

## SYNTHÈSE DE DOCUMENTS

Spécialité « Prévention et gestion des risques, hygiène », concours externe, interne et 3<sup>e</sup> concours

Le sujet de synthèse qui suit servira de sujet d'étude à la fois pour la synthèse de documents et pour les propositions à élaborer (partie 3). Ce sujet a été donné dans la spécialité « Prévention et gestion des risques » au concours de Technicien supérieur territorial organisé par le CIG de la Grande-Couronne en 2007. Il est tout à fait adapté à l'épreuve de rapport des concours interne et 3<sup>e</sup> voie de technicien territorial et aux concours et examens professionnels de TP2 et TP1 pour ce qui concerne la partie Synthèse.

**Vous êtes technicien territorial ou technicien territorial principal au sein de la ville de IQS. Le directeur des services techniques vous demande de rédiger à son attention, exclusivement à l'aide des documents ci-joints, un rapport sur la dépollution des sites.**

### Documents joints

Document 1 :

« Les nouvelles règles de dépollution des sites », *Le Moniteur*, 24 mars 2006.

Document 2 :

« Une réglementation basée sur l'usage du site et sur le principe pollueur-payeur », *Les Cahiers techniques du bâtiment*, décembre-janvier 2006.

Document 3 :

« Sites et sols pollués, comment agir ? », *Techni.Cités*, 23 juillet 2006.

Document 4 :

« Des traitements biologiques pour les sols », *La Gazette des communes*, 20 mars 2006.

Document 5 :

« Des polluants de plus en plus difficiles à traiter », *La Gazette des communes*, 10 octobre 2005.

Document 6 :

« La phytoremédiation ou comment utiliser la nature », *Les Cahiers techniques du bâtiment*, janvier 2006.

Certains documents peuvent comporter des renvois à des notes ou à des documents volontairement non fournis car non indispensables à la compréhension du sujet.

### Document 1

#### RÉGLEMENTATION : ENVIRONNEMENT

#### Les nouvelles règles de dépollution des sites

• L'article L. 512-17 du code de l'environnement a été complété par un décret du 13 septembre 2005. De nouvelles règles sont désormais applicables à la réhabilitation des sites pollués.

• Pour les sites sur lesquels sont exploités des installations nouvelles, le nouveau régime est applicable à compter du 1<sup>er</sup> mars 2006.

• Pour les autres sites, la date à retenir est le 1<sup>er</sup> octobre 2005.

• Analyse.

La loi « Bachelot » datant du 30 juillet 2003 relative à la prévention des risques technologiques et naturels, et à la réparation des dommages a redessiné en profondeur les objectifs de la réhabilitation des sites pollués en revenant sur l'interprétation de l'article 34-1 du décret du 21 septembre 1977,

qui faisait entièrement peser l'obligation de remise en état sur le dernier exploitant de l'installation classée, sans que cette obligation soit limitée, ni dans son quantum, ni dans le temps<sup>1</sup>.

L'article L. 512-17 du code de l'environnement ainsi que son décret d'application en date du 13 septembre 2005 viennent désormais borner le niveau de réhabilitation susceptible d'être mis à la charge du dernier exploitant, en le calant définitivement, à l'occasion de la fermeture de l'installation, sur un usage précis du site.

Afin de déterminer l'usage futur du site à l'aune duquel le préfet doit arrêter les différentes prescriptions de remise en état qu'il adresse au dernier exploitant, le législateur a créé plusieurs régimes distincts, en fonction de la date à laquelle l'installation a été mise en service, puis mise à l'arrêt définitif.

## Sites sur lesquels sont exploitées des installations nouvelles

Pour les installations nouvelles implantées sur des sites nouveaux, l'article L. 512-17, 4<sup>e</sup> alinéa, du code de l'environnement prévoit que l'arrêté préfectoral d'autorisation doit désormais déterminer, après avis du maire<sup>2</sup> et du propriétaire du terrain, l'état dans lequel devra être remis le site à son arrêt définitif.

Le décret du 13 septembre 2005 précise que ce nouveau régime est applicable aux installations dont la demande d'autorisation est déposée à compter du 1<sup>er</sup> mars 2006. Afin de permettre la mise en œuvre de ces nouvelles dispositions, dont l'objectif affiché est d'inciter les exploitants à mieux anticiper les coûts associés à la remise en état de leur site, le décret du 13 septembre 2005 a adapté la procédure de délivrance des autorisations relatives aux installations classées implantées sur des sites nouveaux.

## Nouvelles conditions de délivrance des autorisations

L'étude d'impact produite à l'appui de la demande d'autorisation doit indiquer les conditions de remise en état du site après exploitation (article 3<sup>e</sup> du décret du 21 septembre 1977). En outre, pour ce type d'installation, doivent désormais figurer dans le dossier de demande l'avis du propriétaire – lorsqu'il n'est pas le demandeur – et celui du maire sur l'état dans lequel devra être remis le site lors de l'arrêt définitif de l'installation (article 3, 8<sup>e</sup> du décret précité). Enfin, au vu de ces éléments, l'autorisation d'exploiter doit déterminer l'état dans lequel devra être remis le site à l'arrêt définitif de l'installation (article 17 dernier al. du décret précité).

## Difficultés de mise en œuvre

Pour novateur qu'il paraisse, l'exercice pourrait toutefois révé-

ler, à l'usage, certaines limites. S'il est incontestable que la fixation de l'usage futur du site dans le titre d'autorisation apporte à l'exploitant un certain degré de sécurité, d'autres critères échapperont, en revanche, à l'administration :

- l'impact du facteur temps ne pourra être élué puisque la date d'arrêt de l'exploitation sera, sauf cas particulier (stockage de déchets, carrières, etc.), imprévisible ;
- l'état réel du sol ou de la nappe phréatique, tel qu'il sera constaté à l'issue de l'exploitation, pourra difficilement être appréhendé par l'administration. Même si des précautions particulières sont désormais prises pour suivre l'évolution de l'état du site tout au long de la vie de l'installation, un delta de pollution est à prévoir lors de l'arrêt définitif de l'exploitation ;
- enfin, les appréciations portées lors de la délivrance du titre devront nécessairement être infléchies en fonction de l'évolution des connaissances scientifiques au jour de la fermeture de l'installation.

### L'essentiel

- En application de l'article L. 512-17 du code de l'environnement, les exigences de remise en état susceptibles d'être mises à la charge du dernier exploitant d'une installation classée sont désormais calées sur un usage précis du site.
- En cas de changement ultérieur de l'usage du site, les mesures complémentaires de remise en état éventuelles relèvent de la responsabilité de la personne à l'initiative du changement d'usage.
- En l'absence de définition légale, la notion de « d'usage du site » pourrait être définie par rapport à un faisceau d'indices.

## Sites sur lesquels sont exploitées des installations existantes

L'article L. 512-17 du code de l'environnement ne pouvait se contenter d'envisager la situation des installations nouvellement autorisées. Il était nécessaire de mettre en place un régime permettant de purger, dans des conditions équilibrées, la situation des

installations « existantes », autorisées avant l'entrée en vigueur ce texte. Le décret d'application du 13 septembre 2005 distingue, à ce titre, deux catégories d'installations.

## Installations ayant cessé leur activité après le 1<sup>er</sup> octobre 2005

Pour ce qui concerne les installations dont la cessation définitive d'activité intervient après le 1<sup>er</sup> octobre 2005, le législateur a créé un mécanisme en trois temps, fondé sur les trois premiers alinéas de l'article L. 512-17 du code de l'environnement. Les conditions de mise en œuvre de ce mécanisme sont définies par les articles 34-1 à 34-4 du décret du 21 septembre 1977 modifié.

## La priorité à la recherche d'un consensus

Aux termes du 1<sup>er</sup> alinéa de l'article L. 512-17, l'exploitant, le maire et le propriétaire du terrain (lorsqu'il ne s'agit pas de l'exploitant) doivent rechercher un accord sur l'usage futur du site. En pratique, au moment où il notifie la mise à l'arrêt définitif de son installation au préfet, l'exploitant doit prendre l'initiative de soumettre au maire et, le cas échéant, au propriétaire du terrain, ses propositions sur le ou les types d'usage du site qu'il envisage d'étudier en vue de la réhabilitation.

Si le principe ainsi posé est relativement clair, ses modalités d'application peuvent soulever d'importantes difficultés. En effet, ni la loi, ni le décret d'application ne prennent soin de préciser ce que recouvre, en pratique, la notion de « type d'usage du site ». L'accord pourrait, toutefois, porter sur un usage défini par référence à un faisceau d'indices. Pourraient être pris en compte :

- le zonage du document local d'urbanisme ;
- les modes d'utilisation conformes à ce zonage, c'est-à-dire la nature des occupations et les spécificités des occupants susceptibles d'être présents sur le site ;
- les restrictions d'usages inscrites dans les servitudes mises en place ;
- les précautions constructives (présence ou non de sous-sols, pose d'éléments d'étanchéité,

## Un cercle élargi de débiteurs

La portée des nouveaux régimes de détermination des objectifs de remise en état des sites pollués doit être bien comprise : il ne s'agit nullement d'interdire, par ce biais, toute modification ultérieure de l'usage futur du site. Simplement, en cas de changement ultérieur de l'affectation des terrains, les mesures de dépollution complémentaires éventuellement nécessaires ne seront plus à la charge de l'exploitant, mais de la personne (propriétaire, aménageur, collectivité publique, etc.) à l'initiative du changement d'usage.

En ce sens, le second alinéa de l'article 34-4 du décret n° 77-1133 du 21 septembre 1977 modifié prévoit désormais qu'« en cas de modification ultérieure de l'usage du site, l'exploitant ne peut se voir imposer de mesures complémentaires induites par ce nouvel usage sauf s'il est lui-même à l'initiative de ce changement d'usage ».

Prenons l'exemple d'une société qui décide de mettre à l'arrêt définitif une installation classée qu'elle exploite sur un terrain dont elle n'est pas propriétaire. Le terrain d'emprise de l'installation étant situé dans une zone d'activités, l'exploitant s'entend avec le maire et le propriétaire afin de remettre le site dans un état tel qu'il permette un usage tertiaire. Quelques années plus tard, la commune, rattrapée par l'urbanisme, souhaite modifier son plan local d'urbanisme pour réaliser un projet immobilier comportant des équipements publics. Le terrain est alors cédé à un promoteur pour la réalisation de ce projet.

En application des nouveaux textes, l'administration<sup>1</sup> devra se tourner vers les personnes à l'initiative du changement d'usage en leur qualité de seconds débiteurs de l'obligation de remise en état, le dernier exploitant n'étant plus susceptible d'être recherché au titre des mesures complémentaires induites par le changement d'usage. Dans le silence des textes, l'administration devra, sous le contrôle du juge, cerner les contours du cercle des personnes à l'initiative du changement d'usage et dire si le propriétaire, le promoteur ou la commune sont alternativement ou cumulativement susceptibles d'entrer dans ce cercle.

1. Il conviendra également de déterminer si les prescriptions complémentaires de remise en état seront de la compétence de l'autorité préfectorale, dans le cadre de la police des installations classées, ou de l'autorité compétente en matière d'urbanisme.

choix de bétons spéciaux, pose de drains d'évacuation, etc.).

Il revient à l'exploitant de notifier au préfet l'existence ou l'absence d'un consensus des personnes consultées sur le ou les types d'usage futur à prendre en compte pour les opérations de réhabilitation.

### Une solution légale par défaut...

Si aucun accord n'a pu être dégagé, le dernier exploitant est tenu de remettre son site dans un état tel qu'il permette un usage comparable à celui de la dernière période d'exploitation (2<sup>e</sup> alinéa de l'article L. 512-17). Selon les travaux parlementaires ayant précédé l'adoption de la loi du 30 juillet 2003, cet usage correspond à un usage industriel ou équivalent<sup>3</sup>. Une telle solution permet *a priori* de sécuriser la situation juridique du dernier exploitant.

### ... assortie des correctifs nécessaires

Toutefois, s'il apparaît que la réhabilitation pour un usage industriel ou équivalent est manifestement incompatible avec l'usage futur de la zone, le troisième alinéa du nouveau texte permet au préfet de fixer des prescriptions de réhabilitation plus contraignantes.

