

Pollution des sols



Certaines fumées industrielles chargées de résidus de combustion et de divers polluants sont une des sources de retombées susceptibles de polluer les sols



Restes d'une batterie au plomb abandonnée en forêt



Déchets de munitions explosées et autres déchets militaires (plateau de Canjuers), après ratissage annuel des champs de tir et avant évacuation



Décassement d'un sol pollué par un réservoir de goudron

La notion de **pollution du sol** désigne toutes les formes de pollution touchant n'importe quel type de sol (agricole, forestier, urbain...).

Un sol pollué devient à son tour une source possible de diffusion directe ou indirecte de polluants dans l'environnement, *via* l'eau, les envols de poussières, émanations gazeuses ou *via* une reconcentration et transfert de polluants par des organismes vivants (bactéries^[1], champignons, plantes à leur tour mangés par des animaux).

À titre d'exemple, la France estime au début des années 2000 à 230 000 le nombre de sites connus pour avoir été pollués, ou pour avoir pu l'être, par l'industrie ou des services dans le pays ^[2], dont près de 4 000 font l'objet de mesures de surveillance, de diagnostic ou de réhabilitation ^[2]. Il faudrait y ajouter les anciennes décharges mu-

nicipales (au moins une pour chacune des 36 000 communes), les pollutions d'origine militaire, agricole, cynégétique, etc.

Aux États-Unis, un fonds spécial dit **Superfund**, avec contribution des pollueurs, est dédié au traitement des cas les plus graves, sous l'autorité directe de l'État fédéral.

1 Éléments de définition

Un sol est dit *pollué* quand il contient un ou plusieurs polluant(s) ou contaminant(s) susceptibles de causer des *altérations biologiques, physiques et chimiques*. *le polluant se définit comme un altéragène biologique, physique ou chimique, qui au-delà d'un certain seuil, et parfois dans certaines conditions développe des impacts négatifs sur tout*

ou partie d'un écosystème ou de l'environnement en général. Autrement dit, la **pollution du sol** est comprise comme altération du biotope constitué par l'humus (ou tous autres types de sols) par l'introduction de substances toxiques, éventuellement radioactives ou d'organismes pathogènes entraînant une perturbation plus ou moins importante de l'écosystème. Selon le polluant et le contexte, ses impacts seront

- directs ou indirects ;
- immédiats ou différés ;

Articles détaillés : pollution, contamination, Fond géochimique et Référentiel pédologique français.

2 Degré de gravité

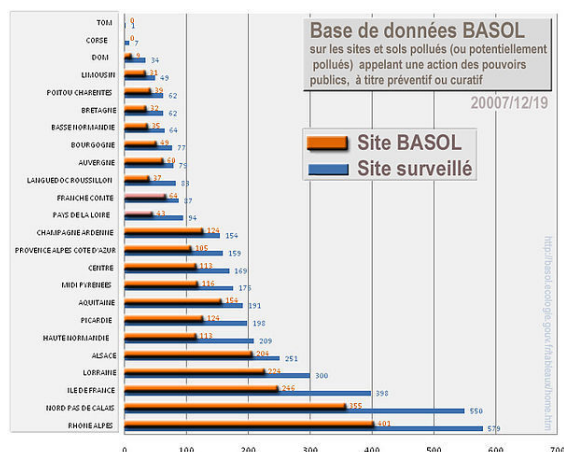
Il est relatif :

- à la nature du polluant ou perturbateur pour une ou plusieurs espèces, mutagène, cancérigène, reprotoxique, plus ou moins dégradable ou non-dégradable) ;
- à sa capacité éventuelle à changer ou perturber le fonctionnement d'un écosystème ou de la biosphère ;
- à la nature du sol (par exemple un sol faillé, fracturé, drainant ou acide accélérera la diffusion de métaux, alors qu'un sol homogène, argileux ou basique la freinera) et à sa position biogéographique et à son usage (cultivé, brouté, jardiné...), ainsi qu'à la surface et profondeur touchées ;
- à des problèmes émergents posés avec l'introduction de plus en plus fréquente de propagules d'espèces invasives ou de pathogènes lors de transports de sols.

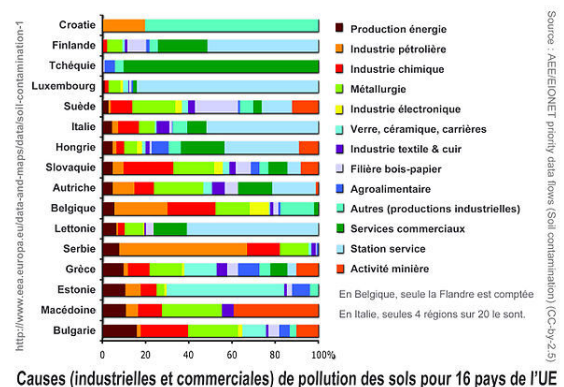
3 Mesures et accessibilité des données

Des mesures qualitatives et quantitatives sont faites, autrefois en laboratoire et parfois maintenant *in situ* grâce à des matériels portables (spectrométrie de fluorescence X, sondes d'analyseurs automatiques (pour l'eau) et peut être bientôt spectroscopie sur plasma induit par laser pour l'eau, l'air et les sols). On commence aussi à pouvoir mesurer, à coûts raisonnables, la diversité des gènes de micro-organisme du sol, sans s'intéresser aux espèces (souvent encore inconnues ou très mal connues).

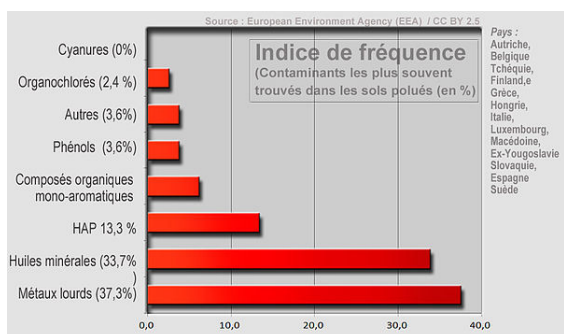
Depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale, avec la prise de conscience de la pollution croissante de l'environnement, divers systèmes de surveillance (« *monitoring* ») de la qualité des sols ont été mis en place pour des



Le nombre des sols répertoriés comme pollués ou pour avoir pu l'être, (ici en France pour la base de données BASOL, telle que mise à jour en décembre 2007), ou le nombre de sites surveillés reflète le passé industriel des régions. Les pollutions d'origines militaires, agricoles, cynégétiques (plomb) ne sont pas encore prises en compte dans ce type d'inventaire

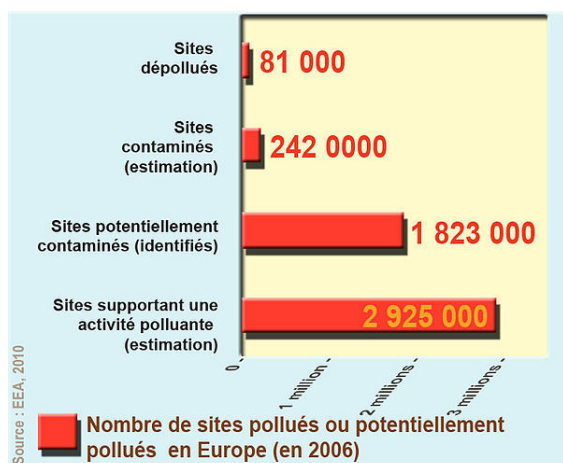


Les principales sources de pollution des sols varient considérablement selon les pays et leurs ressources (énergétiques fossiles, géologiques et minières notamment)

