

La pollution des sols : impact sur l'environnement et la santé

Le sol a des fonctions nombreuses et essentielles. Il nourrit les plantes, supporte les activités humaines, barre la route à certains polluants. Bien avant que l'homme ne transforme son environnement, les sols étaient déjà contaminés par des phénomènes naturels : volcanisme, érosion, incendies... Cette pollution, toujours présente, est minime comparée à celle issue d'activités agricoles et industrielles, porteuses de risques pour la santé humaine. En Ile-de-France, l'inventaire des pollutions des sols est encore fragmentaire. La poursuite des travaux engagés permettra de le compléter.

Défini comme «l'épiderme de la terre», épais de quelques millimètres à plusieurs dizaines de mètres, le sol recouvre les deux tiers des terres émergées. Milieu hétérogène et complexe, le sol forme une succession de couches aux caractéristiques physico-chimiques et biologiques spécifiques. Il est constitué d'éléments organiques (humus), d'éléments minéraux répartis en fractions grossières (sables) ou fines (argiles), d'une partie gazeuse, de végétaux et d'animaux. L'eau qui y circule dissout des gaz et des éléments minéraux. La solution de sol qui en résulte est absorbée par les racines des plantes, les nourrit... ou les contamine.

Le sol : un réceptacle et un lieu de transfert des pollutions

La pollution des sols résulte de l'accumulation anormale d'éléments toxiques ou d'agents pathogènes liés à l'activité humaine. L'industrie chimique et métallurgique, l'activité pétrolière, la destruction des déchets libèrent des éléments toxiques qui polluent les sols. Cette pollution se fait sous forme de rejets directs à partir des sites producteurs, ou bien par retombées aériennes après la dispersion des éléments toxiques dans l'atmosphère.

L'agriculture contribue également à la pollution des sols par l'épandage d'engrais et d'amendements, l'usage de pesticides et de fertilisants.

Une fois dans le sol, les contaminants évoluent différemment suivant leur nature. Certains sont neutralisés, d'autres s'intègrent au sol sans dommages pour ses qualités ou sont évacués ; une partie seulement est absorbée par les plantes.

Les métaux lourds (éléments traces métalliques) sont parmi les plus toxiques des contaminants du sol. En très faibles quantités, certains sont indispensables au métabolisme des êtres vivants, mais nuisent à leur santé à fortes doses. C'est le cas du cuivre et du zinc par exemple. D'autres qui ne sont pas indispensables sont au contraire toxiques même à des faibles doses. C'est le cas du plomb, du cadmium et du mercure. Les fortes concentrations de métaux lourds induisent des phénomènes de phytotoxicité chez les plantes, ont des effets négatifs sur la flore et la faune du sol et en contaminent l'eau. L'activité industrielle en général les rejette sous forme de poussières ou d'aérosols, retombant pour l'essentiel à proximité des sites émetteurs. Les métaux lourds sont également véhiculés sur de longues distances par les courants atmosphériques avant de rejoindre le sol.

La pollution par les métaux lourds, issue de la transformation des combustibles fossiles a plutôt un caractère diffus. Les transports routiers en rejettent dans l'atmosphère et en bordure des routes. L'épandage des boues d'épuration et des composts à des fins agricoles en transfère directement dans les sols : l'impact dans ce dernier cas est relatif dans la mesure où cette pratique représente en France à peine 3 % de la Surface agricole utile (SAU).

Teneurs en g/T des boues des stations d'épuration (France)

	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Zn
Médiane	4,5	64	286	2,1	35	107	3,2	761
Moyenne	5,3	80	334	2,7	39	113	7,4	921
Valeur régl.	10	1000	1000	10	200	800	-	3000

Source : Wiat et Reveillère, simplifiée (1995).



15, rue Falguière
75740 Paris Cedex 15
Tél. : 01.53.85.77.40



Observatoire régional de santé d'Ile-de-France

**La pollution des sols :
impact sur l'environnement
et la santé**

Une autre source de contamination est constituée par les mâchefers d'incinération d'ordures ménagères, susceptibles de relarguer des métaux lourds lorsqu'ils sont utilisés comme substituts des granulats en technique routière.

D'une manière générale, l'imposition de normes d'émission aux industries et activités polluantes a réduit les concentrations de métaux lourds dans le milieu.