L'usage futur de la zone est apprécié, notamment, en fonction de deux critères :

- les documents d'urbanisme en vigueur à la date à laquelle l'exploitant fait connaître à l'administration sa décision de mettre l'installation à l'arrêt définitif ;
- l'utilisation effective des terrains situés au voisinage du site.

En pratique, l'article 34-2 IV du décret du 21 septembre 1977 prévoit que le maire peut transmettre au préfet un mémoire sur une éventuelle incompatibilité manifeste de la remise en état pour un usage industriel ou agricole avec l'usage futur de la zone. À cette occasion, le maire est tenu de formuler une ou plusieurs propositions de types d'usage à prendre en compte pour la fixation des objectifs de réhabilitation.

Après avoir sollicité l'avis de l'exploitant et, le cas échéant, du propriétaire, le préfet se prononce sur l'incompatibilité manifeste invoquée par le maire et fixe l'usage qui devra être pris en compte par l'exploitant pour établir son mémoire de réhabilitation. Enfin, s'il constate que la remise en état du site pour un usage industriel (ou agricole) est manifestement incompatible avec l'usage futur de la zone, le préfet peut, de sa propre initiative, déter-

miner le ou les types d'usage qui devront être pris en compte par l'exploitant dans son mémoire de réhabilitation.

### La nécessité d'une lecture globale

L'appréciation de l'exacte portée du mécanisme ci-dessus décrit suppose que l'on en fasse une lecture globale. Plus précisément, le dernier exploitant, le maire et le propriétaire devraient examiner successivement la situation concrète du site au regard de chacune des trois hypothèses ci-dessus rappelées afin d'apprécier les marges de manœuvre dont ils disposent.

En effet, si le site est situé au cœur de la zone d'habitation ou d'activités tertiaires, le dernier exploitant se saura exposé à la prescription de mesures contraignantes de dépollution sur le fondement du troisième alinéa de l'article L. 512-17. Il pourra donc avoir intérêt à privilégier un accord moins contraignant avec la collectivité et le propriétaire.

À l'inverse, si la collectivité et le propriétaire constatent que le troisième alinéa de l'article L. 512-17 n'a pas vocation à s'appliquer, ils pourront chercher à obtenir, par la voie négociée, une remise en état du site allant au-delà d'une réhabilitation limitée au strict usage industriel, voire agricole.

## Installations ayant cessé leur activité avant le 1<sup>er</sup> octobre 2005

Le régime applicable aux installations autorisées ou déclarées dont l'activité a cessé avant le 1<sup>er</sup> octobre 2005 est défini par l'article 34-5 du décret du 21 septembre 1977.

Pour ces installations, l'usage retenu de manière univoque par le décret est un usage comparable à celui de la dernière période d'exploitation de l'installation. Il s'agira, selon les installations, d'un usage industriel ou agricole.

Afin de s'assurer que les dispositions de l'article 34-5 susvisé trouvent à s'appliquer, l'administration préfectorale est simplement tenue de vérifier que les installations en cause ont effectivement été mises à l'arrêt définitif avant le 1<sup>er</sup> octobre 2005. Tel sera nécessairement le cas lorsqu'une notification de cessation définitive d'activité aura été adressée au préfet avant cette date. Toutefois, comme le révèle la circulaire du ministère de l'Écologie du 18 octobre 2005, certains sites arrêtés depuis de nombreuses années peuvent avoir fait l'objet d'une cessation d'activité dans des formes différentes et souvent largement plus succinctes que les pratiques actuelles. Sous cet angle, l'administration préfectorale ne doit pas se borner à une approche strictement formaliste de la cessation d'activité. Elle doit s'attacher à déterminer si la situation actuelle du site permet de considérer que l'activité conduite a, en pratique, été définitivement mise à l'arrêt.

À ce titre, le préfet pourra utilement se référer à une circulaire du ministre de l'Environnement du 7 août 1985 qui énumère les critères pouvant être pris en considération afin de déterminer si l'exploitation d'une installation

classée a définitivement cessé. Aux termes de cette circulaire, peuvent être retenus comme des indices : l'enlèvement du matériel d'exploitation, la désaffectation des locaux, l'état d'abandon manifeste du site, le licenciement du personnel, la résiliation du bail ou la vente des locaux, ou bien encore la vente du matériel d'exploitation.

### En savoir plus

- Textes officiels : Art. L. 512-17 du code de l'environnement ; décret du 13 septembre 2005, publié dans *Le Moniteur* du 23 septembre 2005, cahier détaché n° 1, p. 398.

- Articles du *Moniteur* :

- « Les nouvelles responsabilités encourues », 17 juin 2005, p. 102 ;
- « L'usage futur d'un sol pollué : un délicat consensus à trouver », 4 novembre 2005, p. 178.

- Ouvrages publiés aux Éditions du Moniteur : *Les installations classées* par J.-P. Boivin, éd. 2003, 640 pages ; *La réglementation des installations classées* par J.-P. Boivin, M. Pennaforte et Y. Vérot, éd. 2002, 238 pages.

### Plus d'information

Dans le cahier « TO » de ce numéro la circulaire du 18 octobre 2005.

### Bibliographie

Environnement

*Sites et sol pollués*

La loi du 30 juillet 2003 relative à la protection des risques technologiques et naturels a recadré la responsabilité des débiteurs de l'obligation de remise en état, et clarifié le rôle du maire et du préfet. Désormais, la ligne d'action est autant liée à l'urbanisme et à l'aménagement du territoire qu'à la protection de l'environnement. C'est ce que démontre cet ouvrage en exposant de manière claire les

aspects juridiques, techniques et financiers des sites et sols pollués. Écrit par deux des meilleurs spécialistes de l'environnement industriel, il fournit à tous les acteurs de la remise en état (industriels, propriétaires fonciers, aménageurs, État, élus locaux, assureurs, établissements financiers...) une expertise technique et juridique particulièrement précieuse. Publié aux Éditions Le Moniteur (collection « Guides juridiques »), décembre 2005 ; un ouvrage de 320 pages ; prix : 48 euros. Disponible sur [www.editionsdumoniteur.com](http://www.editionsdumoniteur.com)

1. Dans le même temps, le juge administratif s'est attaché à clarifier les contours de l'obligation de remise en état en apportant d'utiles précisions sur les débiteurs (CE, 10 janvier 2005, « Société Sofiservice », req. n° 252307, concl. Yann Aguila ; CE Ass., 8 juillet 2005, « Société Alusuisse-Lonza France », req. n° 247976, concl. Mattias Guyomar) et sur les autorités administratives compétentes pour intervenir (CE, 17 novembre 2004, « Société générale d'archives », req. n° 252514, concl. Yann Aguila), tout en introduisant une prescription trentenaire aussi inattendue que bienvenue (CE Ass., 8 juillet 2005, « Société Alusuisse-Lonza France », précité).

2. Ou du président de l'établissement de coopération intercommunale compétent en matière d'urbanisme.

3. Mme Bachelot avait précisé, à l'occasion de la deuxième lecture du projet de loi devant l'Assemblée nationale, que « dans le cas général l'usage industriel ou équivalent est retenu pour le niveau de dépollution d'un terrain » (Assemblée nationale, 2<sup>e</sup> séance du 15 juillet 2003, JOAN du 16 juillet 2003, p. 7597).

Jean-Pierre Boivin, universitaire et avocat, *Le Moniteur*, 24 mars 2006.

## Document 2

### DOSSIER : DÉPOLLUTION DES SOLS

#### Une réglementation basée sur l'usage du site et sur le principe pollueur-payeur

Évoluant depuis une vingtaine d'années, la réglementation responsabilise l'exploitant d'un site et établit un cadre de surveillance, de maîtrise et de traitement en fonction de l'usage futur du site.

Jusqu'à la fin des années 70, le sol était considéré comme un milieu naturellement épurateur. La prise de conscience des problèmes de pollution de sols par les activités industrielles ne date que d'une vingtaine d'années, activée par un certain nombre d'affaires rendues publiques. Plus précisément, le Love Canal aux États-Unis (un ancien site d'enfouissement de plus de 20 000 tonnes de déchets

toxiques) fut reconverti deux décennies plus tard en logements résidentiels : l'affaire provoqua un scandale. Des infiltrations de produits chimiques propres à causer des maladies graves furent constatées *a posteriori*.

La France ne possède pas de réglementation spécifique aux sols pollués. Celle-ci est en fait incluse dans le cadre de la loi de 1917 puis de celle de 1976, relative aux ICPE<sup>1</sup> et du décret d'application du 21/09/77. Cette loi générale établit une police administrative pour encadrer les rejets dans l'eau ou dans l'air. Elle définit les acteurs réglementaires, à savoir les préfets, et leur donne les moyens pour imposer toute mesure de prévention ou de réhabilitation de sols pollués.

Depuis 1977, l'évolution de cette réglementation s'articule autour de deux grands principes : une politique de prévention et de maîtrise plus que de dépollution systématique, et le principe de responsabilité de l'exploitant. Il y a environ 15 ans, l'administration a demandé aux préfets de réaliser un recensement des sites reconnus comme pollués (pollution avérée ou potentielle, au vu de ce qui s'y

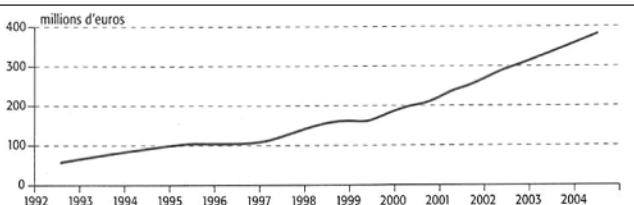
trouvait). L'idée n'était pas d'établir un plan de dépollution systématique, mais de gérer et maîtriser correctement les sites (établir une surveillance pour empêcher les migrations extérieures, voire imposer des travaux à l'exploitant pour faire cesser le risque). Entamé au début des années 90, puis encadré par une circulaire de 93, cet inventaire s'est enrichi au fil des ans pour être basculé depuis 2000 dans la base de données Basol (voir encadré).

En 1996, une circulaire a donné des outils méthodologiques aux préfets pour encadrer cette prévention. Elle impose de réaliser les études de sols à travers des diagnostics initiaux et des évaluations simplifiées des risques (ESR). L'objectif n'est pas un diagnostic approfondi mais une méthode de score destinée à répertorier les différents sites : ceux de classe 1 doivent passer un diagnostic approfondi avant un traitement possible, ceux de classe 2 sont à surveiller, et les derniers, de classe 3, sont considérés comme « banalisables » au vu de leur usage actuel.

#### Principe du pollueur-payeur : les règles

Un site doit être réhabilité en cas de risque avéré ou de cessation d'activité. Le dernier exploitant est responsable par défaut d'une pollution détectée. S'il prouve le contraire, l'administration remonte la chaîne des exploitants antérieurs. Si tous sont défaillants (insolvabilité, disparition...), elle peut essayer de mettre en cause le propriétaire. Cette tentative a toujours échoué, les tribunaux administratifs n'ayant jamais statué dans ce sens (jugements rendus par jurisprudence sur la base de l'interprétation du code de l'environnement). En cas de défaillance générale et si le site crée un risque en l'état, l'administration le sécurise (évacuation des produits dangereux présents, clôture) et confie les travaux de remise en état à l'Ademe<sup>1</sup>. Intervenant sur 150 sites depuis 15 ans, elle peut exercer un recours en justice contre les responsables en vue du remboursement des frais engagés.

1. Agence gouvernementale de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie.



LE MARCHÉ DE LA RÉHABILITATION des sols pollués est en constante progression depuis 1992 (340 M€ de CA en 2003). La relative stagnation de 1995-96 est due à l'attente des industriels de modifications réglementaires. (Source Ademe.)

**Le propriétaire de cette décharge**, répertoriée « site pollué » en 1994, a effectué des travaux d'étanchement pour éviter que la nappe phréatique qui traverse cette décharge ne se charge en polluants. En plus de la pose d'une paroi moulée en bétonite-ciment, une feuille de polyéthylène de haute densité de 2 mm d'épaisseur a été incorporée dans le coulis frais pour une isolation totale. (Doc. UPDS.)



LES PRESCRIPTEURS DE LA DÉPOLLUTION des sols sont principalement les industriels. Gaz de France est concerné, car nombre de ses unités de production de gaz sont d'anciennes cokeries. (Source : Ademe.)