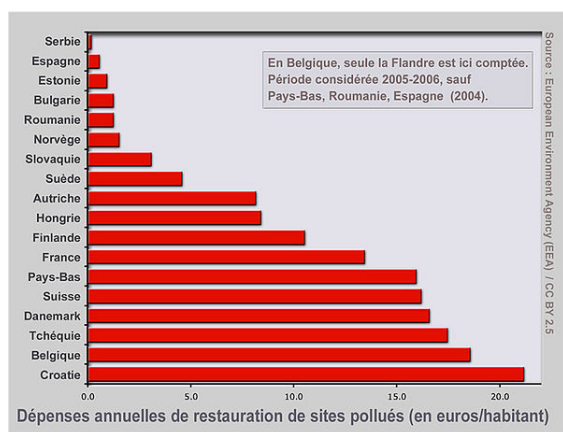


Polluants les plus recherchés dans les années 1980-2000, ici les plus souvent cités dans les études faites dans quelques pays d'Europe (2006). Ceci traduit aussi la pression de recherche de ces polluants.

sols agricoles, urbains et naturels. Leur objectif est d'aider et de conseiller, parfois d'action réparatrice et de gestion des pollutions (séquelles minières et industrielles, séquelles

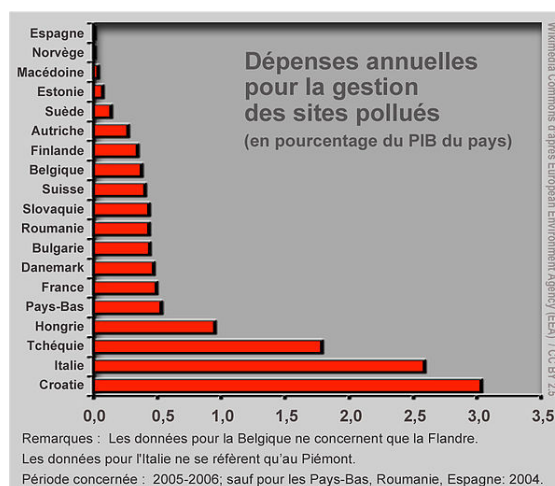


À cause des retombées aériennes diffuses de l'industrie, du chauffage, des transports, de l'agriculture, des essais nucléaires ou de l'accident de Tchernobyl, aucun sol européen ne peut être considéré comme indemne de pollution à l'état de trace. Des sites pollués très au-dessus de la moyenne ou suspectés de l'être sont répertoriés dans tous les pays de l'UE (dans Basias & Basol en France), en vue de les dépolluer, de les suivre ou d'éviter de les utiliser pour certaines activités. Ce graphique présente le nombre de sols dépollués, pollués, probablement pollués ou abritant une activité polluante, et leur statut (état 2006)^[3]



Dépenses annuelles de restauration de sites dans certains pays européens comme d'euros par habitant. (Source : <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/annual-national-expenditures-for-management-of-contaminated-sites-by-eu-country>, EEA, European Soil Database /Data and maps], CC-by-2.5

de guerre, séquelles agricoles...), intégrant aussi la présence d'organismes pathogènes ou nuisibles dans le sol. Depuis les années 1990, en Europe notamment avec les travaux des Pays-Bas (projet de suivi fin d'environ 70 % de la superficie de sols des Pays-Bas) et dans le cadre de la préparation d'une directive Sol, des tentatives de caractérisation écologique du sol sont également en cours pour améliorer la durabilité et soutenabilité des écosystèmes et services écosystémiques essentiels rendus par les sols^[4]. Une difficulté est l'interaction complexe des systèmes de sol avec l'économie, l'agroéconomie en particulier, et la société^[4]. Les modèles distinguent générale-



Dépenses en dépollution pour quelques pays (européens) en proportion de leur PIB

ment quatre types de capitaux : le capital naturel, humain, social et de production. Les caractéristiques biologiques les plus suivies sont la biomasse microbienne, la diversité des nématodes et des vers de terre^[5] (ainsi, mais moins qu'en champignons^[6] qui jouent un rôle majeur dans le cas des forêts notamment).

Dans une approche bioindicatrice, la naturalité, diversité et l'abondance des organismes des couches supérieures du sol fournissent des indices pertinents de stabilité et résilience du sol en tant qu'habitat et élément majeur de l'écosystème, reste à les évaluer et surveiller de manière pertinente, quantitative et plus qualitative, c'est un des domaines encore peu développés de la recherche agronomique^[4].

Une approche fréquente, « utilitaire », en urbanisme notamment, est d'analyser la qualité et pollution des sols pour en dériver un « aptitude à l'emploi », mais avec encore des lacunes dans les connaissances et un « goulot d'étranglement majeur » qui est la collecte et l'accès aux données de monitoring et surveillance^[4].

4. Cartographie et registres des pollutions

Suisse : NABO^[7] qui vise à étudier le lien entre la variabilité spatiale du fonctionnement des sols et celle des émissions de gaz à effet de serre (protoxyde d'azote en particulier). On trouve aussi en Suisse des cadastres des pollutions se mettant peu à peu en place aux échelles communales à mondiales pour certains polluants, concernant les émissions et/ou les pollutions de stock.

France : la base de données du ministère de l'écologie^[8], des atlas, observatoires des sols (ex. : observatoires nationaux tels que l'Observatoire de la qualité des sols^[9] de l'INRA ou projets plus locaux tels que l'OS² (Observatoire spatialisé orléanais des sols^[10]) de l'INRA en

France, le **NABO**. Les observatoires peuvent s'appuyer sur le Réseau de mesures de la qualité des sols (RMQS) (2 195 sites équipés de moyens de mesure en métropole, Guadeloupe et Martinique. Récemment, un RMQS-BioDiv a commencé (en Bretagne) à produire un référentiel de la **biodiversité des sols** en lien avec les caractéristiques pédologiques, d'usages et histoire du sol...)^[11]. Le *Conservatoire des Sols* (basé à l'Inra-Orléans) a recueilli environ 25 000 échantillons (plus de 60 tonnes de terre) venant de 1 669 fosses pédologiques, plus de 100 000 échantillons à la **tarière** qui ont produit ^[11]. Le RMQS a prévu une seconde campagne à partir de 2011 ^[11]

Depuis 2001, un **groupement d'intérêt scientifique Sol** (« *GIS Sol* »)^[12] associe les ministères concernés, l'INRA, l'ADEME, l'IRD et l'Inventaire Forestier National (IFN), pour « constituer et de gérer un système d'information sur les sols de France, par rapport à leur distribution spatiale, leurs propriétés et l'évolution de leurs qualités. Ce système d'information sur les sols devra répondre à échéance réaliste aux besoins régionaux et nationaux, dans le contexte européen ». Il vise à « concevoir, orienter, coordonner, et de s'assurer que se réalisent dans les meilleures conditions, des actions d'inventaire géographique des sols (Cf. programme *Inventaire Gestion et conservation des Sols* dit IGCS), de suivi opérationnel de leurs qualités, de création et de gestion d'un **système d'information** répondant aux demandes des pouvoirs publics et de la société », en lien avec le réseau du « Bureau européen des sols » basé au Centre commun de recherche de la Commission européenne (Ispra, Italie) et avec l'Agence européenne de l'environnement ou le Centre européen de données sur les sols (ESDAC) *via* l'IFEN qui est désigné « point focal national » de l'AEE. Une partie du territoire français est cartographiée au 1/250 000^e dans les RRP (Référentiels régionaux pédologiques). Les bases de données sol servent notamment à préciser les zonages de type **zones humides**^[13], **Typologie des stations forestières**^[14], **zones défavorisées** simples ou d'aléa érosif, **sols artificialisés** ou **menacés** (que l'Agence de l'eau peut acheter pour les protéger, depuis la loi Grenelle II) **sensibilité des bassins versants aux pesticides et engrais**, **dossiers calamités agricoles**, **trame verte et bleue**, ou pour les délimitations d'AOC ou d'Indication géographique protégée, etc.).

