies par CSD Ingénieurs Conseils SA)

Station d'enrobage de Grandvillard

Situation
Par le passé, la station d'enrobage de Grandvillard a pollué, avec des hydrocarbures aliphatiques et des BTEX, le sous-sol ainsi que la nappe se trouvant sous ses installations. La station d'enrobage est toujours en activité.

Problématique
Les matériaux terreux ainsi que la nappe sont atteints par la pollution. La nappe est exploitée comme eau de boisson en aval de l'installation.

Solution
La solution proposée est un traitement couplé *in situ* et *on site*. La solution proposée permet de traiter à la fois l'eau et les matériaux terreux sans avoir à excaver le sol. Il s'agit d'un « bioventing », qui par l'injection d'un inoculat, de nutriments ainsi que d'air permet de dégrader biologiquement les polluants présents. L'air est collecté et traité sur place par charbons actifs. Afin d'éviter une propagation des polluants, un contrôle hydraulique de la nappe par pompage a été réalisé.

Résultats
La pollution a pu être éliminée en un an et demi sans mettre en danger les consommateurs d'eau potable ni perturber l'exploitation de la station d'enrobage.

Coûts
Le coût du traitement est de 200 000 francs (contre un million pour un traitement par excavation) pour 100 000 francs de coûts d'études et honoraires.

(780 000 francs d'études pour 5 millions de francs d'assainissement), alors que ce rapport est de 1/200 pour le site de TRIDEL (250 000 francs d'études contre 40 millions de francs d'assainissement). Pour le site de la station d'enrobage de Grandvillard, où il a été possible de procéder à un traitement *in situ*, les coûts d'études s'élèvent à 100 000 francs pour 200 000 francs d'assainissement, soit un rapport de 1/2.

Si ce dernier ratio peut sembler choquant, il faut être conscient que les études et le suivi hebdomadaire requis par la technique de traitement choisie (voir encadré pour rappel) ont permis d'éviter un traitement coûteux et délicat (excavation et lavage *off site*). Devisé à près d'un million de francs, il aurait non seulement perturbé l'exploitation de la station



11

d'enrobage, mais aussi nécessité une destruction partielle des bâtiments générant un coût total encore plus élevé. L'ampleur des honoraires des spécialistes doit ainsi surtout être comparée aux économies réalisables sur le traitement des pollutions.

Parmi les trois grands modes de traitements déjà évoqués, le traitement *off site* est clairement le plus coûteux, car il cumule excavation, transport et élimination. Les prix pour l'élimination varient entre environ 20 francs par tonne – mise en décharge pour matériaux inertes – et 1 000 francs par tonne – incinération à haute température dans un centre spécialisé. Le type de traitement étant imposé par les polluants et leur concentration, le choix pour leur élimination est souvent limité. Lorsque l'on multiplie les coûts les plus élevés par les quantités rencontrées, on comprend vite l'utilité d'effectuer un tri sélectif rigoureux pour réduire au minimum les quantités de déchets très chers à traiter tout en assurant le respect des lois. Pour les traitements *on site*, on s'affranchit du coût des transports et l'investissement dans les installations est souvent intéressant comparativement. Finalement, les méthodes *in situ* – notamment les procédés biologiques – sont les moins chères, mais la durée parfois importante de leur mise en place crée souvent des manques à gagner.

Conclusions et perspectives

Les sites pollués offrent une diversité immense de situations auxquelles il faut trouver des solutions professionnelles et spécifiques. Les modes de traitements doivent être choisis et combinés pour offrir le meilleur résultat possible sur le plan environnemental tout en minimisant les coûts. La complexité des phénomènes demande l'expertise d'une équipe pluridisciplinaire et expérimentée, tant sur les aspects techniques qu'humains.

Les sites pollués sont un réel problème aujourd'hui. A terme, le nombre d'assainissements va diminuer et s'équilibrer avec la découverte et la création de nouveaux sites (accidents principalement).

Après les milieux naturels, l'assainissement d'un autre genre de « sites contaminés » nous attend, celui de notre environnement construit. En éliminant les problèmes liés à l'amiante, aux peintures au plomb, aux PCB et autres polluants dans les bâtiments, nous devons œuvrer pour notre environnement, pour la santé au travail et pour la santé publique.

Antoine Indaco, ing. dipl. ETS en génie chimique (EIG), postgrade en environnement (UNINE)

Bastien Chappuis, ing. dipl. HES en génie chimique (EIG), étudiant Master EPFL en sciences et ingénierie de l'environnement

CSD Ingénieurs Conseils SA, Chemin de Montelly 78, CH – 1000 Lausanne 20