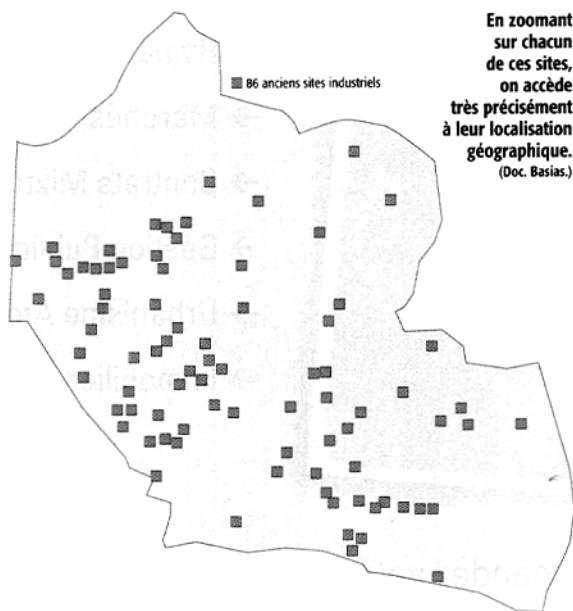


## Basol et Basias : les deux références

Deux types d'inventaires, mis en place par l'administration et accessibles gratuitement sur Internet, permettent de partager l'information relative aux sites pollués. Basol liste les sites recensés par les pouvoirs publics et faisant l'objet d'une action de leur part. Entamée au début des années 90, elle regroupe actuellement 3 800 sites. Basias est un inventaire historique des activités industrielles des régions françaises. Mise en place et gérée depuis la fin des années 90 par le BRGM<sup>1</sup>, elle compte actuellement 67 départements à jour et devrait être finalisée en 2007. Destiné surtout au grand public, aux notaires et aux aménageurs et promoteurs, cet outil permet d'évaluer les enjeux relatifs à l'état d'un terrain en fonction de son passé industriel, mais aussi d'aider un prescripteur à réorienter son projet. Un exemple récent, l'agglomération du grand Lyon, qui avait défini pour un projet de locaux tertiaires leur implantation et celle du parking afférent. La consultation de Basias ayant révélé la présence d'une ancienne zone industrielle sur l'emplacement choisi pour les locaux, les urbanistes ont inversé les implantations.

1. Bureau de recherches géologiques et minières. [www.brgm.fr](http://www.brgm.fr)

## HISTORIQUE DES ACTIVITÉS INDUSTRIELLES DE VILLEURBANNE



Pour en savoir plus : <http://basol.environnement.gouv.fr> et <http://basias.brgm.fr>

L'autre axe de cette politique repose sur le principe du pollueur-payeur, (voir encadré) et d'une gestion du site en fonction de l'usage. L'exploitant, responsable et garant de la prévention des risques de son installation en fonctionnement, est aussi tenu à une remise en état du site à sa cessation d'activité (décret

de 1994). Les objectifs de dépollution de cette réhabilitation sont fixés par l'usage à venir du site, et non par l'état intrinsèque du sol au moment de la cessation d'activité (loi de 2003). Exemple : une industrie dont l'activité a engendré une pollution souterraine et qui est reconvertie en zone d'entrepôts.

Sans présence humaine permanente, et de par sa fonction, elle sera goudronnée ou bétonnée, éliminant ainsi les zones de contact avec la pollution. La réhabilitation devient minimale, voire inexistante. Une reconversion en école aurait engendré une tout autre solution. Cette approche, partagée par tous les pays européens avec des nuances, est appelée gestion des terrains basée sur le risque.

## Une hiérarchisation des sites

Aujourd'hui, le ministère de l'Écologie et du Développement durable est en train de réécrire pour 2006 les outils méthodologiques, notamment l'ESR, car les problèmes ont changé. Un bon nombre de sites étant classés, gérés voire traités, on n'a plus besoin d'outils pour hiérarchiser les sites, mais pour traiter chaque installation au cas par cas.

Parallèlement, une réflexion est menée sur les aspects de financement des dépollutions, pour que la dépollution ne soit pas un obstacle à la réalisation de projets. Un terrain à faible valeur socio-économique et incompatible avec un usage autre que son usage actuel, ne pose pas de problème car il est peu coûteux à maintenir en état. De même pour un site implanté dans une zone géographique à fort besoin de terrain, le surcoût de sa dépollution étant absorbé par le projet immobilier. En revanche, le problème se pose pour des terrains dont la pollution bloque le développement de projets potentiels qui présentent pourtant un réel intérêt socio-économique.

1. Installations classées pour la protection de l'environnement, régies par le code de l'environnement. Se dit d'une installation qui peut présenter des dangers ou inconvénients pour la commodité du voisinage, la santé, la sécurité, la salubrité publique, l'agriculture, la protection de la nature et de l'environnement, ou la conservation des sites et monuments. Exemples : scierie, atelier de réparation de véhicules à moteur, élevage (toutes selon des critères précis), décharge...

G. D., *Les cahiers techniques du bâtiment*, n° 257, décembre-janvier 2006.

## Document 3

### Sites et sols pollués, comment agir ?

La pollution de sols relève essentiellement d'un état de fait consécutif au phénomène de l'industrialisation des deux siècles écoulés. Mais il faut également citer comme cause de pollution, la forte injection de produits chimiques divers nécessaires à la production agricole et généralement néfastes aux eaux souterraines. Il ne faut pas pour autant exclure d'autres origines de la pollution comme les retombées atmosphériques, certaines sources naturelles tel le radon, les décharges sauvages ou encore la pollution par la radioactivité...

Ce fait a généré des grandes surfaces urbaines et rurales qu'il convient désormais de traiter.

1. Approche générale sur la pollution des sites et des sols
2. La connaissance et la mémoire
3. Le mode opératoire et la chronologie des actions d'investigation et d'études
4. Les outils du mode opératoire et du traitement

### 1. Approche générale sur la pollution des sites et des sols

Le *Petit Larousse* nous donne comme définition de la pollution : « *dégradation d'un milieu naturel par des substances chimiques, des déchets industriels* ».

Pour sa part, le BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières) donne dans son glossaire *Risques et sols pollués – Gestion des sites et sols pollués*, la définition suivante : « *Un site pollué est un site présentant un risque pérenne, réel ou potentiel, pour la santé humaine ou l'environnement du fait d'une pollution de l'un ou l'autre des milieux résultant de l'activité actuelle ou ancienne* ».

On traitera à la fois de la pollution des sols et des sites. En effet, ce sont en même temps le site et

le sol qui sont pollués, le site l'étant en surface dans son aspect et sa typologie alors que le sol, pour sa part, constate une pollution dans sa masse et sa morphologie.

#### Les sources de la pollution

Selon le BRGM, la source est : « *Un terrain générique désignant une entité (spatialement délimitée : foyer) ou un ensemble d'entités dont les caractéristiques ou les effets permettent de les considérer comme à l'origine de nuisances ou de dangers. Il s'agit en général de zones où des substances, des déchets ont été déposés, stockés ou éliminés* ».

Les caractéristiques de ces substances ou de ces ensembles de substances, définis par des zones de stockage et de dépôts ou d'élimination de déchets, relèvent de leur dangerosité en matière de toxicité, se traduisant par l'existence de paramètres physico-chimiques en quantité et mobilité variables. Il est constaté que la ou les sources ne sont pas toujours très bien identifiées ou localisées. Pour en réduire les risques et les effets, il convient de mettre en place un confinement approprié de la ou des sources polluantes.

#### Les vecteurs de la pollution

Toujours selon le BRGM, la définition du vecteur est la suivante : « *Milieu, organisme, support physique minéral ou organique, liquide, solide ou gazeux, susceptible de transmettre un élément polluant ou infectieux vers une cible à partir d'une source de pollution, par des processus de transports identifiés* ».

Ces vecteurs ont essentiellement pour supports le sol, l'eau, l'air, l'homme, les animaux, ainsi que les trois caractéristiques suivantes : la direction, le sens et l'intensité. En matière de transfert des pollutions, l'un ou l'autre des vecteurs cités peut afficher une durée parfois très longue pouvant atteindre plusieurs années. En cela, il convient de ne pas ignorer une pollution ancienne que l'on pourrait croire devenue inoffensive, alors qu'elle serait encore tout à fait active et déplacée voire mutante. Le seul moyen permettant de modérer le risque apporté par le vecteur consiste en la réduction de sa capacité de transfert.

#### Les cibles de la pollution

Encore selon le BRGM, la définition donnée à la cible est la suivante : « *Récepteur physique ou environnemental, êtres vivants exposés aux effets d'un danger direct ou indirect ou soumis à un risque* ». Les principales cibles pouvant être atteintes par la pollution sont l'homme, la faune animale, la faune végétale, la flore et le patrimoine bâti ou environnemental. Les caractéristiques de la cible sont constituées par la sensibilité de la cible au phénomène et par sa vulnérabilité. L'eau est considérée comme l'une des cibles les plus vulnérables et sensibles au phénomène de la pollution ; par conséquent, l'homme, les animaux, les diverses faunes et flores le sont par déclinaison. Il ne faut pas oublier les ouvrages de génie civil enterrés ou existants au sol qui peuvent être attaqués par certaines pollutions susceptibles de mettre en péril leurs fonctions de stabilité. Le premier moyen permettant de réduire l'attaque des cibles par la pollution consiste à limiter leur exposition par la limitation de certains usages.

### 2. La connaissance et la mémoire

Comme on vient de le voir, l'importance et le type de traitement à effectuer sur le sol d'un site sont fonction de son degré de pollution et de l'usage qui en sera fait. Pour que ce principe soit respecté et perdure, il faut que la connaissance du site, de sa pollution et des risques potentiels que celle-ci occasionne soit détenue par le plus grand nombre de personnes.

#### Deux types d'inventaires

Pour informer le plus grand nombre, deux types d'inventaires ont été mis en place et sont, depuis, devenus accessibles sur Internet.

- L'inventaire des sites potentiellement pollués appelle une intervention de la puissance publique. Il constitue une base de données couplée à un tableau de bord des interventions menées par les pouvoirs publics et les gestionnaires de sites. Il permet de prévenir les risques et les nuisances que la ou les pollutions pourraient provoquer.

Site : [www.environnement.gouv.fr](http://www.environnement.gouv.fr) ou autre site de consultation : BASOL (site du ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement) :

<http://basol.environnement.gouv.fr>

- Les inventaires historiques, dont le but est d'investiguer et de reconstituer le passé industriel d'un secteur ou d'une région. Les informations collectées et agrégées par ces inventaires régionaux sont versées dans une base de données intitulée « BASIAS ». Cet inventaire est géré et tenu par le BRGM. Il est en ligne et donc consultable sur Internet : <http://basias.brgm.fr>. Il est considéré que des sites aux sols pollués abandonnés depuis plusieurs décennies ne présentent plus de risques potentiels. Toutefois, ces sites peuvent redevenir actifs en matière de pollution s'ils font l'objet de travaux divers sans prise de précautions particulières. En cela, il est donc essentiel que les vendeurs, acheteurs, aménageurs et constructeurs détiennent les informations historiques relatives aux sites considérés. Cette recherche sur l'entité historique des sites doit être conduite très en amont de la détermination de l'usage qui sera fait du lieu. Actuellement, ce n'est pas toujours le cas...

En 2005, cet inventaire contenait l'information sur l'histoire industrielle de quelque 350 000 à 400 000 sites.

### 3. Le mode opératoire et la chronologie des actions d'investigation et d'études

Les actions d'investigation et d'études sont au nombre de cinq et se classent par ordre de mise en œuvre comme suit : la visite préliminaire ; le diagnostic initial ; l'évaluation simplifiée des risques (ESR) ; le diagnostic approfondi et l'évaluation détaillée des risques (EDR).

Pour leur part, les diagnostics initiaux et approfondis s'appuient, pour leur bilan, sur le schéma conceptuel, outil qui permet de faire émerger sous la forme de graphiques les résultats des investigations de la visite préliminaire et des deux diagnostics.

Toutes les études et investigations s'appuient également sur le procédé de l'échantillonnage qui en constitue un outil.