Des **pédothèques** conservent des échantillons de référence. Et des inventaires **pédogéochimiques** permettent de compléter les premières cartes **pédopaysagères** établies dans les années 1980 en France.

L'Europe dispose d'un registre européen des émissions polluantes (Eper) couvrant cinquante polluants (eau et air uniquement), émis par les principales (grandes et moyennes) installations industrielles. Il a permis de conclure ^[15] mi 2007 à un « bilan mitigé ». Si on observe une diminution de deux tiers des cinquante polluants industriels suivis, notamment **azotés** dans l'eau (-14,5 % dans l'eau), **phosphore** (-12 % dans l'eau) et **dioxines** et **furanés** (-22,5 % dans l'air) ; ces améliorations sont

contrebalancées par une hausse des émissions de certains polluants dont le **CO₂** que la commission espérait réduire grâce à l'introduction du système communautaire d'échange de quotas d'émission.

L'Eper sera en 2009 remplacé par un *Registre européen des rejets et des transferts de polluants* (PRTR européen) construit à partir des données de 2007, cette fois pour plus de 91 substances d'industries dans 65 domaines d'activité. Et les émissions diffuses du trafic autoroutier, chauffage domestique et l'agriculture » y seront ajoutées^[16].

Au niveau local, des **Samu de l'environnement** se créent en France, dont l'objectif principal est de fournir des laboratoires mobiles capables de mesurer rapidement et sur site pollué plusieurs centaines de paramètres physico-chimiques et biologiques.

La loi Grenelle II ^[17] modifie le code de l'environnement^[18] en y ajoutant 2 articles (L. 125-6 et L. 125-7) dont le premier précise : « L'État rend publiques les informations dont il dispose sur les risques de pollution des sols. Ces informations sont prises en compte dans les documents d'urbanisme lors de leur élaboration et de leur révision. »

4.1 Les activités polluantes des sols

En termes de surface ce sont d'abord l'industrie, l'agriculture et les guerres, certains accidents, mais de très nombreuses activités humaines ont pu être source de séquelles environnementales sur les sols, y compris des activités de loisirs et sportives (chasse et ball-trap pour le plomb, **golfs** pour l'arsenic et d'autres pesticides, etc). Ainsi les **terrains de golf** de Floride contiennent des taux d'arsenic variant de 5.3 à 250 ppm avec une moyenne de 69.2 ppm, à cause d'un usage répété de pesticides organoarsénicaux (MSMA notamment)^[19]

4.2 Les polluants les plus courants des sols

les polluants du sol les plus courants ^[20] et les plus recherchés sont :

- **métaux lourds** (à comparer au fond géochimique naturel)
- **hydrocarbures**
- **HAP**
- **COV**
- **Huiles minérales**
- **Goudrons**
- **Hydrocarbures halogénés volatils**
- **Organochlorés**

- PCB
- PCT(Polychloroterphényles)
- Dioxines
- Furanes
- Phénols
- Chlorophénols
- cyanures
- Pesticides
- Phtalates
- Esters phtaliques
- Substances chimiques à usage militaire
- Explosifs
- Munitions non explosées
- Eutrophisants (nitrates, phosphates)
- Acides, bases
- Radionucléides

4.3 Indicateurs de toxicité ou qualité des sols

Les besoins d'évaluation environnementale, d'études d'impact et l'application d'écotaxes ou du principe pollueur-payeur nécessitent des indicateurs de pollution reconnus par tous, et si possible normés.

Un exemple d'unité retenue en France est le métox, mais uniquement pour huit polluants de type métaux et métalloïdes (arsenic, cadmium, chrome, cuivre, mercure, nickel, plomb et zinc). On parle aussi d'*équivalent toxique*, d'*équivalent dioxine*...

Les bioindicateurs ; Quand ils existent (ex. : plantes nitrophiles, métallophytes..., faune du sol, ou animaux consommant cette faune [21]), ils donnent des indices de degré de pollution du sol, par exemple en eutrophisants ou certains éléments-trace métalliques ;

L'étude de l'impact d'un polluant relève du domaine de l'écotoxicologie et de la pédologie. Il reste cependant difficile de mesurer l'impact de polluants multiples agissant en synergies.

Quelques organismes animaux du sol sont déjà utilisés comme bioindicateurs. Leur vitesse de croissance et leurs capacités reproductives (deux paramètres importants de viabilité des espèces et des écosystèmes [22]) sont affectés par la pollution sont faciles à suivre, mais cela demande un protocole de quelques semaines à mois, mais ils sont encore limités, n'appartenant qu'aux deux embranchements des arthropodes (Collemboles [23] et Coléoptères) et des annélides (vers de terre [24] et Enchytraeidae pour

les sols plus acides), avec respectivement deux normes visant à évaluer la toxicité aiguë [vers de terre (ISO 11268-1) et larves de coléoptères [25] et 3 normes portant sur l'évaluation d'effets sublétaux des contaminants du sol, *via* leurs effets sur la reproduction (vers de terre [2], Collemboles, Enchytraeidae [26]).

L'escargot semblent être un indicateur intéressant [27], pour l'évaluation de la teneur en chrome bioassimilable d'un sol par exemple [28] ou de pesticides organophosphorés [29]. L'AFNOR travaille en 2011 à plusieurs projets de normes, dont un projet de norme PR NF EN ISO 15952 /Qualité du sol - Effets des polluants vis-à-vis des escargots juvéniles (*Helicidae*) - Détermination des effets sur la croissance par contamination du sol (soumis à enquête et consultation du public jusqu'au 28 févr. 2011 [30]) ;

5 Législations, réglementations

Pour les définitions légales du mot « *pollution* », voir les articles « *pollution* » et « *contamination* ».

5.1 Gestion des sols pollués

De nombreux pays ont établi des recommandations, souvent basés sur des seuils ou normes.

En France, ceux-ci sont listés dans un rapport de l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS) [31] qui rapporte des valeurs dans un même milieu avec des unités identiques, ce qui n'est pas toujours le cas dans les textes réglementaires. Les valeurs, en vigueur au 1^{er} mars 2006, y sont données pour information. Il convient donc après cette date de vérifier qu'elles n'ont pas été modifiées ou abrogées, et de systématiquement se référer aux textes originaux.

