



## Techniques de réhabilitation

Jean-Pierre Le Calvez

► **To cite this version:**

Jean-Pierre Le Calvez. Techniques de réhabilitation. Séminaire "Sols Pollués", Jun 1997, Paris, France. pp.41-45. ineris-00972103

**HAL Id: ineris-00972103**

**<https://hal-ineris.archives-ouvertes.fr/ineris-00972103>**

Submitted on 3 Apr 2014

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# TECHNIQUES DE RÉHABILITATION

JEAN PIERRE LE CALVEZ

**INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques)  
Parc Technologique Alata - B. P. 2 - 60550 - Verneuil-en-Halatte.**

La réhabilitation des sites et des sols pollués représente un secteur d'activité nouveau pour les entreprises françaises, qui donne lieu à un développement de techniques nouvelles et diversifiées. Ce document présente un inventaire des différentes techniques existantes. Seuls les principaux procédés ont été retenus et il convient de préciser que pour chaque technique, il existe des variantes que développent les entreprises de dépollution afin d'obtenir le meilleur rendement et s'adapter au mieux au site à traiter. En effet, chaque site ou sol pollué est un cas particulier possédant ses propres caractéristiques. Une caractérisation exhaustive du site ainsi que des essais en laboratoire et éventuellement sous forme de pilote sont souvent nécessaires.

Le choix d'une technologie de traitement est généralement déterminé par quatre groupes de critères primordiaux. Les critères techniques qui prennent en compte par exemple, l'étendue du site (superficie, profondeur ...) et sa localisation géographique, des paramètres géologiques et hydrogéologiques du site (perméabilité des terrains, géochimie des terrains ...), la nature des polluants (propriétés physiques : solubilité, réactivité ...) et éventuellement les délais d'exécution de la dépollution. Le critère économique, qui est essentiellement le coût de la dépollution. Enfin des critères environnementaux comme l'accessibilité du site, sa future utilisation et son environnement (zone d'habitation, zone de captage d'eau destinée à la consommation humaine ...). A tous ces critères il convient bien évidemment de ne pas omettre ceux à caractère réglementaire.

La technique à retenir pour le traitement d'un site doit donc être la mieux adaptée au cas à traiter. Il faut aussi s'assurer qu'elle a fait ses preuves à l'échelle d'un ou de plusieurs sites, qu'il ne s'agit pas seulement d'expériences en laboratoire et qu'elle peut être mise en œuvre par les sociétés de traitement de dépollution dans le pays ou la région du site à traiter.

Pour traiter un site pollué, deux démarches sont possibles : la première consiste à réduire les effets sur les cibles par une diminution des transferts des polluants sans action sur la source, mais uniquement sur les vecteurs ; la seconde réside dans la réduction de la source afin de minimiser les effets résiduels.

Les principes de traitement déterminent la manière dont les transferts ou la pollution peuvent être réduits. Pour chaque principe, différentes techniques sont employées, selon qu'il s'agisse d'une opération avec ou sans excavation.

## 1. REDUCTION DES TRANSFERTS DE POLLUANTS

Dans la première démarche, la dépollution n'est donc pas envisagée. L'action engagée a uniquement pour but de limiter les effets des polluants en les fixant ou les confinant dans le sol à l'aide de techniques mettant en œuvre des liants hydrauliques ou des barrières

dites de confinement. Cependant, des interactions chimiques polluants/liants peuvent avoir lieu qui peuvent avoir comme conséquence l'altération de la qualité du confinement et la reprise des transferts des polluants vers les cibles. Même si cette démarche n'est qu'une solution provisoire, elle est à envisager notamment dans le cas où les ressources en eau ou la population sont menacées, par exemple suite à un accident ayant entraîné un déversement d'une quantité importante de produits toxiques. Dans la seconde démarche, le traitement est une action directe sur les polluants. Les sols sont soumis à l'action d'une technique qui vise à éliminer les polluants ou tout au moins à les rendre moins nocifs pour l'environnement et l'homme. Cette élimination peut se faire in situ, avec ou sans excavation du sol contaminé, ou hors du site après excavation.

Les principes de traitement les plus employés, qui ne réduisent pas la pollution mais qui tendent à diminuer les transferts vers les cibles, sont ceux qui utilisent, après excavation, les techniques de mise en Centre d'Enfouissement Technique (CET) ou de mise en dépôt, et ceux sans excavation, donc in situ, qui utilisent les techniques de confinement.