#### La visite préliminaire

Elle a pour objectif de limiter ou d'éliminer les risques par la prise et la mise en application de mesures immédiates. Elle doit aussi conduire à l'élaboration d'une première approche de la connaissance du phénomène de pollution du site et du contexte dans lequel celle-ci évolue. De plus, elle doit également orienter les réflexions complémentaires à mener et ordonner les actions futures à conduire. Elle se traduit par :

- l'élaboration d'un diagnostic initial ;
- l'évaluation simplifiée des risques (ESR) qui détermine le classement du site et établit un constat de pollution.

Il peut être défini par la visite préliminaire de procéder à un diagnostic approfondi voire une étude détaillée des risques (EDR), puis en dernier ressort, il peut être décidé de réhabiliter ou de confiner le site.

Dans la logique de fonctionnement, cette étude préliminaire peut :

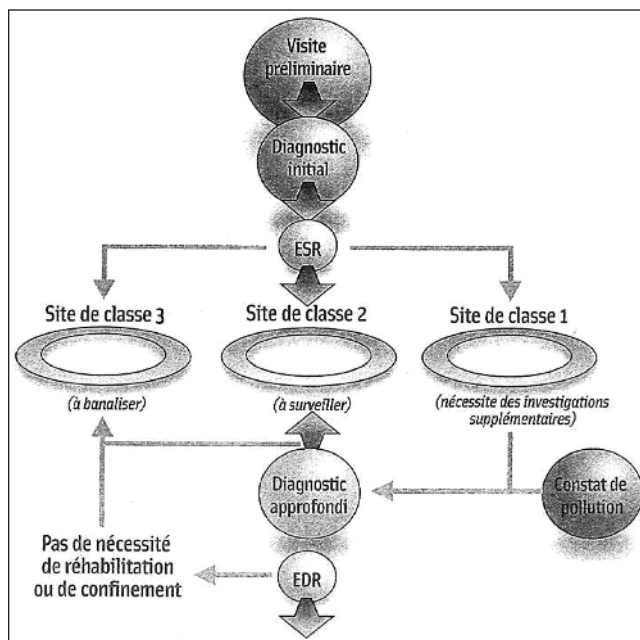
- faire suite à un constat de pollution ;

- être déclenchée par une cession de terrain ;
- être déclenchée par une cessation d'activité ;
- être occasionnée par une étude historique menée sur l'activité exercée sur le site ayant fait émerger un risque potentiel ou avéré de pollution.

Cette étude peut être effectuée par un bureau d'études spécialisé ou par l'industriel ou encore par un inspecteur des Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). Elle se réalise à l'aide de questionnaires adaptés, l'un aux sites industriels en activité et l'autre aux sites abandonnés.

Les questionnaires sont en principe établis selon neuf axes permettant de définir les caractéristiques du site, les contacts à prendre, les documents à traiter et par déclinaison, les mesures à mettre en œuvre. Le questionnaire peut être rempli de la façon suivante :

- l'identité, la localisation, les caractéristiques typologiques et altimétriques, la superficie du site et le ou les noms des propriétaires ;
- la description typologique du site dans ses états et aménagements actuels ;
- la reconnaissance et la description de la ou des pollutions potentielles ou reconnues ;





- la description du type de lieu et d'environnement urbain ou rural ;
- la description de l'occupation actuelle du site en matière d'accès et de présence humaine ;
- la liste des documents relatifs à la gestion du site ;
- la liste des partenaires des opérations de traitements de la pollution ;
- la définition des éventuelles mesures d'urgence à prendre ;
- la liste des remarques générales.

## Le diagnostic initial

Il est indispensable à l'identification de la ou des pollutions potentielles du site. Il doit constater et afficher de façon succincte un éventuel impact sur la santé des personnes, des animaux et de l'environnement. Par ailleurs, ce diagnostic a pour but de recueillir les informations nécessaires à la mise en place de la méthodologie nationale de l'évaluation simplifiée des risques.

Pour sa mise en place, le diagnostic initial mobilise un certain nombre de partenaires tels que l'État, les collectivités territoriales, les établissements publics industriels et commerciaux ou administratifs, les industriels, les bureaux d'études, les compagnies d'assurances...

Il se réalise en phases successives classées en étapes.

Dans une première étape :

- la constitution du dossier documentaire permettant de recenser les activités passées exercées sur le site dans leur contenu, leurs localisations sur le site, leurs durées et leurs caractéristiques diverses ;
- la visite de terrain sur le site qui a pour but la vérification des informations recensées et le complément nécessaire à celles-ci ;
- l'examen de l'état du site ;
- la définition des études complémentaires à mettre en place et à conduire.

Puis en seconde étape :

- les recherches documentaires plus approfondies et plus précises sur le site ;
- les investigations de terrain complémentaires se traduisant par des interventions matérielles sur le site comme la prise d'échantillons de sols pour analyse et la mesure de caractéristiques physiques du sol et du site telles les analyses d'air ou de gaz.

Les documents nécessaires à l'analyse que le diagnostic doit fournir sont : un schéma conceptuel ; le tableau récapitulatif des sources de pollution ; le rapport de la première étape et le rapport final faisant suite à la seconde étape.

## L'évaluation simplifiée des risques

L'évaluation simplifiée des risques constitue par le diagnostic l'élément d'opération le plus significatif sur le type et le degré de pollution. Ses objectifs sont simples mais pertinents, ils consistent à distinguer les sites ne présentant pas de danger de pollutions de ceux pouvant générer des risques notoires pour la santé humaine et animale. Cette démarche permet de noter et de classer le site.

Les étapes de l'ESR sont :

- le sondage et le prélèvement ;
  - l'analyse ;
  - l'attribution d'une note ;
  - la classification du site ;
  - le constat des impacts ;
  - les éventuelles prescriptions de confinement ou de réhabilitation.
- La notation du site s'établit en fonction de paramètres :
- le potentiel danger constaté sur la source de pollution ;
  - le potentiel de mobilité et de transfert de la ou des pollutions ;
  - les cibles potentielles à préserver ;
  - les impacts constatés de la ou des pollutions.

Il existe sept grilles de notation pour des usages et des milieux différents qui se répartissent comme suit :

- trois grilles pour les eaux souterraines avec les trois usages considérés : alimentation en eau potable (AEP), ressource future en eau potable et autres usages ;
- trois grilles pour les eaux superficielles également séparées en fonction des usages ;
- une grille pour les sols.

## Le diagnostic approfondi

Son but est d'identifier et de caractériser les sources du diagnostic initial et également de rechercher les informations relatives aux sources de pollutions pour les sites n'ayant pas fait l'objet d'une ESR. Il doit, de plus, permettre la mesure de l'extension de la pollution, en comprendre les

mécanismes de transfert, et enfin collecter les données permettant l'évaluation des impacts.

Il fait naturellement suite à un constat de pollution affichant un fort impact envers l'homme et l'environnement et, bien entendu, à une ESR classée niveau 1 qui nécessite une étude approfondie. Il se base sur le tableau récapitulatif des sources et le schéma conceptuel.

Il se développe selon trois étapes elles-mêmes subdivisées en catégories.

- La caractérisation des sources de pollution selon :

- les types de sources de pollution ;
- la définition chimique, physique et biologique ;
- le comportement et les mouvements constatés dans le milieu.
- La caractérisation des milieux de transfert par :
- la détermination des objectifs de qualité des milieux eau et sol ;
- la caractérisation intrinsèque des milieux (sols argileux, perméabilité des formations du sous-sol...) ;
- l'évaluation du bruit de fond.

- La caractérisation des cibles identifiées d'après :

- la densité et la typologie des populations humaines et animales ainsi que la faune végétale ;
- la connaissance des alimentations en eau potable et leurs caractéristiques.

Plusieurs types d'investigations peuvent être conduits dans le cadre d'un diagnostic approfondi :

- les prélèvements de sols, de gaz intégré dans le sol, d'eaux souterraines, d'éléments biologiques, d'air ambiant... ;

- les techniques intrusives par procédés de forages horizontaux ou verticaux, d'excavations ;
- les procédés géophysiques tels qu'électriques ou sismiques ;
- le traçage pouvant déterminer et suivre le sens et la vitesse de la nappe.

Les documents de synthèse consistent en un modèle conceptuel d'exposition de la pollution qui doit compléter le schéma conceptuel et le rapport final.

## L'évaluation détaillée des risques

L'évaluation détaillée des risques (EDR) constitue après l'ESR l'investigation la plus complète et la plus usitée en matière de recher-

che et d'identification menées sur la pollution.

Ses objectifs principaux consistent à identifier les sites présentant des risques inadmissibles pour les populations humaines et animales et pour l'environnement en général. Elle doit en outre définir les actions qui seront conduites afin de réduire ou annihiler la ou les pollutions et ainsi faire diminuer les risques de sorte qu'ils deviennent acceptables. En dernier lieu, elle doit définir les objectifs et la stratégie de réhabilitation afin de permettre un usage défini et autorisé du site.

Cette étude fait naturellement suite au diagnostic approfondi et les différents types d'EDR sont organisés et menés soit sur la santé des populations, soit sur les écosystèmes, soit encore sur les ressources en eau, en s'appuyant sur le principe de transparence. Elle se décompose en plusieurs étapes :

- l'identification et la caractérisation des dangers en déterminant les substances dangereuses et les effets indésirables ;
- l'évaluation de l'exposition aux risques :
  - en quantifiant les substances en contact avec les cibles,
  - en évaluant les voies d'exposition et de transfert,
  - en définissant les scénarii d'exposition,
  - en déterminant les nombres et typologies des populations ;
- la caractérisation des risques en mettant en relation les expositions et les cibles potentielles, puis en définissant les effets néfastes sur les populations après exposition.

Les acteurs et partenaires qui peuvent intervenir ou être associés à une étude détaillée des risques sont les industriels concernés par la pollution ou étant responsables de celle-ci ; les bureaux d'études ; l'État et les diverses administrations et collectivités territoriales et leurs établissements rattachés et les inspecteurs des installations classées.

## 4. Les outils du mode opératoire et du traitement

### Le schéma conceptuel

C'est un outil permettant la tenue et la gestion des diverses données alimentant le concept de pollu-

tion tout au long de son processus. Il doit, sous la forme des graphiques, agréger et afficher toutes les données anciennes et nouvelles à toutes les étapes.

Le schéma conceptuel s'appuie sur le tableau récapitulatif des sources et les données recueillies lors du schéma initial et définitif. Les étapes de la réalisation du schéma conceptuel sont :

- l'identification de la source ;
- l'identification des milieux d'exposition ;
- l'identification des potentielles voies de migration ;
- l'identification des usages liés aux milieux d'exposition ;

– l'identification des points d'exposition.

### L'échantillonnage réalisé sur les sols

Les objectifs des échantillonnages réalisés sur les eaux et le sol sont de déterminer leur qualité, de définir puis d'établir une cartographie afin d'affiner le schéma conceptuel permettant de caractériser les expositions aux dangers.

Les investigations portent sur les fonds documentaires et les relevés de terrain. Il existe trois types de stratégies d'échantillonnage :

- L'échantillonnage de jugement consiste à sélectionner des points de prélèvement en fonction de

### Un exemple de traitement par excavation

*Commune* : Palais-sur-Vienne (87 – Haute-Vienne)

*Activité industrielle* : fabrication de cuivre électrolytique.

Les eaux utilisées pour la production sont récupérées pour être traitées avant leur rejet dans un ruisseau situé en bordure de site. Une partie des déchets solides produits est stockée à proximité du site, formant progressivement un talus d'une vingtaine de mètres de hauteur.

*Situation du site au moment de la dépollution* : site en activité jusqu'en 1999

*Type de pollution* : cuivre

*Méthodologie d'action* : malgré l'installation d'une station d'épuration et de traitement des eaux et l'arrêt en 1993 du stockage des déchets inertes, la Compagnie générale d'électrolyse du Palais (CGEP) constate une pollution des sols et de la rivière imputable à l'infiltration de l'eau dans le talus. À la fermeture de l'usine d'électrolyse, la DRIRE prescrit à la CGEP la réalisation d'une ESR, qui aboutit en 1999 à l'élaboration d'un plan concerté de réhabilitation du site.

Un arrêté préfectoral de 2001 précise :

- les conditions de réhabilitation ;
- la mise en place de servitudes d'utilité publique ;
- les modalités de surveillance du site.

Pour assurer une réhabilitation optimale en cohérence avec l'installation d'une nouvelle activité, la CGEP entreprend des travaux de protection et de dépollution supérieurs à ceux prescrits par l'ESR.