Souvent, dont en France, en l'absence de loi ou de normes spécifiques aux pollutions anciennes liées aux séquelles de guerre, industrielles ou agricoles, des territoires que l'on sait localement très probablement et fortement contaminés (en particulier les forêts de la Zone rouge de Verdun par exemple) ne sont pas officiellement reconnues comme pollués ; aucune recommandation concernant les produits alimentaires issus de ces sols ne semble jamais avoir été émise par les autorités compétentes. Ceci vaut pour les champignons susceptibles de fortement accumuler les métaux lourds, mais aussi pour les sangliers ou d'autres espèces gibier, dans ces zones comme dans celles soumises aux retombées de Tchernobyl lors du passage du nuage radioactif.

5.2 En France

Il y aurait encore en 2011 près de 450 000 sites en attente de dépollution (c'est un secteur économique qui intéresse le secteur de la transformation écologique et sociale, et

a attiré de grands groupes (Veolia Environnement, Suez Environnement, mais qui pourrait souffrir des suites de la crise de 2008, alors que les coûts du désamiantage tendent à augmenter)^[32].

La politique de gestion et réaménagement des sites pollués a évolué. Elle visait en principe la dépollution de tous les sites identifiés comme sensibles, et au vu de leur pollution intrinsèque, par le pollueur, ou avec son financement depuis le principe pollueur-payeur. Cette stratégie, coûteuse, et difficile à appliquer dans le cas des pollutions diffuses, des sites orphelins s'est infléchie et a évolué vers une *politique de gestion des risques* au cas par cas, et selon les usages nouveaux que l'on veut attribuer au site^[33]. Plusieurs guides méthodologiques ont été produits (le dernier en 2011^[34]).

- La nouvelle stratégie nationale a été précisée aux préfets en 2007 par la ministre chargée de l'environnement^[35], avec un bilan historique et des nouvelles démarches de gestion^[33], des éléments de méthode (« Comment identifier un site (potentiellement) pollué. Comment gérer un problème de site pollué »)^[36], et « Les outils en appui aux démarches de gestion. Les documents utiles pour la gestion des sites pollués »^[37].
- Une circulaire de 2008 implique^[38] de passer d'une simple ESR (évaluation simplifiée des risques) à une démarche d'interprétation d'état des milieux (IEM) et à des plans de gestion, même en l'absence de valeurs VDSS et VCI. L'évaluateur peut s'appuyer sur des méthodes standardisées HACCP, ESRs (évaluation quantitative des risques sanitaires) par exemple, scénarii d'exposition, modélisations d'exposition, de transfert (MODFLOW, MT3DMS, MTFAT, MARTHE, HYTEC2D, MISP et modèles de transfert sol-atmosphère (COLASOIL, C-SOIL, Johnson Ettinger... et autres modèles d'impact sur la santé (HESP, RISC, RBCA, IEUBK, CLEA...)^[38]. L'ESR reposait essentiellement sur la seule connaissance de la pollution du sol et des nappes (évaluée à l'instant et au vu d'éventuels dépassements de seuils, valeurs ou normes hétéroclites telles que VCI, VDSS ou normes hollandaises, allemandes, françaises, européennes...) sans prendre en compte la phase vapeur/particulaire susceptible de contaminer par inhalation les humains ou animaux, ni la contamination *via* l'alimentation, ni les synergies entre polluant ou entre polluant et milieu)^[38]. La circulaire demande maintenant une modélisation des risques prenant mieux en compte les milieux (eau, air, sol, écosystèmes) et toutes les voies d'exposition^[38].
- Les installations dites *ICPE* (Installations classées pour la protection de l'environnement), répertoriées dans une nomenclature, sont tenues avant leur mise

en activité ou avant un changement ou une diversification de leur activité de présenter un dossier en préfecture répertoriant toutes les nuisances et pollutions qu'elles sont susceptibles de provoquer ou émettre, et les moyens qu'elles comptent mettre en œuvre pour les prévenir et les réparer le cas échéant. Les activités ainsi répertoriées sont soumises soit à une simple déclaration (dépôt du dossier) soit à une autorisation pour les installations présentant les risques les plus importants. La déclaration doit tout de même faire l'objet d'un récépissé attestant que le dossier est complet et conforme à la législation. Des installations agricoles sont concernées (Cf. épandage de lisiers et fumiers ou autres déchets agro-alimentaires, boues d'épuration, etc.).

- **Information, aide et conseils** : un portail national dit « Sites-pollués^[39] » est dédié à l'information sur les sites et sols pollués (ou pouvant l'être) par des contaminations chimiques ou radioactives. Il est produit par le BRGM, l'INERIS, l'ADEME, l'IRSN et l'institut français des formateurs « Risques majeurs et protection de l'Environnement »^[40]. À la suite du 1^{er} colloque national relatif à la *gestion des sites pollués par des substances radioactives* (2004), le guide méthodologique de l'IRSN (de 2002)^[41], a été mis à jour à partir de juillet 2008, et soumis à consultation en 2010^[42]. La rénovation du guide par l'IRSN, assistée de l'Ineris, du ministère chargé de l'Écologie et de de l'ASN, puis (en 2009) de représentants des pouvoirs publics, d'experts publics français et étrangers, d'ONG environnementales et d'élus concernant la redéfinition des objectifs d'assainissement. Ce travail devait intégrer le *retour d'expérience*, une mise en cohérence avec les nouvelles circulaires sur la gestion des sols pollués (8 février 2007) et les évolutions en *santé publique*, préciser les objectifs d'assainissement et améliorer l'« *implication des parties prenantes tout au long des projets de réhabilitation* ».
- **Législation & réglementation** : en 2006, la loi^[43] confie à l'ANDRA (Andra) une mission de service public relative à la remise en état de sites de pollution radioactive (art. 14), avec financement par subvention de l'État (art. 15). Les circulaires du 8 février 2007 posent un nouveau cadre à « *la prévention des pollutions des sols et aux modalités de gestion et de réaménagement des sites pollués* ». Puis une circulaire de Nov. 2008^[44] précise outre les conditions de prise en charge de certains déchets radioactifs, les modalités de gestion et de réhabilitation des sites de pollution radioactive. En 2007, le code de la santé publique (CSP) intègre^[45] un nouveau cadre pour les questions de pollution/dépollution^[46] par des sources radioactives. En réponse aux engagements du Grenelle de

l'Environnement^[47], et en tant que l'une des priorités du Plan national santé environnement (PNSE II, 2009-2013) ; à partir de juillet 2010, les crèches, écoles maternelles et élémentaires, les établissements hébergeant des enfants handicapés, les collèges et lycées, ainsi que les aires de jeux et espaces verts construits sur, ou près d'anciennes activités industrielles à risque de pollution (usines, fonderies, garages, imprimeries...) vont faire l'objet d'un diagnostic (air et sol) pour déceler d'éventuelles séquelles de pollutions anciennes.

Le BRGM a croisé ses données sur les anciens sites industriels et la carte des crèches et établissements scolaires publics et privés, recensant ainsi près de 2 000 établissements (pour 250 000 anciens sites pollués ou pouvant l'être) ; ce travail est cadré par une circulaire (du 4 mai 2010^[48]), une Fiche question-réponse intitulée *Diagnostiquer les sols dans les lieux accueillant les enfants et les adolescents* (Fiches questions-réponses (29 pages)^[49] et un résumé des principes de l'opération^[50].