La **mise en CET** est une pratique courante mais son coût peut être relativement élevé étant donné les quantités souvent importantes. Elle est soumise aux conditions contraignantes d'acceptation des produits. La **mise en dépôt** par contre, sur site en particulier, est une pratique qui a tendance à se développer et qui est de plus en plus acceptée par l'Administration. Cette mise en dépôt consiste essentiellement en la création sur site d'un dispositif dont la conception est quasiment identique à un CET en termes d'isolement (cf. les arrêtés de décembre 1992, juin 1993 et février 1994). Sa particularité est de ne pas nécessiter d'excavation préalable du sol comme pour les CET et d'être généralement soumise à des exigences réglementaires moindres, notamment en ce qui concerne les seuils des teneurs en polluants. La réglementation pour la mise en CET ou en dépôt de sols pollués est généralement celle qui s'applique aux déchets.

Le **principe de confinement** repose sur la mise en œuvre de techniques d'isolation ou de stabilisation. Les sols pollués sont isolés de l'environnement par des barrières d'étanchéité afin de minimiser les transferts.

Pour réaliser ce confinement des méthodes issues de la géotechnique sont utilisées. Il peut s'agir de parois moulées, de palplanches ou d'injections de bétons. Ces parois réputées étanches sont disposées autour de la zone polluée. Elles sont ancrées dans le substratum imperméable lorsque celui-ci existe et n'est pas localisé trop profondément, ce qui limite parfois l'emploi de ces techniques. De plus pour limiter l'infiltration des eaux pluviales dans la zone polluée, une couverture étanche doit être mise en place.

Le principe de traitement par confinement est largement utilisé du fait de sa relative facilité de mise en œuvre, de son coût modéré et de la disponibilité en termes de méthodes et moyens de nombreuses entreprises.

Le **principe de la solidification** a pour objectif de transformer les sols pollués en solides massifs et plus stables chimiquement. Ce principe peut être considéré comme une méthode de traitement ou comme une méthode de mise en sécurité. On utilise, par exemple, des liants hydrauliques pour la mise en sécurité et des agents réactifs chimiques pour le traitement. La solidification élimine la phase liquide libre ; cela augmente la force de cohésion du massif traité tout en diminuant son volume et aboutit à un solide monolithique. Il n'y a pas forcément interactions chimiques entre les polluants et les solidifiants, mais les polluants sont piégés à l'intérieur d'une matrice solide de telle façon que le taux de libération des polluants est diminué malgré l'action de l'eau, ou de l'air. Ces techniques réduisent les risques potentiels sans changer fondamentalement les

caractéristiques physico-chimiques des polluants mais elles agissent sur leur solubilité et leur mobilité.

## 2. REDUCTION DES POLLUTIONS

Ces principes de traitement utilisent des techniques qui permettent de réduire les teneurs en polluants dans les sols. Ils sont donc préférables à ceux mentionnés plus haut car ils diminuent les risques pour l'homme et l'environnement par action sur la source. Les techniques disponibles qui sont mises en œuvre ne nécessitent pas pour certaines l'excavation des sols, cependant pour d'autres elle est indispensable.

Les principes utilisés sont pour la plupart issus de procédés de fabrication rencontrés dans différentes branches d'activités. Les techniques de traitement mettent ainsi en œuvre des procédés thermiques, chimiques, physico-chimiques, physiques et biologiques. Certaines associent plusieurs procédés.

L'objectif est d'extraire les polluants du sol afin de les transformer pour les rendre les moins nocifs possible. Les procédés et techniques employés pour réaliser ces opérations dépendent de la nature des polluants, de la nature du sol et du volume à traiter.

A ce jour les techniques disponibles et appliquées industriellement utilisent l'extraction par agents gazeux, le traitement thermique, le lavage et enfin le traitement biologique.

**L'extraction par agents gazeux** peut être utilisée in situ ou après excavation des sols. Les agents employés sont presque exclusivement l'air et la vapeur. Ces fluides, en cas de traitement in situ, sont injectés dans le sol et aspirés avec les polluants ; si nécessaire, le gaz est ensuite traité dans un équipement approprié. Cette technique est couramment employée pour décontaminer les sols pollués par des hydrocarbures légers, de l'essence par exemple.

Les **traitements thermiques** sont multiples. Ils sont utilisés le plus souvent après excavation, rarement sans. Après excavation, la destruction thermique est réalisée dans des équipements spécialisés. Les niveaux de température, la nature de l'atmosphère, les temps de séjours ainsi que les traitements spéciaux des fumées, postcombustion par exemple, dépendent de la nature des polluants à détruire. Ces traitements sont en général réservés pour les hydrocarbures lourds, tels que les goudrons, et pour les produits organiques spéciaux comme les PCB contenus dans les fluides de refroidissement des transformateurs. Quelques procédés apparaissent qui ne nécessitent pas d'excavation. Il s'agit notamment de ceux qui utilisent l'énergie électrique soit par échauffement direct soit par les ondes électromagnétiques. Ces procédés sont réservés à des cas très spéciaux comme la vitrification in situ de sols légèrement contaminés par des éléments radioactifs. Ces procédés sont presque exclusivement développés aux USA.