*Solutions techniques de dépollution* :

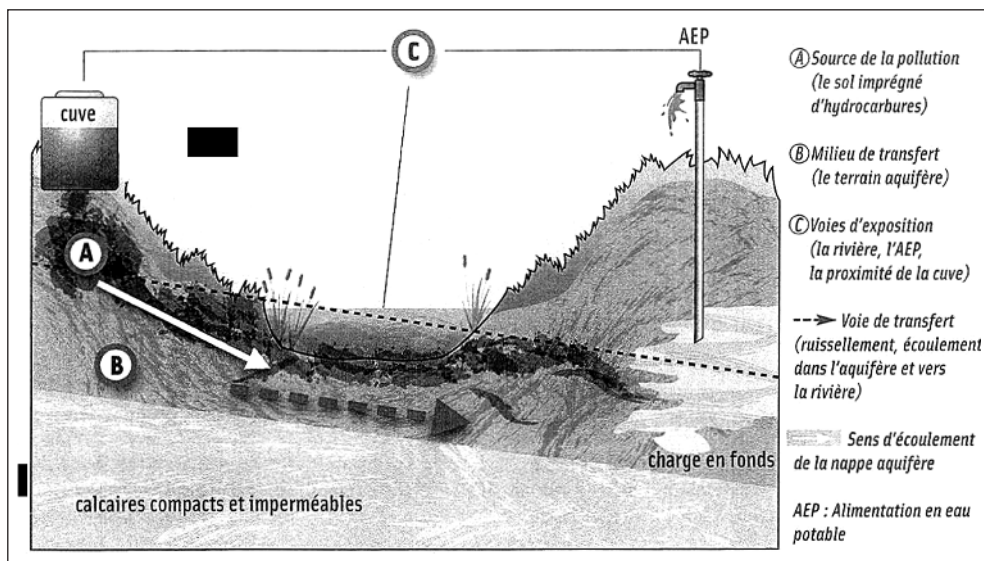
- excavation et évacuation de près de 6 000 tonnes de déchets issus du remblai, envoyés en décharge de classe 1. Un curage de la rivière et de ses berges est également entrepris ;
- mise à sec du remblai par l'aménagement d'une tranchée drainante en amont du site ;
- modernisation du système d'épuration et de traitement des eaux ;
- pose d'un revêtement étanche sur le site ;
- remodelage du talus ;
- surveillance des eaux à l'aide de piézomètres.

*Acteurs de la dépollution* : CGEP, propriétaire du site

*Usages projetés* : maintien de l'activité

*Réhabilitation du site* : après avoir fermé l'usine d'électrolyse, la CGEP concède une partie du site (dépollué) à l'accueil d'une société spécialisée dans la valorisation de déchets métalliques et minéraux spéciaux (ICPE soumise à autorisation).

Schéma conceptuel d'exposition (cas d'une cuve d'hydrocarbure défectueuse)



l'étude historique et de la visite du site. Cette stratégie permet d'évaluer les sources et d'apprécier les risques.

- L'échantillonnage systématique se réalise selon une grille pouvant arborer des formes diverses. Cette méthode est utilisée pour délimiter le phénomène de pollution ou, *a contrario*, contrôler la dépollution d'un site.

- L'échantillonnage aléatoire où l'on localise les points de prélèvement de façon tout à fait arbitraire. On utilise ce procédé pour le contrôle de la dépollution.

Les techniques d'échantillonnage sont de quatre ordres :

- le forage ou carottage ;
- l'excavation réalisée à l'aide d'une pelle mécanique ;
- le forage à la tarière ou à la sonde ;
- le forage manuel.

Afin de réaliser de bons prélèvements de sols, il convient de disposer d'outils propres et en bon état, obligatoirement nettoyés à la suite de chaque prélèvement. Il faut également prélever un volume minimum permettant une bonne analyse en éliminant les corps étrangers, un tamisage des extraits est conseillé.

Dans la mesure du possible, il convient d'effectuer un prélèvement

en constituant un matériau composite réduisant le nombre d'analyses et les variétés de celles-ci.

## L'échantillonnage réalisé sur les eaux

Il permet de définir et de connaître la qualité de l'eau en un instant donné et durant une période déterminée plus ou moins longue. Pour les eaux superficielles, on procède par des prélèvements :

- au droit des rejets d'eaux ;
- en aval des rejets ;
- au droit des cibles potentielles ;
- sur des sédiments de fond de cours d'eau ;
- sur des bio-indicateurs tels que diatomées ou bryophytes.

En principe, la corrélation et la compilation des résultats obtenus sur ces deux prélèvements permettent d'acquiescer des données accumulées sur une longue période.

Pour les eaux souterraines, les procédés consistent à :

- mesurer des niveaux d'eau statique dans le puits ou le forage ;
- purger des eaux superficielles le puits ou le forage ;
- réaliser des mesures à l'intérieur du puits ou du forage, déterminant les caractéristiques de l'eau telles que son alcalinité, sa conductivité, son pH... ;

– collecter et conserver les échantillons et les transporter au laboratoire.

Bien évidemment, certaines précautions sont à prendre, elles consistent à :

- définir avec précision la cible ;
- définir et situer les points de prélèvement ;
- préciser la méthode d'échantillonnage et ne pas en changer pour d'autres prélèvements sur le même site.

## La réhabilitation ou la protection par le confinement

Divers moyens permettant l'utilisation d'un site pollué sont à disposition des aménageurs de terrains ou des constructeurs. Ils sont de deux types, l'un étant la réhabilitation du sol par divers procédés et l'autre un principe de confinement des sols. Les uns ou les autres procédés sont mis en œuvre en fonction du ou des usages qui seront faits du site et le choix s'établit surtout en relation avec le type et le classement du sol en matière de pollution.

Dossier rédigé par Christian Legrand, ingénieur en chef territorial, et Marie Solerieu, ingénieur territorial, *Techni.Cités*, n° 8, 23/07/2006.

## Document 4

### DÉPOLLUTION

## Des traitements biologiques pour les sols

- **Développés in situ dans des centres spécialisés, les procédés biologiques sont de plus en plus utilisés pour dépolluer les sols.**
- **Gros plan sur ces techniques rentables et respectueuses de l'environnement.**

Bactéries, algues, champignons..., chaque gramme de terre peut contenir des dizaines, voire des milliers d'espèces microbiennes différentes. Ces micro-organismes, peu connus, jouent un rôle important dans la biodégradation, en particulier les bactéries. Sur un site contaminé, les populations microbiennes subissent une sélection. Celles qui parviennent à s'adapter révèlent généralement de fortes capacités à dégrader les contaminants en composés moins polluants en termes de persistance que de toxicité. Née dans les années 90, la bioremédiation tire parti de cette capacité de dégradation des espèces microbiennes pour dépolluer des sites contaminés. « Aujourd'hui, les techniques de dépollution fondées sur des processus biologiques sont opérationnelles et elles offrent une totale efficacité », analyse Dominique Darmendrail, chef du service environnement industriel et procédés du Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM).

**Application large.** Ces procédés qui ont fait leurs preuves sont applicables à un large éventail de polluants : hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), solvants chlorés, etc. Ces substances peuvent être présentes sur des sites industriels très divers : cokeries, usines pétrochimiques, laboratoires pharmaceutiques, fabricants de peinture, etc. Souvent, les biotraitements sont conseillés pour des polluants peu concentrés. Selon la société de traitement Biogénie, ils peuvent même être envisagés pour des concentrations élevées, allant jusqu'à 30 % d'hydrocarbures !

Avis d'expert : Laurent Clémentelle, référent national<sup>1</sup> pour Arcadis

### « Plus écologique, plus économique et plus efficace »

« La bioremédiation in situ se développe depuis trois ans, essentiellement pour traiter les nappes phréatiques. Appliquée à ce genre de milieu, c'est une technique d'avenir. Neuf fois sur dix, elle est plus économique, plus écologique et plus efficace que le pompage traitement. En France, plusieurs chantiers utilisent ce procédé. Notre originalité réside notamment dans l'injection d'hydrates de carbone – des sucres – favorisant le développement des bactéries qui dégradent la pollution. Cette technique, développée aux États-Unis depuis 1993, active les processus naturels. Plus de 200 sites en ont déjà bénéficié (170 aux EU, 40 en Europe). Bien maîtrisée, elle est très efficace. Mais une trop grande quantité de sucres peut provoquer un effet contraire. L'hyperoxygénation est une autre solution. »

1. Travaux de dépollution.

### Degré de biodégradabilité potentielle des polluants courants

Composés	Voie aérobie (*)	Voie anaérobie (*)
<b>Acétone</b>	1	1
<b>BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène, xylène)</b>	1	de 2 à 4
<b>HAP</b>	de 1 à 2	de 3 à 4
<b>PCB</b>		
Hautement substitué	4	2
Faiblement substitué	2	4
<b>Chloro-éthylènes</b>		
Perchloroéthylène	4	de 1 à 2
Trichloroéthylène	3	de 1 à 2
Dichloroéthylène	3	de 2 à 3
Chlorure de vinyle	de 1 à 2	de 3 à 4

(\*) Hautement biodégradable (1). Modérément biodégradable (2). Faiblement biodégradable (3). Non biodégradable (4).

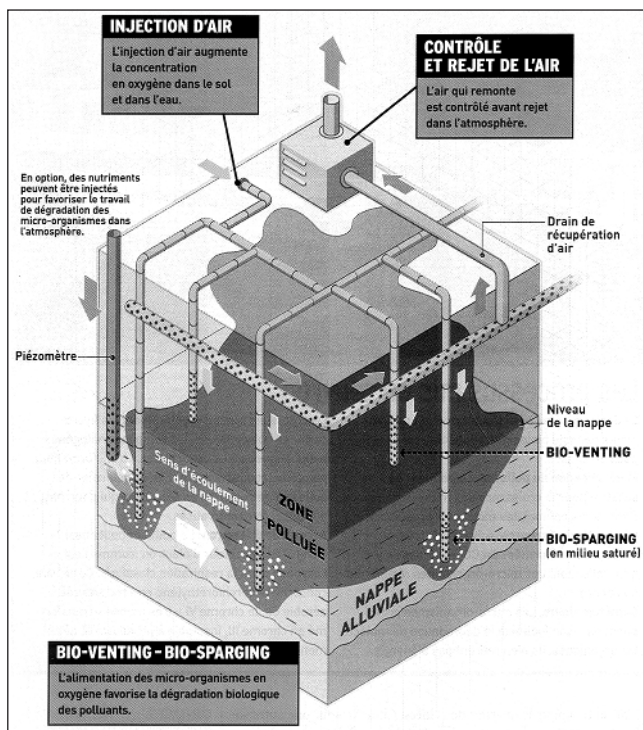
Lorsque les procédés biologiques peuvent être employés, deux situations sont envisageables : soit la population présente est déjà active, il suffit alors de la stimuler en favorisant les conditions de croissance ; soit elle n'est pas suffisante et il faut injecter d'autres micro-organismes. Il s'agit alors de bio-augmentation, une technique pour l'instant moins développée, mais la recherche progresse, notamment via des modifications génétiques. Dans tous les cas, pour que ces systèmes fonctionnent, les conditions de croissance des micro-organismes doivent être satisfaisantes : sources de nourriture complémentaires au carbone (azote, phosphore), pH et température adéquate (souvent :  $5 < \text{pH} < 9$  et  $T^\circ > 10^\circ \text{C}$ ), accepteur d'électron ( $\text{O}_2$ , nitrate, sulfate,  $\text{CO}_2$ , etc.). Parfois, une source de carbone organique, un donneur

d'électron et/ou des oligo-éléments sont aussi nécessaires. Par ailleurs, il faut tenir compte de certains paramètres, comme une eau trop dure ou des sols chargés en métaux lourds, qui peuvent inhiber les réactions.

**Souplesse d'utilisation.** Les modes d'utilisation des procédés biologiques présentent une grande souplesse. Ceux-ci peuvent être employés selon trois grandes modalités de traitement. *In situ*, le procédé est appliqué directement dans le sol ou la nappe ; sur site, le sol est excavé et traité sur place ; et hors site, les terres excavées sont exportées pour être traitées ailleurs. Les traitements *in situ* sont les moins onéreux, mais ceux comportant une excavation sont les plus sûrs, en termes de contrôle et de maîtrise.