5.3 En Europe

- Un projet de Directive européenne (Directive Sols) est en préparation, mais a subi des retards successifs. Depuis 1998, l'Agence européenne de l'environnement (AEE) réunit^[51] des données sur les sols en Europe et doit élaborer des indicateurs communs aux pays de l'Union européenne en matière de qualité des sols, dans le cadre d'un projet de directive-cadre présenté par la Commission européenne le 22 septembre 2006 et consultable en ligne^[52].
- Un autre projet vise à condamner de manière uniforme au sein de l'Union européenne les crimes environnementaux^[53].
Actuellement (février 2007), les normes, seuils et sanctions varient fortement d'un pays à l'autre et sont souvent « insuffisants » par la Commission qui souhaite mieux appliquer le principe pollueur-payeur (Franco Frattini, le commissaire chargé de la Justice, à la liberté et à la sécurité a déclaré que 73 % des « crimes verts » sont causés par les entreprises, il fallait donc les pénaliser plus fortement). Ainsi, des amendes allant de 750 000 euros à 1,5 million d'euros peuvent être infligées, ainsi que pour les personnes, des peines de prison allant de 5 à 10 ans^[54].

Les crimes pris en compte par ce projet sont notamment :

- émissions illicites de substances dangereuses (dans l'eau, l'air, les sols ou des produits de consommation) ;
- transport illicite de déchets ;
- commerce illicite d'espèces menacées.

5.3.1 Principe « pollueur-payeur »

Article détaillé : Principe pollueur-payeur.

Il veut que la charge financière de la prévention, de la réduction et de la lutte contre la pollution repose sur le pollueur. Dans cette optique, les équipements et produits polluants pourraient être plus taxés que des produits dits *écologiques*. Le pollueur est censé assumer le nettoyage des zones contaminées.

6 L'évaluation de la qualité des sols

L'évaluation environnementale de la qualité des sols s'est d'abord faite sur des critères agronomiques ou édaphologiques avant de mieux intégrer (dans la seconde moitié du XX^e siècle) la pollution chimique, au regard notamment d'un corpus de *normes* de qualité des sols (SQSs ; *Security and Quality of Supply Standard* pour les anglophones) pour des niveaux, seuils ou degré de contamination par polluant. Ces normes évoluent avec les capacités techniques de mesure et les connaissances en agro-écotoxicologie^[55]. Peu à peu, de nouveaux polluants ont été pris en compte (radioactifs, à la suite des retombées des essais nucléaires puis de catastrophes comme celle de Tchernobyl ou de Fukushima), ou des polluants de type biocides agricoles, plomb de chasse, perturbateurs endocriniens...). Avec une approche plus écosystémique, les pédologues ont aussi pris conscience de l'importance des cocktails de polluant et aux résidus (de pesticides et d'engrais, de médicaments vétérinaires, pouvant interagir entre eux et avec le Vivant...), mais ils ne sont pas encore pris en compte dans les normes. La biodiversité du sol est devenu un autre critère, à peine exploré tant les microbes du sol sont encore mal connus^[55].

Pour ses polluants ou contaminants, la qualité d'un sol au regard d'une éventuelle pollution chimique est évaluée en comparant la concentration des polluants pertinents dans le sol et les valeurs-seuils établis pour chaque produit chimique ou parfois par groupe de produits chimiques. Les SQSs sont aujourd'hui développés en utilisant les méthodes générales développées pour l'évaluation des risques) et la gestion des risques^[56], via 3 approches principales ; l'évaluation à court, moyen et long terme de l'exposition, des effets, et la caractérisation des risques^[56] ;

- **L'évaluation de l'exposition**^[55]. En théorie, elle détermine un niveau d'exposition, par produits chimiques préoccupants, à travers toutes les voies d'exposition possibles, pour différents organismes supposés susceptibles d'être exposés (« organismes-cibles » ou « organismes-récepteurs ») ;
- **L'évaluation des effets environnementaux**^[55] ; elle détermine un profil toxicologique, par substance

chimique, pour un ensemble d'organismes sélectionnés comme étant jugés représentatifs des compartiments ou fonctions du sol ou des *cibles* ou *récepteurs* exposés. Des extrapolations sont faites pour les milieux où les concentrations ou l'exposition ne sont pas censés produire des effets indésirables pertinents, avec une difficulté qui est que pour certains polluants (perturbateurs endocriniens par exemple, ou certains radionucléides), il n'y a pas de seuil clair, ou pas de relation linéaire entre quantité de polluant et effet toxique ; l'effet des *faibles doses* fait encore l'objet de discussions entre experts ;

- **la caractérisation du risque**^[55] ; C'est la dernière phase d'une démarche d'évaluation des risques. Les données disponibles sur l'effet et les évaluations d'exposition sont comparés pour déterminer des seuils et mesurer le risque réel pour des organismes exposés. Plusieurs difficultés se posent : outre le manque fréquent de données ou d'accès aux données écotoxicologiques (cf. *secret de fabrication* ou volonté de ne pas divulguer d'information risquant de compromettre le succès commercial d'un produit), les évaluateurs sont aussi confrontés au manque d'experts indépendants dans les domaines émergents, et au risque de partialité des sources (Dans le cas des produits chimiques complexes ou des nanoparticules mis sur le marché, les études d'impacts ou de risque, quand elles existent, sont faites par les producteurs eux-mêmes ou directement financées par eux) ; La Directive Reach devrait en Europe apporter certaines données nécessaires à ce travail. Pour le réglage SQSs, l'évaluation des risques est appliquée d'une manière différente, comme il est utilisé pour déterminer le niveau d'exposition (concentration dans le sol) associée à un niveau préétabli de risque, au lieu du niveau réel de risque. Un autre problème méthodologique est que l'on considère le risque lié à l'exposition "actuelle", sans prendre en compte d'éventuels effets futurs liés à des potentialisations, des synergies, le dépassement de seuil de concentration et/ou bioconcentration, ou des modifications environnementales telles que par exemple le dérèglement climatique, la montée des océans, etc. Ou alors on évalue le risque pour le contexte dégradé actuel et non au regard de l'écopotentialité^[56]. De plus les valeurs seuil sont fondées sur la toxicité directe connue d'un produit et non des effets-cocktails et de la toxicité indirecte de produit auxquels sont, seront ou pourraient être réellement exposés les organismes^[56]. Souvent, pour les sites non gravement pollués, une évaluation spécifique et fine, serait nécessaire, au cas, par cas^[56]. Une question centrale, mais complexe est celle de la biodisponibilité des polluants. Cette *disponibilité* varie en effet beaucoup selon les contextes (pH et granulométrie, caractère soluble, corrosif ou corrodable du matériau polluant en particulier, mais aussi hydromorphie, bioturbation,

température, quantité de matière organique, éventuelles synergies ou potentialisation avec d'autres polluants, cinétique environnementale des polluants en question) et donc selon le type de sols, ainsi que de flore, faune, fonge et microbes^{[1],[57]} présents à considérer. Des modèles, validés par des études *in vitro* ou des biomarqueurs^[58] sont peu à peu développés pour mieux comprendre, prendre en compte ou gérer cet important facteur de risque^[58].