Une fois libérés, les métaux se concentrent de préférence dans la partie superficielle du sol et leur mobilité, donc leur disponibilité pour les plantes, va dépendre de ses caractéristiques. Les expérimentations réalisées à partir de boues d'épuration montrent qu'il n'y a de risque de contamination que dans les cas de boues à fortes doses de métaux lourds, épandues d'une façon systématique et répétée. De fait, l'utilisation de boues aux teneurs en métaux en-deçà des valeurs réglementaires n'aurait que peu d'incidence sur la composition des végétaux.

Les Composés traces organiques (CTO) sont issus des mêmes sources et obéissent aux mêmes modalités de transfert dans les sols que les métaux lourds. Une classification simple distingue les Polychlorobiphényles (PCB), présents entre autres dans les boues d'épuration ; les Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) issus de la combustion des carburants, présents également dans les boues et dans les cendres d'incinération ; les dioxines et furannes, issus principalement de la combustion de certains produits chlorés ; les composés organiques volatils, étroitement liés à l'activité industrielle.

Tous polluent les sols par retombées atmosphériques et lessivage des surfaces urbaines (pollution diffuse) ou par déversements accidentels (pollution ponctuelle). La combustion des

carburants et l'incinération des déchets sont les principales causes de la pollution urbaine diffuse par ces éléments, transmis au sol par retombées atmosphériques ou par épandage de boues d'épuration. Peu biodégradables et peu mobiles, leur transfert du sol vers la plante est considéré comme négligeable.

Par accumulation, les éléments traces métalliques et organiques contaminent durablement les sols. Cette contamination affecte les sites pollués et les secteurs agricoles soumis à des épandages historiques d'eau usée ou de boues d'épuration. Dans les deux cas, l'interdiction des pratiques culturales permet de limiter les risques sanitaires.

Les produits phytosanitaires ont plusieurs fonctions destinées à protéger les végétaux et à assurer leur croissance (pesticides). D'autres (les herbicides), sont utilisés pour la destruction des plantes adventices. Pesticides et herbicides sont répandus par les agriculteurs, les collectivités locales (espaces verts...), les gestionnaires de routes et de voies ferrées et les particuliers. Ce sont des composés chimiques complexes, de toxicité élevée pour certains. Épandus sous forme liquide ou solide dans le sol ou par pulvérisation, les pesticides vont perturber l'équilibre du milieu et ce d'autant plus durablement que les volumes épandus sont importants.

D'une manière générale, les pesticides concentrés dans le sol sont dégradés plus ou moins rapidement par les microorganismes ou hydrolysés. La fraction non dégradée va se stabiliser et se fixer aux éléments constitutifs du sol. Bien que d'impact limité sur les agents bactériens du sol s'ils sont utilisés dans les règles de l'art, les pesticides peuvent avoir un effet nocif sur la faune et la flore du sol, et au-delà sur toute la «pyramide écologique», en cas d'épandages massifs ou répétés.

Ici encore, c'est l'accumulation consécutive à des épandages non maîtrisés et répétés qui fixe durablement les phytosanitaires dans le sol. Ils peuvent alors migrer dans les autres compartiments (eau et biomasse) et en altérer la faune et la flore.

La radioactivité des sols est surtout d'origine naturelle. Le radon, gaz rare, provient de l'uranium et du thorium présents naturellement dans certains types de roches du sous-sol. Au plan sanitaire, on le suspecte d'augmenter les risques de cancer du poumon au-delà d'un certain seuil de concentration. La contamination artificielle se localise principalement à l'aplomb d'installations nucléaires. La pollution historique émanant d'anciens sites industriels ou de stockage de déchets radioactifs répertoriés conduit à réfléchir sur la nécessité de réglementer strictement l'occupation des sols pollués.

La réglementation

La France s'est dotée d'une loi sur l'air et sur l'eau mais pas sur les sols. Des dispositions juridiques sur les activités polluantes, industrielles et agricoles entre autres, contribuent indirectement à limiter sa contamination. Leur objectif est de contrôler les émissions d'éléments contaminants dans l'environnement, et de restreindre les rejets gazeux qui accompagnent certaines activités industrielles.

S'agissant des déchets de l'incinération, un arrêté récent fixe un taux limite aux rejets de dioxines et furannes. La directive européenne du 4 décembre 2000, réduit encore les taux d'émissions particulières et gazeux et étend le contrôle aux composés de l'azote et aux effluents liquides issus de l'épuration des gaz de combustion.