## Deux traitements *in situ* : bio-venting et bio-sparging



Parfois, les processus naturels de transformation du sol suffisent à réduire l'effet de la pollution dans un délai acceptable. On parle alors d'« atténuation naturelle ». C'est la formule la plus simple et la plus économique, car il ne reste qu'à effectuer un suivi. Mais ce processus est généralement trop limité et/ou trop long et il faut mettre en œuvre une technologie supplémentaire.

**Oxygénation.** Le bio-venting (terres) et le bio-sparging (nappes) – voir l'infographie – sont des traitements *in situ* courants. Contrairement au venting et au sparging dont ils sont dérivés (lire « la Gazette » du 8 août 2005, p. 40), ils ne volatilisent pas le polluant, mais favorisent sa dégradation biologique en alimentant les micro-organismes en oxygène. Si le sol est perméable et homogène, le bio-venting peut être très efficace. Sur des hydrocarbures, les rendements avoisinent souvent 90 %. Sur le site d'une ancienne cokerie, à Liévin (Pas-de-Calais), Charbonna-

ges de France a fini de traiter la pollution diffuse résiduelle des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) légers par bio-venting. Pour les composés dégradables *in situ* sous conditions anaérobies (sans oxygène), comme les métaux lourds (chrome) ou les solvants chlorés, l'apport d'hydrates

de carbone (mélasse, sucre, sirop de maïs, etc.) peut aussi être envisagé. Cette technique est surtout utilisée pour les nappes phréatiques.

Mais les traitements *in situ* ne sont pas toujours applicables et, bien souvent, les terres polluées doivent être excavées. Si le temps et l'espace sont suffisants, il est préférable de les traiter sur site, en andains, en landfarming ou en biotterres. Les terres sont déposées sur un réseau de tuyaux d'aération, dans des alvéoles de traitement étanches. Des amendements développés spécifiquement sont ajoutés. Les polluants les plus lourds sont dégradés directement. Les produits volatils dégagés dans l'air sont captés et également traités par voie biologique ou sur charbon actif.

**99 % des polluants dégradés.** À Gosnay (Pas-de-Calais), Charbonnages de France a ainsi décontaminé en andains 25 000 tonnes de terres polluées aux hydrocarbures aromatiques polycycliques. Ce passage en biotterre a permis de réduire les HAP de 1 300 mg/kg à 80 mg/kg. « La dépollution s'est déroulée en deux temps (deux fois six mois), car il n'y avait pas assez de place pour tous les andains simultanément sur le site. Au final, l'objectif a été atteint, avec une dégradation à 99 % des polluants », raconte René Lagarde, responsable du département environnement Nord-Pas-de-Calais à Charbonna-

### Les processus mis en œuvre

La destruction et/ou la transformation des polluants par voie biologique implique trois principaux processus.

**Minéralisation du polluant.** Le polluant sert de substrat pour la croissance des micro-organismes. Dans le cas optimal, les molécules organiques polluantes (hydrocarbures, solvant chlorés, alcools, etc.) sont transformées en  $\text{CO}_2$  et en eau : il y a minéralisation. Les micro-organismes récupèrent de l'énergie.

**Cométabolisme.** Les micro-organismes provoquent de façon indirecte la dégradation de molécules organiques, ils n'en retirent pas d'énergie. Ce processus concerne notamment les hydrocarbures polycycliques, les composés halogénés haliphatiques et les pesticides. La transformation par cométabolisme permet de transformer des polluants réfractaires en substrats, qui pourront eux aussi être minéralisés.

**Accepteur d'électrons.** Le polluant peut aussi devenir un accepteur d'électron, comme l'est l'oxygène dans la respiration classique. Cette voie concerne le perchloréthylène en zone saturée aérobie ou, le chrome VI – très mobile – transformé en chrome III, insoluble à pH neutre et nettement moins toxique.



ges de France. « Ces traitements biologiques sont économiquement intéressants : leur coût avoisine, excavation et remise en place comprises, 100 euros la tonne. Nous avons déjà procédé ainsi pour plus de 40 000 tonnes », précise René Lagarde.

Si le temps ou la place manquent, il est possible de transférer les terres hors sites sur des biocentres. Leur prise en charge permet un transfert de responsabilité immédiat, mais le transport a un coût financier et écologique important ! « Sur des sites où la pression foncière est forte, c'est l'option biocentre qui est choisie. Pour le chantier de l'école normale supérieur, le Grand Lyon a envoyé 3 000 tonnes de terre en biocentre et 3 000 autres pour le quartier de Vaise. Le coût du traitement seul est de 60 à 65 euros la tonne environ. Il doit y avoir en France plus de 150 000 tonnes de terres dépol-

luées en biocentres par an », estime Jean-Michel Brun, directeur général adjoint de GRS Valtech, société de dépollution. En Île-de-France, le biocentre de Biogénie a traité depuis son ouverture, en 1999, plus de 300 000 tonnes de terres polluées. Chez Arcadis, une autre société de dépollution, les techniques de bioremédiation représentent environ 15 % des interventions. « Ces techniques offrent de nombreux avantages, conclut Dominique Darmendrail. Cependant, en France, leur mise en œuvre est encore limitée. » Avec la multiplication des sites à traiter et l'amélioration des techniques, les bactéries, les algues et les champignons dépollueurs devraient pourtant voir leur cote grimper.

## Contacts

• Communauté urbaine Grand Lyon, Pierre Clothes, tél. : 04.78.63.40.

• BRGM, Dominique Darmendrail, email : d.darmendrail@brgm.fr  
• Arcadis, tél. : 01.55.17.13.20.  
• GRS Valtech, tél. : 04.72.01.81.96.

## Pour en savoir plus

• *Sites et sols pollués, outils juridiques, techniques sites et financiers de la remise en état des sites pollués* de Jean-pierre Boivin et Jacques Ricour, Éditions Le Moniteur, collection « Guides juridiques », 560 pages.

• Base de données Astres : issue d'un partenariat entre le pôle de compétences sites et sédiments pollués et le Centre national de recherche sur les sites et sols pollués, cette base recense les principales techniques de traitement. Site internet : [www.polessp.org](http://www.polessp.org).

Emmanuelle Lesquel, *La Gazette*,  
20 mars 2006.

## Document 5

### EAU

## Des polluants de plus en plus difficiles à traiter

• **Désormais, ce sont des cocktails de micro-polluants qu'il faut traiter et non plus des pesticides seuls.**

• **L'évolution des produits phytosanitaires risque de faire grimper le coût de traitement.**

Malgré tous les efforts menés en matière de prévention, de protection des captages, de changements de pratiques culturales, la pollution des ressources en eau par les pesticides ne connaît pas de recul sensible. Le phénomène a pris une telle ampleur que, dans certaines zones, les coûteuses recherches de ressources non contaminées se révèlent parfaitement infructueuses. « Dans les zones rurales de la grande couronne, la qualité des eaux des nappes souterraines continue à se dégrader, alors que la qualité des eaux superficielles est plutôt en amélioration, constate Michel Vamprouille, vice-prési-

dent du conseil régional d'Île-de-France. En Seine-et-Marne comme dans les zones rurales du Val-d'Oise ou des Yvelines, les hypothèses les plus fréquemment retenues indiquent que la quasi-totalité des eaux souterraines sera non potable dans quelques années. »

Sans abandonner les actions préventives qui finiront bien par porter leurs fruits, il a donc fallu se résoudre à passer aux actions curatives. Celles-ci consistent soit à couper l'eau avec une ressource moins contaminée, ce qui requiert de mettre en place des interconnexions, soit à traiter l'eau.

## Filtrer davantage de substances

Depuis quelques années, les projets de traitement des pesticides se multiplient, même dans des communes isolées. Sont également concernés de petits syndicats en territoires ruraux. Jusqu'à présent, ils faisaient surtout appel à des technologies standard, incluant un traitement par charbon actif en poudre ou en grains. Mais la situation se complique avec la nécessité de traiter, outre les pesticides, d'autres types de micro-polluants. Cela appelle des solutions de traitement plus évoluées.

« Jusqu'à maintenant, la solution face à la problématique des pesticides était d'utiliser du charbon actif en grains », témoigne Bernard Laubiès, directeur de Vendée Eau, une intercommunalité s'occupant de la distribution et fédérant les syndicats de production d'eau vendéens. « Mais, lors de la dernière rénovation d'une unité de production, poursuit-il, le choix s'est porté sur la technique membranaire d'ultrafiltration couplée à du charbon actif, permettant de gérer à la fois les problèmes de trihalométhanes et de pesticides. Cette solution sera certainement privilégiée dans les travaux à venir. Elle est plus coûteuse en investissement, mais présente l'avantage d'aller au-delà des normes actuelles et d'anticiper d'éventuelles futures normes sur les parasites, virus ou rétrovirus. »

Avec l'ultrafiltration, l'eau passe à travers une membrane qui arrête physiquement tous les éléments dont la taille dépasse une valeur limite appelée « seuil de coupure » de la membrane. Le rôle de celle-ci est plutôt de remplir un objectif de désinfection, tandis que le charbon actif arrête les pesticides. « Aujourd'hui, ce couplage apparaît souvent comme le bon niveau

Grand Nancy

## Une référence en matière d'ultrafiltration

Construite en 1982, l'usine d'eau potable de la communauté urbaine du Grand Nancy, à Vandœuvre, qui rend potable l'eau de la Moselle, avait besoin d'une rénovation ainsi que d'une extension, du fait de la fermeture prévue d'une autre usine devenue obsolète (celle de Saint-Charles). Les travaux, commencés en décembre 2004, consistent en une amélioration de la filière de traitement par la mise en œuvre de membranes d'ultrafiltration et en une extension de la capacité de 100 000 m<sup>3</sup>/jour à 130 000 m<sup>3</sup>/j. La filière existante (décantation, filtres à sable, ozonation, charbon actif en grains) sera conservée et complétée par la réalisation d'une deuxième file en parallèle, selon le procédé OTV Opaline S : filtration sur charbon actif en grains et ultrafiltration. L'interconnexion des files permettra l'optimisation de la filière existante, en réduisant son débit et en faisant passer sur les membranes d'ultrafiltration 90 000 m<sup>3</sup>/j. Le reste (40 000 m<sup>3</sup>/j) sera désinfecté par UV. La continuité du service de production d'eau potable est assurée pendant les travaux. À sa mise en service, à la mi-2006, cette usine sera la plus grande référence en France en matière d'ultrafiltration.

### Ultrafiltration et charbon actif

- Maître d'ouvrage : Grand Nancy.
- Conducteur d'opération : IRH Environnement.
- Conception-réalisation : OTV France ; Paul Maurand-Thierry Vermeil, Babylone Avenue ; Spie Batignolles Nord, Jean Bernard.
- Montant du marché d'étude et de réalisation : 22,14 millions d'euros hors TVA.
- Début des travaux : octobre 2004.

de traitement », constate Catherine Ricou, responsable marketing de la société Degrémont.

« La norme "bromates" impose une réduction des doses d'ozone utilisées pour la désinfection. Lorsqu'il est nécessaire à la fois d'affiner la désinfection et de régler des problèmes de pesticides, la solution ultrafiltration-charbon actif est souvent adaptée », ajoute Louis Herremans, directeur technique de Veolia Water. Cette combinaison est celle qui a été choisie par Eau de Paris, ex-Société anonyme de gestion des eaux de Paris (Sagep), pour le traitement des eaux arrivant dans les

réservoirs de Saint-Cloud (Hauts-de-Seine) et de L'Hay-les-Roses (Val-de-Marne).

Confiée à Degrémont, la construction de l'unité d'affinage d'eau potable implantée à Saint-Cloud, qui a débuté en janvier, permettra de gérer des pointes de pesticides, des traces de solvants chlorés, ainsi que les phénomènes de turbidité. Le montant de l'investissement est d'environ 22 millions d'euros.