6.1 Dans le monde

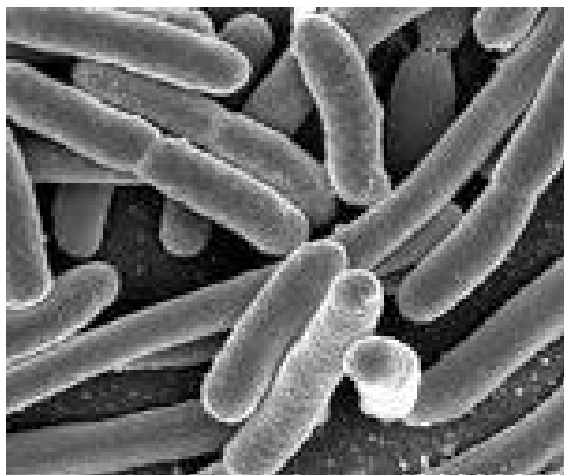
Le Blacksmith Institute, une ONG américaine cherche à recenser, avec l'aide de The *United Nations Industrial Development Organization*, l'ONG Green Cross Switzerland, et la Commission européenne (qui apporte un soutien de 1 million d'euros) les endroits les plus pollués du monde dans les pays en développement (à l'exception - notable- des pays les plus industrialisés)^[59] et à les classer en termes d'impacts sur les populations, pour mieux traiter les urgences. Selon cette ONG, pour la période 2000-2010, on trouve parmi les sites les plus pollués :

- Linfen (Chine) ; charbon et carbochimie, et Tianying ; métallurgie, avec 50 % environ du recyclage du plomb de toute la Chine ;
- Bajos de Haina (République dominicaine) ; pollution généralisée par les métaux dont le plomb ;
- Ranipet, Sukinda et Vapi (Inde) ; tannage des peaux, qui a contaminé le sous-sol et les nappes ;
- Mailuu-Suu, région de Dzhalal Abad (Kirghizistan) : 2 millions de m³ de déchets miniers d'uranium, menaçant la vallée de Ferghana, une des régions les plus densément peuplées d'Asie centrale et à haut risque sismique ;
- Norilsk (Russie) : ancien goulag devenu le complexe sidérurgique le plus énorme au monde, leader mondial pour le raffinage du nickel et du palladium. Cette seule usine émet 2 millions de SO₂ par an (4 fois plus que la France), les vapeurs acides et toxiques ont tué les arbres à 30 km à la ronde, et la cueillette des champignons (qui concentrent les métaux) a dû être interdite en 2007 dans un périmètre de 50 km autour de l'usine ;
- La Oroya (Pérou) : traitement de métaux (pour Doe-Run Corp, du Missouri), forte pollution par le plomb ;
- Dzerzhinsk, (Russie) : ancien site de fabrication d'armes chimiques ; Dalnegorsk et Rudnaïa Pristan : plomb, avec plombémie infantile 20 fois supérieure au seuil maximum des États-Unis ;
- Tchernobyl (Biélorussie, Ukraine...), séquelles de la catastrophe de Tchernobyl

- Kabwe (Zambie) : contamination au plomb (plombémie infantile 10 fois supérieure au maximum autorisé aux États-Unis).

Ces sites touchent directement plus de 12 millions de personnes.

7 Solutions, traitements



La biodégradation de certains polluants (organiques) par des microbes est l'une des solutions de dépollution. Par exemple, l'association de certaines souches de *Pseudomonas* et de *Rhodococcus* dégradent le fioul dans l'eau

De nombreuses actions de dépollution ou inertage sont souvent possibles (du confinement ^[60] à biodégradation en passant par la phytoremédiation ou mycoremédiation, *in situ* ou *ex-situ*, etc). mais parfois coûteuses ou dangereuses pour l'environnement ou les personnes ^[61].

Article détaillé : Dépollution des sols.

8 Annexes

8.1 Articles connexes

- Dépollution des sols
- phytoremédiation
- Phytozooremédiation
- Véhicule propre
- Polluants
- Déchet,
- Métaux lourds,
- Éléments traces métalliques, Pétrole

- Air intérieur
- Taxe générale sur les activités polluantes
- Zone rouge (séquelles de guerre)
- Plomb de chasse
- Déminage
- Toxicologie
- Éco-toxicologie
- Friches industrielles
- Écotron
- piézomètre
- lysimètre
- Cyndinique
- Ingénieur sites et sols pollués
- BASIAS
- BASOL
- Superfund

8.2 Ressource cartographiques

- Carte et données téléchargeables du pH des sols en Europe, European Commission, 2010.
- [PDF] Geodata-Services for European Soil Data (GS Soil) newsletter

8.3 Filmographie

- *Pollution des sols, le scandale caché*, documentaire, 2014^[62]

8.4 Liens externes

- Association française pour l'étude du sol (AFES)
- Visualiseur des données géoscientifiques du BRGM ; portail géomatique d'accès aux données géoscientifiques du BRGM, avec données utiles sur la géologie et le sous-sol)
- ADEME Les sites et les sols et pollués
- Informations ministérielles relatives aux outils méthodologiques applicables à la gestion des sites et sols pollués
- Les sites pollués au radium et par d'autres substances radioactives (Autorité de sûreté nucléaire)

8.5 Bibliographie

- (fr) *Guide méthodologique : gestion des sites potentiellement pollués*, version 2- mars 2000 ; BRGM Éditions
- (fr)[PDF] *Guide méthodologique pour l'analyse des sols pollués* N° DOC 298 (Version PDF, 85 p. ; 1,7 Mo), 2001, BRGM Éditions
- (fr) *Sites pollués en France – Enquête sur un scandale sanitaire*, Frédéric Ogé et Pierre Simon, éditions Librio-Mutualité Française, 2004.
- (fr) Dor F. *Pollution des sols et santé publique*. Archives des maladies professionnelles et environnementales. 2006 ;67 :40-8
- Landa, Edward R. ; Feller, Christian (Eds.), 2010. *Soil and culture*. 524 p., (ISBN 978-90-481-2959-1)
- (fr)ADEME, *Détection et caractérisation appliquées aux sites pollués / Investigations géophysique et mesure des polluants sur site*, septembre 1997 Collection Connaître pour agir ^[63]
- (fr)ADEME, *Techniques de traitement par voie biologique des sols pollués* ; septembre 1998 ; Collection Connaître pour agir (ADEME/Rhone-Poulenc/IFP) ^[63]
- (fr)ADEME, *Inventaire historique d'anciens sites industriels* ; 1997 ; Collection Connaître pour agir ^[63]
- (fr)ADEME, *Réhabilitation de sites pollués, méthodes et techniques d'intervention* ; Pollutec Lyon ; 25 octobre 1996 ; Rencontres et journées techniques ^[63]
- Bilan OVAM (Belgique), dont une partie consacrée aux sols pollués
- <http://www.springer.com/life+sciences/agriculture/book/978-90-481-2959-1>