De même, l'enfouissement des déchets est encadré par une directive européenne qui renforce les

**La pollution des sols :
impact sur l'environnement
et la santé**

conditions d'étanchéité des sites et la récupération des effluents liquides et gazeux. Les boues d'épuration, qui débouchent en grande partie sur le recyclage agricole, font l'objet d'une réglementation particulièrement attentive dans la mesure où leur utilisation se trouve à la croisée d'enjeux sanitaires, commerciaux et environnementaux. Un décret du 8 décembre 1997 fixe le cadre qui en

régit l'épandage : composition, teneur en éléments traces et agents pathogènes, stockage, modalités de l'épandage et de sa traçabilité, mise en place d'un comité national de l'épandage. Le compost d'ordures ménagères est régi par les mêmes prescriptions techniques en terme de seuils de polluants admissibles.

Des populations davantage exposées

Certains groupes d'individus sont plus exposés que d'autres aux polluants du sol. Il s'agit des populations vivant à proximité d'une source de pollution des sols (industries, voies de circulation routière...). Chez ces dernières, les effets sur la santé sont aggravés s'il y a consommation de fruits et de légumes produits sur place dans des jardins.

La réglementation sanitaire

La réglementation française limite la présence des résidus de pesticides dans les denrées animales, végétales et dans les céréales. Pour les dioxines, le Conseil supérieur d'hygiène publique de France (CSHPF) recommande une dose journalière admissible de 1 pg⁽¹⁾ TEQ/kg/j⁽²⁾. Il a également établi en 1996 une série de propositions de valeurs limites pour le plomb, le cadmium et le mercure dans les aliments et les boissons⁽³⁾. Dans l'eau, la présence de résidus de pesticides est réglementée à 0,1 µg par litre (concentration maximale pour chaque substance) et à 0,5 µg par litre pour la concentration totale en pesticides. S'agissant des HAP, les concentrations doivent être inférieures ou égales à 0,2 µg/l pour 6 d'entre-eux et à 0,01µg/l⁽⁴⁾ pour le benzo(3,4) pyrène. Pour les métaux lourds, la réglementation fixe actuellement les limites à 5 mg/L pour le zinc, 1 mg/L pour le cuivre, 50 µg/L pour l'arsenic, le cyanure, le chrome total, le nickel et le plomb, 5 µg/L pour le cadmium et 1 µg/L pour le mercure. Des plans de contrôles des aliments sont institués par la Direction générale de l'alimentation (DGAL) du ministère de l'Agriculture. En cas d'anomalies constatées, les denrées peuvent être retirées de la consommation humaine. Ces plans concernent, notamment, les éléments en trace, les pesticides, les dioxines et les radionucléides.

(1) 1pg ou picogramme = 10-12 grammes soit un millionième de millionième de gramme.
(2) TEQ : somme des quantités des 17 dioxines, dont la toxicité est avérée, pondérées par leur facteur d'équivalent toxique respectif. La TEQ est une unité utilisée pour exprimer la charge toxique globale du milieu étudié.
(3) CSHPF : Plomb, Cadmium et Mercure dans l'alimentation (évaluation du risque, 1996).
(4) 1 µg ou microgramme = 1 millionième de gramme.

**Les conséquences
sanitaires**

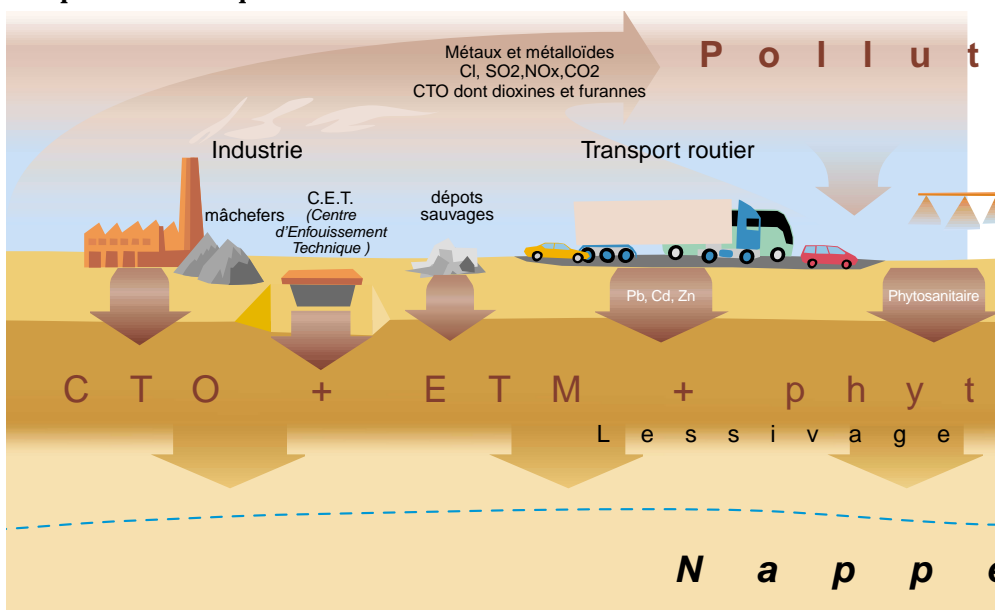
**Deux voies d'exposition
aux polluants des sols**