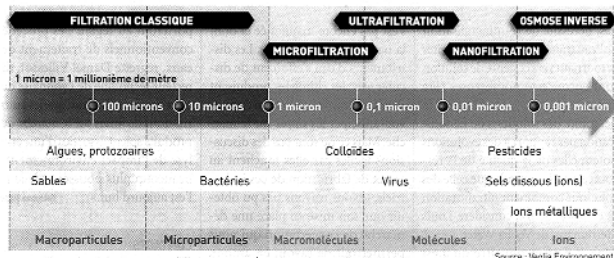
« Nouveaux » phytosanitaires. Le couplage ultrafiltration-charbon actif peut aussi être mis en œuvre dans de petites stations,

avec une surface membranaire adaptée au débit et une injection de charbon réalisée en fonction des pointes de pesticides. La seule difficulté est que cette technique n'offre pas de réponse adaptée, à long terme, à l'évolution des produits phytosanitaires. Le charbon actif est, en effet, efficace pour traiter les eaux contaminées par les produits conventionnels, comme l'atrazine ou ses dérivés, mais il ne parvient pas à piéger les molécules qui arrivent sur le marché.

Le cas du glyphosate est emblématique (c'est vers cette molécule que se sont reportés de nombreux utilisateurs après l'interdiction de l'atrazine en novembre 2001), mais n'est certainement qu'un signe avant-coureur d'une ère nouvelle, où des produits inconnus vont apparaître. « Dans le cadre de nos campagnes d'analyses systématiques, nous constatons aujourd'hui un bruit de fond dans tous les produits pesticides, sur quasiment tout le territoire départemental, et nous commençons notamment à voir poindre le glyphosate, explique Philippe Delacroix, directeur général du syndicat des eaux de la Charente-Maritime. La grande majorité de nos points d'eau est touchée et nous n'avons pas encore trouvé de réponse technique financièrement acceptable pour résoudre le problème de ces produits phytosanitaires "nouvelle formule". »

**Secret de fabrication.** Parmi les techniques existantes, seule la technique membranaire de nanofiltration (avec une membrane plus fine) permettrait d'arrêter ces produits, mais cette solution a un coût considérable (en investissement et surtout en fonctionnement). De plus, elle présente des inconvénients (colmatage, régénération des membranes, nécessité de reminéralisation de l'eau traitée, etc.). Les collectivités se tournant encore peu nombreuses (*lire l'encadré ci-dessous*). « À mon sens, la pérennité des solutions de nanofiltration par rapport à des évolutions potentielles de la qualité de la ressource est plus grande que celle des solutions combinant ultrafiltration et charbon actif », consi-

### Seuils de filtration



La nécessité de traiter, outre les pesticides, d'autres types de micro-polluants appelle des traitements adaptés. Avec les techniques membranaires de filtration, l'eau passe à travers une membrane qui arrête physiquement tous les éléments dont la taille dépasse une valeur limite, appelée « seuil de coupure » de la membrane.

Sivom de la Baie, Côtes-d'Armor

## En prévention contre les nouvelles molécules, l'intercommunalité a choisi la nanofiltration

Le Sivom de la Baie (syndicat intercommunal à vocation multiple) regroupe moins de 30 000 habitants dans les Côtes-d'Armor.

Confronté à un double problème de teneurs élevées en nitrates et de pesticides, le syndicat, qui devait reconstruire son usine de traitement d'eau, n'avait pas de véritable alternative. Avec une capacité de production de 2 600 m<sup>3</sup>/jour, cette unité correspond à l'un des plus faibles volumes traités par nanofiltration. Le coût de l'investissement s'est élevé à 3,51 millions d'euros et le coût de fonctionnement est de 0,355 euro/m<sup>3</sup>. « Les élus ont opté pour la sécurité plutôt que pour le simple respect de la norme, explique Thierry Cargueray, responsable des services techniques. Les autres techniques permettaient de résoudre le problème à un moment donné, mais pas de faire face dans le cas où il se déplacerait sur des substances un peu différentes. »

La perspective de l'interdiction de l'atrazine, de l'apparition d'autres pesticides et la volonté d'opter pour un équipement pérenne ont motivé le choix de la nanofiltration. « Ce choix permet aujourd'hui d'afficher une eau quasi exempte de pesticides et de diminuer jusqu'à 75 % la teneur en nitrates », précise Thierry Cargueray.

### Nanofiltration

- État des lieux : teneurs élevées en nitrates et pesticides.
- Capacité de production : 2 600 m<sup>3</sup>/jour.
- Investissement : 3,51 millions d'euros.
- Coût de fonctionnement : 0,355 euro/m<sup>3</sup>.

dère Louis Herremans, de Veolia Water.

Mais il faut reconnaître qu'il est difficile de choisir aujourd'hui une

technique qui permettrait de traiter, dans le futur, une pollution qui ne s'est pas encore manifestée et dont la nature n'est pas définie.

Les distributeurs d'eau s'efforcent de discuter avec les chimistes produisant de nouvelles molécules, afin de pouvoir anticiper les mises sur le marché. Mais ce ne sont pas des discussions faciles car elles touchent au secret de fabrication de ces industriels. « Nous n'avons pas pu obtenir que soit mise en place une démarche de concertation qui nous permettrait de savoir, en amont, comment leurs nouvelles molécules vont se diffuser dans l'environnement ou comment elles se comporteront au regard des procédés conventionnels de traitement des eaux, regrette Daniel Villessot, directeur technique de Lyonnaise des eaux France. Il faudrait que les autorisations de mises sur le marché des produits soient assorties d'une analyse de l'impact environnemental beaucoup plus poussée qu'elle ne l'est aujourd'hui. »

### Contacts

- Communauté urbaine Grand Nancy, tél. : 03.83.91.83.91.
- Sivom de la Baie, Yffiniac, tél. : 02.96.72.66.53.
- Vendée Eau, tél. : 02.51.24.82.00.

Fabienne Nedey, *La Gazette*,  
10 octobre 2005.

## Document 6

## DOSSIER : DÉPOLLUTION DES SOLS

### La phytoremédiation ou comment utiliser la nature

**Utiliser les capacités des végétaux ou des micro-organismes pour dégrader ou éliminer les polluants, tels sont les objectifs de la phytoremédiation et de la biodégradation. Des techniques pertinentes, à condition de faire preuve de patience.**

Parallèlement à des procédés plus classiques, les traitements biologiques assurent une décontamination et une détoxification parfois

impressionnantes. Le système consiste à utiliser les capacités naturelles des végétaux ou des micro-organismes pour dégrader, détruire ou absorber les polluants organiques ou non. On recense notamment la phytoremédiation et la biodégradation.

La phytoremédiation (du grec *phyto* ou plante, et du latin *remedium* ou remise en état) constitue un axe de recherche, mené notamment par l'Inra (Institut national de la recherche agronomique) en développement important. Elle consiste à dépolluer *in situ* (dans le sol) les terrains contaminés, avec des plantes capables de contenir, dégrader voire éliminer des produits chimiques toxiques ou des polluants du sol et de l'eau. Quatre principes de phytoremédiation sont envisageables : la phyto-extraction, la phytodépuration ou rhizofiltration, la phytovolatilisation et la phytostabilisation.

### Polluants absorbés par les racines

La phyto-extraction est utilisée pour éliminer les métaux, les pesticides, les solvants, les explosifs, le pétrole brut et les contaminants divers. Des végétaux – sélectionnés pour leurs capacités à fixer dans leurs racines ou leurs parties aériennes lesdits métaux – sont plantés sur le site. Les plantes hyperaccumulatrices ou métallobytophytes, aptes à extraire des volumes importants, seront privilégiées. Arrivées à maturité, elles seront arrachées, séchées puis incinérées. Les cendres sont alors traitées de manière à en extraire les métaux lourds. Des études réalisées avec du tabac et de la moutarde ont, par exemple, montré le bon potentiel d'extraction de ces deux plantes : environ 20 % du zinc, 60 % du cadmium et 40 % du plomb présents dans les échantillons de sédiments de ces expériences ont ainsi été extraits du sol.

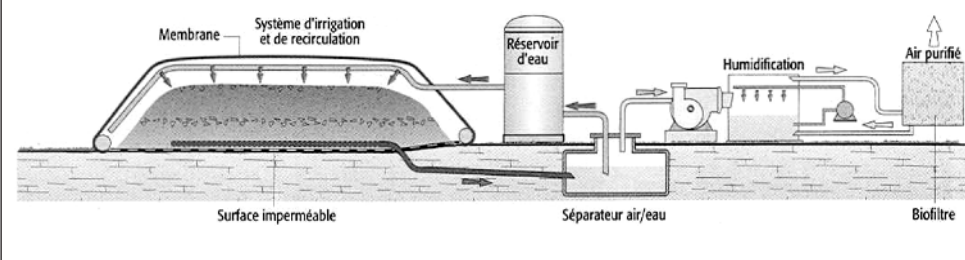
## Traitement biologique hors site

Lorsqu'il n'est pas possible de traiter *in situ* (dans le sol), la plupart du temps pour des raisons économiques, les terres révélées polluées à la suite de travaux d'excavation sont acheminées dans des biocentres pour y subir un traitement qui détruit définitivement ces polluants.

Ce procédé est réalisé hors site afin de ne pas ralentir les travaux de construction.

Au niveau environnemental, ces centres incluent notamment des aires de traitement étanches, la gestion intégrée des eaux de procédés et des eaux de ruissellement, ainsi que le biotraitement des effluents gazeux. Ils sont en mesure de traiter une large gamme de polluants organiques – tels les hydrocarbures pétroliers, BTEX, HAP, PCP, créosote, phénols et solvants organo-halogénés – et peuvent gérer de quelques dizaines à plusieurs milliers de tonnes de terres.

À titre d'exemple, le biocentre de Biogenie, le premier à voir le jour en région parisienne, utilise le procédé, breveté de Biopile. Cette technologie de traitement biologique crée les conditions favorables à la multiplication de micro-organismes spécifiques qui, naturellement présentes dans le sol, ont la capacité de dégrader les polluants en composés inoffensifs.



Les avantages de cette méthode sont nombreux : l'activité biologique et la structure des sols sont maintenues après le traitement, le paysage reste ou redevient agréable grâce à l'implantation d'un couvert végétal, les métaux lourds sont récupérables facilement et les coûts relativement faibles. Les produits secondaires de la phytoremédiation peuvent être, dans une certaine mesure, valorisés : ventes des métaux extraits du sol après incinération ou compostage de la récolte, ou utilisation de l'énergie thermique issue de la combustion pour la production d'électricité.

Mais cette méthode de décontamination reste partielle et ne permet pas toujours de réduire significativement la pollution des sites très atteints. Autre difficulté, les plantes capables d'accumuler les métaux lourds ont souvent une faible production de biomasse et une croissance lente.

### Plusieurs plantes associées

Pour accélérer le processus, il est envisagé de la modifier génétiquement en y introduisant des gènes responsables de l'accumulation et de la résistance métallique.

Néanmoins, ce procédé constitue une première étape vers l'installation d'une végétation durable. Il

Les premières expériences de phyto-extraction ont été menées sur des sols agricoles que l'on cherchait à ramener à des teneurs en métaux légaux.

La *thalasspi caerulescens* est l'une des plantes hyperaccumulatrices les plus étudiées, en particulier l'écotype local dit « Ganges » originaires du site cévenol de St Laurent-le-Minier. Cette espèce, qui a une forte aptitude à transporter les métaux vers ses parties aériennes, présente une grande résistance polymétallique au zinc, au plomb, au nickel et au cadmium.

Doc. Christophe Schwartz, Inra.

peut être complété par la mise en place d'arbres, lesquels agissent à de grandes profondeurs (la phyto-extraction fonctionne au mieux lorsque les contaminants sont localisés dans les 70 premiers centimètres de terre explorés par les racines). En revanche, leur croissance est lente et l'accumulation des polluants relativement faible.

La mise en place de la phyto-extraction implique bien évidemment une étude préalable des sols pour déterminer la nature des polluants (type et toxicité), mais aussi la fertilité du sol et les espèces de

plantes adaptées au climat. Dans la plupart des cas, la contamination étant due à plusieurs métaux, différentes espèces de plantes sont associées, chacune accumulant le métal pour lequel elle est spécialisée. On cherche également à déterminer les pratiques agronomiques adéquates, de manière à obtenir une biomasse maximale et une concentration élevée en métal dans la récolte. Certains paramètres chimiques du sol peuvent améliorer le processus, comme l'abaissement du pH, qui accroît la disponibilité des métaux dans la solution du sol ou des agents chélateurs, comme l'EDTA ou le DTPA.