9 Notes et références

- [1] Zouboulis AI, Loukidou MX, Matis KA. *Biosorption of toxic metals from aqueous solutions by bacteria strains isolated from metal-polluted soils*. Process Biochemistry 2004 ; 39 : 909-916
- [2] Page InVS sur les sols pollués
- [3] EEB et , *Soil : worth standing your ground for (Défendez votre sol) (Arguments pour la directive Sols)*, Publication du Bureau européen de l'environnement (BEE), d'après les statistiques de l'AEE
- [4] A. Breure, *Chapter 10 Ecological soil monitoring and quality assessment* ; Developments in Soil Science Volume 29, 2004, Pages 281-305 Vital Soil doi:10.1016/S0166-2481(04)80014-X (Résumé)
- [5] J. Römbke, S. Jänsch, W. Didden *The use of earthworms in ecological soil classification and assessment concepts* ; Ecotoxicology and Environmental Safety, Volume 62, Issue 2, October 2005, Pages 249-265
- [6] Juliet C. Frankland, J. Dighton, Lynne Boddy, *11 Methods for Studying Fungi in Soil and Forest Litter* ; Methods in Microbiology, Volume 22, 1990, Pages 343-404 (Résumé)
- [7] NABO : L'observatoire national des sols Suisse
- [8] Base de données BASOL sur les sites et sols pollués (ou pouvant l'être) appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif ou base de données BASIAS
- [9] Arrouays, Martin, S., Baize, D., Bonneau, M., Chaussod, R., Cieselski, H., Gaultier, J.P., King, D., Lavelle, P., Legros, J.P., Leprêtre, A. Sterckeman, T. ; *Observatoire de la qualité des sols. Rapport sur les travaux 1995-1998* ; 54 pages, 1999 ; INRA Orléans, Documentation de centre, Accès
- [10] Observatoire spatialisé orléanais des sols
- [11] [PDF]Lettre du GIS SOL n° 19, voir p. 1 sur 4
- [12] page d'accueil du GIS Sol
- [13] Cf. Arrêté du 24 juin 2008 modifié sur les zones humides
- [14] Page relative aux typologies des stations forestières
- [15] second rapport d'évaluation, par l'Agence européenne de l'environnement (AEE)
- [16] (fr) Communiqué de la Commission, du 7 juin 2007
- [17] [PDF]Article 188, voir p. 218/308 de la loi Grenelle II
- [18] chapitre V du titre II du livre I^{er} du code de l'environnement
- [19] Lena Q. Ma, Willie Hanis, Jerry Sartain ; *Environmental Impacts of Lead Pellets at Shooting Ranges & Arsenical Herbicides On Golf Courses in Florida*, Florida Center for Solid and Hazardous Waste Management ; University of Florida ; Report #OO-03, fait sous assurance qualité, juin 2000, PDF, 62 pages
- [20] [PDF]Guide méthodologique pour l'analyse des sols pollués
- [21] ADEME, *La Faune, indicateur de la qualité des sols*, décembre 1998 ; Collection Données et Références
- [22] Laskowski, R. et Hopkin, S.P. (1996) *Effect of Zn, Cu, Pb, and Cd on fitness in snails (Helix aspersa)*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 34, p. 59-69
- [23] ISO 11267 :1999, *Qualité du sol - Inhibition de la reproduction de Collembola (Folsomia candida) par des polluants du sol*
- [24] ISO 11268-2 :1998, *Qualité du sol - Effets des polluants vis-à-vis des vers de terre (Eisenia fetida) - Partie 2 : Détermination des effets sur la reproduction*

- [25] NF X 31-260 :1999, *Qualité du sol - Effets des polluants vis-à-vis des larves d'insectes (Oxythyrea funesta) - Détermination de la toxicité aiguë en utilisant un substrat de sol artificiel*
- [26] ISO 16387, *Qualité du sol - Effets des polluants sur les Enchytraeidae (Enchytraeus sp.) - Détermination des effets sur la reproduction et la survie*
- [27] Berger, B. et Dallinger, R. (1993) *Terrestrial snails as quantitative indicators of environmental pollution. Environmental Monitoring and Assessment*, 25, p. 65-84
- [28] Coeurdassier, M., Gomot-De Vaufleury, A. et Badot, P.M. (2000) *Dose-dependent growth inhibition and bioaccumulation of hexavalent chromium in the land snail Helix aspersa aspersa*. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 19 (10), p. 2571-2578
- [29] Coeurdassier, M., Saint-Denis, M., Gomot-de Vaufleury, A., Ribera, D. et Badot, P.M. (2001) *The garden snail (Helix aspersa) as bioindicator of organophosphorus exposure : effects of dimethoate on survival, growth and acetylcholinesterases activity*. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 20, p. 1951-1957
- [30] Enquête publique AFNOR
- [31] (fr) « Synthèse des valeurs réglementaires pour les substances chimiques, en vigueur dans l'eau, l'air et les denrées alimentaires en France au 1^{er} mars 2006 », Institut national de l'environnement industriel et des risques, juin 2006 (consulté en 20 octobre 2007)
- [32] Batiactu ; La réhabilitation des sites et sols pollués, une victime de plus de la crise ?
- [33] [PDF]Annexe 1 de la lettre de la ministre au préfet, de 2007 : La politique et la gestion des sites pollués en France. Historique, bilan et nouvelles démarches de gestion proposées
- [34] IRSN, *Gestion des sites potentiellement pollués par des substances radioactives*, 2011, PDF, 122 pages
- [35] [PDF]Note du 8 février 2007 - Sites et sols pollués - Modalités de gestion et de réaménagement des sites pollués
- [36] [PDF]Annexe 2 : Modalités de gestion et de réaménagement des sites pollués. Comment identifier un site (potentiellement) pollué. Comment gérer un problème de site pollué.
- [37] [PDF]Annexe 3 : Les outils en appui aux démarches de gestion. Les documents utiles pour la gestion des sites pollués.
- [38] [PDF]Actes d'une conférence Hube - BRGM & L. Rougier - ANTEA, 3 avril 2008 PDF :1 749 Ko, consulté 2010/04/09
- [39] un portail national dit « Sites-Pollués
- [40] Ancien RMé, créé en 1989, transformé en Institut de formateurs en 1997, avec la Direction de la Sécurité civile et l'agrément du ministère de l'Éducation nationale
- [41] IRSN *Guide méthodologique « Gestion des sites industriels potentiellement contaminés par des substances radioactives »*, octobre 2000
- [42] ASN et Direction générale de la prévention des risques du ministère chargé de l'Écologie, *Consultation sur la révision du guide méthodologique relatif à la gestion des sites potentiellement pollués par des substances radioactives*, 18 nov 2010
- [43] loi n°2006-739 de programme du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs
- [44] Circulaire du 17 novembre 2008 du ministre chargé de l'écologie, du ministre chargé de la santé et du président de l'Autorité de sûreté nucléaire
- [45] code de la santé publique, livre III « Protection de la santé et environnement », titre III « Prévention des risques sanitaires liés à l'environnement et au travail », chapitre III « Rayonnements ionisants »
- [46] pour l'IRSN et son guide de 2011, "dépollution" signifie « Opération qui consiste à traiter, partiellement ou totalement, un milieu pollué (sol, eaux, air) pour en supprimer ou en diminuer fortement le caractère polluant, dans le but de restaurer ses fonctions et le remettre en état pour un usage. »
- [47] Cf. article 43 de la loi n° 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'Environnement, promulguée le 5 août 2009
- [48] Circulaire du 4 mai 2010 - Diagnostics des sols dans les lieux accueillant les enfants et les adolescents (Circulaire et six annexes)
- [49] [PDF]Fiche question-réponse intitulée *Diagnostiquer les sols dans les lieux accueillant les enfants et les adolescents* *Fiches questions-réponses* (29 pages)
- [50] [PDF]MEEDDM, DSLAEA, *Diagnostiquer les sols dans les lieux accueillant les enfants et les adolescents* (MEEDDM, PDF - 986.4 ko)
- [51] Base de données sur les sols en Europe (Agence européenne pour l'environnement)
- [52] [PDF]Proposition COM(2006)232 final - COD 2006/0086 de directive du Parlement européen et du Conseil définissant un cadre pour la protection des sols et modifiant la directive 2004/35/CE
- [53] (fr) *L'UE s'attaque à la « criminalité environnementale »*, dépêche de l'AFP du 9 février 2007 relative à un projet de directive de la Commission européenne, présenté le 9 février 2007
- [54] (fr) *Bruxelles veut pénaliser les crimes contre l'environnement*, dans le quotidien *Le Monde* du 7 février 2007
- [55] M.D.F. Rodríguez, J.V.T. Lafarga, *Encyclopedia of Environmental Health*; Pages 124-142 doi:10.1016/B978-0-444-52272-6.00632-2 *Soil Quality Criteria for Environmental Pollutants* (Résumé)