Les **procédés chimiques et physico-chimiques** utilisent généralement la technique de lavage pour extraire les polluants. Les sols subissent un lavage qui permet de transférer les polluants dans une phase liquide, laquelle fait ensuite l'objet d'un traitement. L'éluat peut subir par la suite toutes sortes d'opérations dans un équipement pouvant mettre en œuvre des procédés de clarification, de floculation, de flottation ou de décantation, pour récupérer les substances toxiques sous une forme concentrée. Ces techniques sont rarement utilisées in situ. Elles sont opérationnelles après excavation et employées notamment pour les polluants métalliques, les hydrocarbures lourds et les produits organiques spéciaux (HAP, PCB ...).

Le **principe de biodégradation** repose sur un phénomène biologique de décomposition des molécules par des organismes tels les bactéries, les champignons ou les levures. Les

molécules sont consommées et apportent de l'énergie aux micro-organismes. La biodégradation peut apparaître en présence d'oxygène, elle est dite aérobie et aboutit à la formation de dioxyde de carbone, d'eau et de matière cellulaire. En absence d'oxygène elle est alors dite anaérobie et produit en plus du méthane. Ce processus s'initie spontanément dans les sols. Le temps de dégradation varie en fonction de la nature des polluants et des caractéristiques du sol. Certaines substances sont facilement dégradables comme les hydrocarbures légers, d'autres sont très réfractaires, comme les PCB.

Les techniques de réhabilitation des sols par biodégradation reposent sur l'optimisation du processus naturel en activant la flore indigène et même en inoculant des souches microbiennes sélectionnées en laboratoire. Les paramètres qui influencent les conditions de dégradation sont nombreux, les principaux sont : la température, la teneur en eau, le pH, le potentiel rédox, la teneur en oxygène, la présence de micro-organismes et bien sûr leur compatibilité avec les polluants.

Les procédés biologiques peuvent être mis en œuvre, après excavation, dans des bioréacteurs ou en épandage et dans certains cas in situ. En bioréacteurs, les matériaux excavés sont intimement délayés dans de l'eau avec les divers réactifs. En épandage les sols excavés sont étendus en une ou plusieurs couches de faible épaisseur, 1 m environ, avec des systèmes divers d'injection, d'insufflation et d'aspiration de gaz ou fluides contenant les additifs. Les techniques en bioréacteurs ne permettent pas de traiter de grandes quantités de sol mais sont plus rapides que les techniques par épandage qui elles peuvent traiter des grands volumes, plusieurs milliers de m<sup>3</sup> (cf. stade de France, usines à gaz, cokerie...). La biodégradation in situ met en œuvre de l'injection et du pompage d'eau additionnée des produits de traitement ainsi qu'une installation de traitement en surface pour régénérer le fluide. Cette biodégradation in situ peut être aussi réalisée avec de l'air en complément de l'extraction sous vide.

(En fin d'article est joint un tableau qui récapitule les principes évoqués et les polluants qui peuvent, en l'état actuel des connaissances, être traités.)

En termes de coût, en se basant sur des retours d'expérience, il est possible de donner certaines indications tout en sachant que chaque cas est particulier car il dépend notamment des objectifs demandés par l'Administration. Il est cependant possible de préciser que les principes qui mettent en œuvre des techniques de confinement, c'est à dire ceux qui réduisent uniquement les transferts, sont moins onéreux que ceux qui réduisent les sources.

Par exemple un confinement in situ par barrière peut revenir à 500 F HT le m<sup>3</sup> alors qu'un traitement par incinération spécifique de sols contenant des PCB peut atteindre 5000 F HT la tonne. Entre ces deux extrêmes, les coûts moyens des diverses techniques mises en œuvre sont compris entre 1000 F HT et 2000 F HT la tonne. Actuellement la biodégradation par épandage de sols contenant notamment des hydrocarbures lourds est la technique émergente dont le coût moyen est certainement l'un des plus avantageux, de l'ordre de 1000 F HT la tonne.

<b>PRINCIPES</b>	<b>TECHNIQUES</b>	<b>POLLUANTS</b>
<b>Réduction des transferts</b>  Isolation	Mise en CET	Tous types (réglementation)
	Dépôt	Tous types (réglementation)
	Solidification in situ	Tous types
	Barrières	Tous types
<b>Réduction des sources</b>  Destruction Séparation	Incinération hors site	Organiques
	Pyrolyse hors site	Organiques
	Vitrification in situ	Tous Types
	Lavage hors site	Tous Types
	Extraction in situ	Organiques légers
	Lavage in situ	Certains métaux et organiques
	Aéragé (venting) in situ	Organiques évaporables
	Bioréacteurs hors site	Certains organiques
	Epandage hors site	Certains organiques
	Bioventing in situ	Hydrocarbures légers
	Biolavage in situ	Certains métaux