Ce procédé est également utilisé pour empêcher la dispersion des métaux non-biodégradables dans les eaux souterraines ou de surface. On parle alors de phytofiltration.

La technologie des biocentres est basée sur la biodégradation aérobie de polluants chimiques hydrocarbonés en composés non-toxiques : eau et gaz carbonique. Le procédé est utilisé de façon optimale pour les composés organiques biodégradables : essence, gasoil, fuel, kérosène, pétrole brut...



## Quelles bactéries pour quels polluants ?

Polluants	Bactéries dépolluantes
Nitrates	Acinetobacter, moraxella
Phosphates	Enterobacter
Pesticides	Brevibacterium
Dioxines	Thibacillus, rhizoctonia
Cyanures	Thibacillus
Composés soufrés	Sulfolobus, rhodococcus, thiobacillus
Huiles grasses	Pseudomonas, xanthomonas, bacillus
Hydrocarbures	Acinetobacter, flaobacterium, bacillus, pseudomonas, achromobacter, artobacter
Métaux lourds	Saccharomyces, rhizopus, cholera, thiocillus, zoogloea

tion ou rhizofiltration. Dans cette configuration, les polluants sont absorbés par les racines des plantes supérieures.

Dans le même ordre d'idée, la phytovolatilisation consiste à utiliser les plantes pour transférer et transformer les produits toxiques du sol en éléments volatils vers l'atmosphère.

### Bioégradation : l'œuvre des micro-organismes

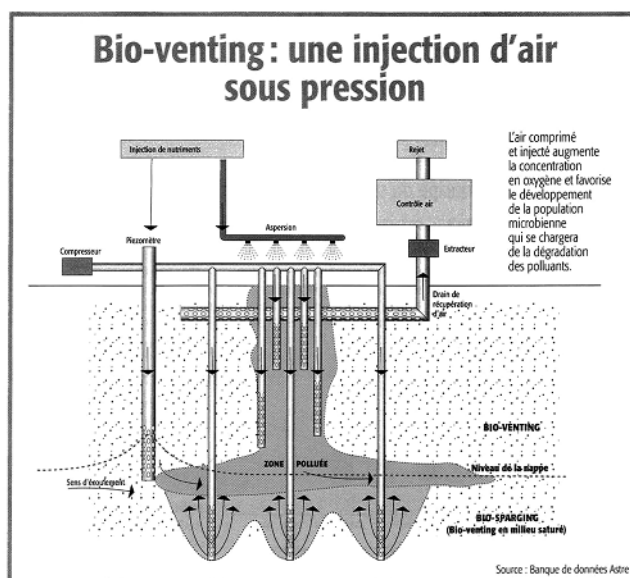
Mais cette technique n'est pas totalement satisfaisante puisque, même si elle décontamine, elle n'en libère pas moins des toxiques dans l'atmosphère. Enfin, la phytostabilisation permet d'immobiliser la pollution dans le sol afin d'éviter sa dispersion. Elle offre l'avantage de réduire les processus d'érosion, de ruissellement et d'entraînement en profondeur des particules porteuses de polluants. Les graminées sont les plus efficaces en la matière. L'autre grand procédé biologique – la biodégradation – exploite la capacité de certains micro-organismes (champignons, bactéries, actinomycètes et algues) à dégrader des polluants organiques : hydrocarbures (fuel, essence, kérosène...), composés chlorés tels que PCB<sup>1</sup>, molécules nitrées type TNT<sup>2</sup>. L'objectif étant de ramener les quantités de polluants à des niveaux acceptables selon les normes en vigueur. Les micro-organismes transforment les polluants organiques en molécules de moins en moins polluantes en termes de persistance et

La biodégradation exploite la capacité des micro-organismes tels que les champignons, bactéries, actinomycètes et algues à dégrader les polluants organiques. Réalisées *in situ* ou dans des biocentres, ces opérations peuvent prendre plusieurs années.

de toxicité. De fait, ils s'en nourrissent et les changent en eau et en dioxyde de carbone.

Avant toute intervention, cette méthode exige, comme précédemment, une étude des sols pour

définir précisément le type de polluant présent. À chacun d'entre eux correspond en effet un ou plusieurs micro-organismes (voir encadré). Certaines études vont même jusqu'à identifier les séquences génétiques des bactéries, afin de déterminer les meilleurs moyens de stimuler leur action de dépollution. Mais il est aussi indispensable de veiller à ce que ces micro-organismes ne prolifèrent pas de manière anarchique et ne deviennent pas source de problèmes, de par leur croissance naturelle ou la manière dont ils sont mis en œuvre sur le site.





## Les biocentres, une méthode hors site

Ainsi, certaines bactéries employées pendant des années pour traiter des sols pollués par des solvants chlorés ont été reconnues avec le recul peu efficaces, le traitement microbiologique ayant généré des produits de dégradation (métabolites) plus toxiques et plus mobiles que les polluants. L'autre limite à l'utilisation de cette solution *in situ* tient à la profondeur que ces organismes peuvent atteindre qui dépasse rarement 70 cm. Leur relative lenteur d'action (de quelques mois à quelques années) constitue également une contrainte, souvent peu compatible avec les enjeux économiques de la revalorisation du site.

Les performances de ces traitements biologiques peuvent être améliorées en les associant avec l'aspiration des gaz du sol. Avec cette méthode, dite de bio-venting, les micro-organismes sont stimulés par la circulation d'air, et les molécules qu'ils font diminuer sont alors aspirées avec les gaz du sol.

Parallèlement, les « éco-industriels » mettent en place des biocentres (voir encadré) dans lesquels sont traitées des terres issues de sols pollués devant être réutilisés rapidement.

Aujourd'hui, les recherches portent sur la sélection de micro-organismes adaptés à la dégradation d'un polluant donné. Elles commencent à porter leurs fruits pour

certains types d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (comportant plus de trois noyaux benzéniques) qui semblent sensibles à certaines souches de champignons capables de les attaquer à l'aide d'enzymes extracellulaires. On cherche également à identifier des souches bactériennes aptes à dégrader des composés de type pyrène, à partir d'espèces présentes dans des milieux hypersalés, par analyse de leurs séquences génétiques.

1. Polychlorobiphényles.
2. Trinitrotoluène.

St. M., *Les cahiers techniques du bâtiment*, n° 257, décembre-janvier 2006.

## CORRIGÉS

Ville de IQS

Services Techniques

Note (ou rapport) à l'attention de Monsieur le Directeur des services techniques

Objet : la dépollution des sites

Ref :

- Code de l'environnement
- Loi du 30 juillet 2003
- Décret du 13 septembre 2005
- Circulaire de 1997

IQS, le (date du concours)

Depuis 2003 et la loi dite loi Bachelot, les objectifs de la réhabilitation des sites pollués ont été modifiés. Ainsi le rôle du maire y est précisé de même que sa place dans la chaîne de décision. Mais pour parvenir à dépolluer efficacement un site, il faut s'appuyer sur une connaissance précise du contexte législatif et des solutions à mettre en œuvre. C'est pourquoi, après avoir analysé les obligations légales et les outils techniques à disposition dans une première partie, il conviendra dans une seconde partie de présenter un mode opératoire efficace pour bien exploiter les solutions biologiques possibles.

### I. Un contexte législatif clair au service d'un traitement efficace

Si c'est la loi du 30 juillet 2003 qui fixe les exigences de remise en état des sites classés, une circulaire de 1997 propose des outils méthodologiques afin d'agir efficacement.

### **A. Un cadre juridique qui associe le préventif et le curatif**

La loi dite loi Bachelot du 30 juillet 2003 relative à la prévention des risques technologiques et naturels, a précisé le cadre dans lequel une réhabilitation devait être effectuée par l'ancien propriétaire du site en question. Désormais en application de l'article L.512-17 du code de l'environnement, les exigences de remise en état d'un site sont calées sur un usage précis de ce site.

De plus, il est essentiel de tenir compte des dates auxquelles les installations ont cessé leur activité comme le prévoit le décret du 13 septembre 2005. Ainsi, pour celles ayant cessé leur activité avant le 1<sup>er</sup> octobre 2005, c'est l'usage comparable à la dernière période d'exploitation qui sera retenu. Pour celles ayant cessé leur exploitation après le 1<sup>er</sup> octobre 2005, une autre solution a été arrêtée : ce sont l'exploitant du site, le maire

et le propriétaire du site qui doivent trouver un accord sur l'usage futur du site.

Pour y parvenir, les différents partis se fonderont sur le zonage du PLU (plan local d'urbanisme), la nature des occupations et des habitants, les précautions classiques en matière de construction. En cas d'absence de consensus, c'est au dernier exploitant qu'il appartiendra de remettre le site en état.

Enfin, pour les exploitations nouvelles (dont la demande d'autorisation a été déposée à partir du 1<sup>er</sup> mars 2006), c'est un arrêté préfectoral qui doit déterminer l'état dans lequel le site devra être restitué quand l'activité cessera. Le maire doit donner son avis de même que le propriétaire du terrain.

## **B. Un diagnostic nécessaire du site à dépolluer**

Afin d'agir préventivement un certain nombre de précautions sont à prendre. Globalement, les sites doivent être répertoriés en classes qui sont au nombre de trois :

- la classe 1 regroupe les sites devant subir un diagnostic approfondi ;
- la classe 2 concerne les sites à surveiller ;
- la classe 3 renvoie aux sites ne représentant pas de danger.

De plus, deux inventaires sont disponibles sur l'Internet. L'un, nommé Basol, recense les sites faisant l'objet d'une action de la part des pouvoirs publics. L'autre, appelé Basias, regroupe les activités industrielles des régions françaises. Ainsi les élus locaux disposent d'outils d'informations pour mieux agir.

Mais ils disposent aussi d'outils d'action pour traiter chaque site en particulier. Ainsi cinq étapes forment le processus à suivre pour mener des actions d'investigation : une visite préliminaire, un diagnostic initial, une évaluation simplifiée des risques (ESR), un diagnostic approfondi et enfin une évaluation détaillée des risques (EDR).

Une fois le contexte juridique et local connu, il faut bâtir une méthodologie d'intervention adaptée.

## **II. Traiter chaque site de manière adaptée**

Avant d'appliquer des méthodes scientifiques précises, il faut bien connaître les différents outils permettant de construire un mode opératoire adapté.

## **A. Différents outils à connaître**

Un premier outil, véritable tableau de bord du mode opératoire à utiliser, est le schéma conceptuel. À partir de l'analyse des données recueillies, il permet de programmer la dépollution. Ces données sont produites à l'aide d'échantillonnages dans les eaux et dans les sols. Ainsi, il est possible d'obtenir des données sur le long terme afin de mieux connaître les zones dangereuses. Deux autres procédés, curatifs cette fois, sont à connaître : la réhabilitation des sols ou leur confinement.

Mais quels que soient les procédés employés, une analyse des coûts devra être menée. Une solution intéressante est celle du principe dit pollueur-payeur. Mais elle est complexe à mettre en œuvre. Quoiqu'il en soit, ce sont les sites pollués qui empêchent un développement économique potentiel pour lesquels il conviendra de trouver des solutions efficaces.

## **B. Différentes techniques à maîtriser**

Aujourd'hui, les procédés biologiques sont de plus en plus utilisés. Il s'agit d'utiliser des microbes afin de biodégrader les pollutions. L'objectif est de traiter les nappes phréatiques à travers la bioremédiation dont les avantages sont environnementaux et financiers. Dans la même logique, deux techniques sont également possibles : le bio venting et le bio sparging.

Autre procédé dans un autre contexte : la technique membranaire d'ultrafiltration – charbon actif. Il ne s'agit plus de traiter les nappes phréatiques mais les eaux polluées. Les pesticides seront arrêtés de même que les produits phytosanitaires. La référence en la matière est l'usine d'eau potable de la communauté urbaine du Grand Nancy.

Dernière possibilité : le recours à la phytoremediation qui utilise des plantes éliminant les produits chimiques toxiques.

Ainsi nous avons pu voir que les savoir-faire techniques, s'ils sont indispensables, ne sont pas pour autant suffisants pour assurer une dépollution efficace. Il faut en effet également s'appuyer sur des connaissances précises de la réglementation en vigueur et des processus à appliquer. Mais au-delà de toutes ces solutions, une bonne dépollution doit passer par une solide volonté de tous les acteurs, aussi bien institutionnels que privés.