- [56] María Dolores Fernández, María Milagrosa Vega, José Vicente Tarazona, *Risk-based ecological soil quality criteria for the characterization of contaminated soils. Combination of chemical and biological tools*; Science of The Total Environment, Volume 366, Issues 2-3, 1 August 2006, Pages 466-484 (Résumé)
- [57] Wu SC, Luo YM, Cheung KC, Wong MH (2006), *Influence of bacteria on Pb and Zn speciation, mobility and bioavailability in soil : a laboratory study*. Environmental Pollution 2006 ; 144 : 765-773
- [58] Yann Berthelot, Bertin Trottier, Pierre Yves Robidoux, *Assessment of soil quality using bioaccessibility-based models and a biomarker index*; Environment International, Volume 35, Issue 1, January 2009, Pages 83-90 (Résumé)
- [59] Page de l'ONG Blacksmith Institute relative à son projet de recensement mondial des sites les plus pollués (consultée 2010/10/27)
- [60] ADEME, *Procédés de confinement appliqués aux sites pollués*, mai 1999, Collection Connaître pour agir, ADEME - Catalogue des publications ADEME
- [61] ADEME, *Hygiène et sécurité sur les chantiers de réhabilitation de sites pollués*, juin ; 1995 Collection connaître pour agir (ADEME/INERIS)
- [62] <http://www.france5.fr/emission/pollution-des-sols-le-scandale-cache>
- [63] Catalogue des publications Ademe



- Portail de l'environnement



- Portail de l'écologie

10 Sources, contributeurs et licences du texte et de l'image

10.1 Texte

- **Pollution des sols** *Source* : http://fr.wikipedia.org/wiki/Pollution_des_sols?oldid=115095181 *Contributeurs* : Bibi Saint-Pol, Leag, Bob08, DocteurCosmos, Stéphane33, Zetud, David Berardan, Arnaud.Serander, Gzen92, B-noa, TED, Pautard, Karl1263, Lamiot, Rhadamante, A2, Sebleouf, Zaver, CommonsDelinker, Eiffele, VonTasha, M-le-mot-dit, Haltopub, Salebot, Speculos, Isaac Sanolnacov, VolkovBot, Orthomaniaque, Louperibot, Udufruduhu, Vlaam, Dhatier, M0tty, HerculeBot, Letartean, ZetudBot, Ggal, LaaknorBot, FrankyLeRoutier, Herr Satz, Basilicofresco, Luckas-bot, DSisyphBot, Penjo, Cantons-de-l'Est, D4m1en, Xqbot, Nomarcland, Loreleil, Alex-F, Coyote du 57, Lomita, Orlodrim, Visite fortuitement prolongée, Toto Azéro, Fandecaisses, Correjon, Salsero35, Kiliith, Cocharde, Teglin666, MerllwBot, OrlodrimBot, Titlutin, Jocelyn Berne, Enreveluj, P141592653, Rome2, Praticien, Addbot et Anonyme : 39

10.2 Images

- **Fichier:BASOL_Sols_pollués_france.jpg** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f0/BASOL_Sols_pollu%C3%A9s_france.jpg *License* : CC BY-SA 3.0 *Contributeurs* : Travail personnel *Artiste d'origine* : Lamiot
- **Fichier:Bacteriarazorback.jpg** *Source* : <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f6/Bacteriarazorback.jpg> *License* : Public domain *Contributeurs* : ? *Artiste d'origine* : ?
- **Fichier:Canjuers_poubelles_2521.jpg** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b9/Canjuers_poubelles_2521.jpg *License* : CC BY-SA 3.0 *Contributeurs* : Photographie personnelle *Artiste d'origine* :
This illustration was made by **Michel Royon (User:Royonx)** and released under the license(s) stated above. You are free to use it for any purpose as long as you credit me and follow the terms of the license.
- **Fichier:Dépenses_sols_pollués_en_pourcent_du_PIB_AEE.jpg** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/08/D%C3%A9penses_sols_pollu%C3%A9s_en_pourcent_du_PIB_AEE.jpg *License* : CC BY-SA 3.0 *Contributeurs* : Travail personnel *Artiste d'origine* : Lamiot
- **Fichier:Exhausted_battery.JPG** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/94/Exhausted_battery.JPG *License* : CC BY-SA 2.0 it *Contributeurs* : ? *Artiste d'origine* : ?
- **Fichier:Fairytales_konqueror.png** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/68/Fairytales_konqueror.png *License* : LGPL *Contributeurs* : ? *Artiste d'origine* : ?
- **Fichier:Liège_Cockerill_Luc_Viatour.jpg** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/12/Li%C3%A8ge_Cockerill_Luc_Viatour.jpg *License* : CC-BY-SA-3.0 *Contributeurs* :
 - own work
 - Nikon case D50 optical Sigma 17-70mm F2,8-4,5 Macro*Artiste d'origine* : Luc Viatour
- **Fichier:Polluants_UE_2002_fR.jpg** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a7/Polluants_UE_2002_fR.jpg *License* : CC BY-SA 3.0 *Contributeurs* : Travail personnel *Artiste d'origine* : Lamiot
- **Fichier:Pollution_sols_UE_causes.jpg** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9a/Pollution_sols_UE_causes.jpg *License* : CC BY-SA 3.0 *Contributeurs* : Travail personnel *Artiste d'origine* : Lamiot
- **Fichier:Soilcontam.JPG** *Source* : <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9e/Soilcontam.JPG> *License* : GFDL *Contributeurs* : Travail personnel *Artiste d'origine* : Dumelow
- **Fichier:Sols_pollués_UEPollutedSoilsEU2006.jpg** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/51/Sols_pollu%C3%A9s_UEPollutedSoilsEU2006.jpg *License* : CC BY-SA 3.0 *Contributeurs* : Travail personnel *Artiste d'origine* : Lamiot
- **Fichier:Sols_pollués_dépensesFrP.jpg** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e7/Sols_pollu%C3%A9s_d%C3%A9pensesFrP.jpg *License* : CC BY-SA 3.0 *Contributeurs* : Travail personnel *Artiste d'origine* : Lamiot
- **Fichier:View-refresh.svg** *Source* : <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fc/View-refresh.svg> *License* : Public domain *Contributeurs* : The Tango ! Desktop Project *Artiste d'origine* : The people from the Tango ! project

10.3 Licence du contenu

- Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0