L'exposition directe, de faible ampleur, se fait par ingestion, inhalation de particules ou absorption cutanée ; chronique, elle devient préoccupante pour les travailleurs exposés, en particulier les agriculteurs. L'exposition indirecte, plus dommageable, survient par contact avec un élément pollué par les contaminants contenus dans le sol, transférés vers l'eau et les aliments. La voie alimentaire est donc une des principales sources de contamination.

**Des centaines de substances
aux effets nocifs sur la santé**

Parmi celles-ci, on mentionnera les pesticides dont on connaît les effets aigus sur l'homme à fortes doses, consécutifs à des accidents ou erreurs de manipulation. Peu de données scientifiques existent sur les effets toxicologiques d'une exposition chronique à faible dose par la chaîne alimentaire. En milieu professionnel, l'exposition chronique génère des troubles de la reproduction, des pathologies cancéreuses, neurologiques, cardiovasculaires, respiratoires. Des effets sur la santé des hydrocarbures aromatiques polycycliques (Hap) ont été observés en milieu

Sol, pollution et risques sanitaires



professionnel : il s'agit le plus fréquemment de bronchites chroniques et de dermatites. Pour la population en général, les risques concernent avant tout les personnes proches d'une source de pollution (routes, sites d'élimination des déchets).

Le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) a classé un grand nombre de ces composés comme cancérogènes probables ou possibles chez les humains. C'est le cas notamment des dioxines et Furannes dont le caractère cancérogène a été reconnu expérimentalement à dose élevée sur les animaux. Chez l'homme, il a été également reconnu à la suite des études épidémiologiques sur les populations exposées lors de l'accident de Seveso⁽¹⁾.

Toxicité élevée pour le Plomb, le Mercure, le Cadmium et l'Arsenic
Présents à l'état microparticulaire dans l'air, les **métaux lourds** pénètrent dans les voies respiratoires et se fixent dans les alvéoles pulmonaires d'où ils passent dans le sang. En solution dans le sol, ils contaminent l'homme par la voie digestive

(consommation d'eau, de plantes contaminées ou de sols pollués aux alentours d'usines). **Le Plomb** comporte des risques pour la santé même à faibles concentrations, surtout chez les nourrissons et les jeunes enfants. Une exposition de brève durée à des concentrations élevées peut causer un goût métallique, des douleurs abdominales, des vomissements, de la diarrhée, des convulsions, le coma et même entraîner le décès. Toutefois, de telles intoxications sont rares. Les effets d'une exposition prolongée à doses faibles sont moins perceptibles, mais non moins dommageables pour la santé : anémie⁽²⁾, déficience de la fonction mentale et problèmes neurologiques chez les jeunes enfants. Le Plomb est classé comme substance potentiellement cancérogène pour les humains par le CIRC.

Les effets du **Mercure** sur la santé dépendent, en partie, des formes sous lesquelles il se présente : sels, méthylmercure, Mercure élémentaire. Son inhalation chronique conduit à des tremblements, une perte de poids, de la fatigue, une anorexie, des douleurs gastro-intestinales et à une

défaillance de la coordination musculaire ; son ingestion provoque une sécrétion excessive de salive, des gingivites, des traits noirs sur les dents et une atteinte rénale. La voie cutanée peut entraîner une inflammation de la peau. D'autres symptômes peuvent survenir : surdité, fatigue anormale coma et décès.

Le **Cadmium** est stocké dans l'organisme essentiellement dans le foie et les reins. Une exposition prolongée de l'organisme développe des troubles rénaux, des maladies obstructives respiratoires (en milieu professionnel) et osseuses.

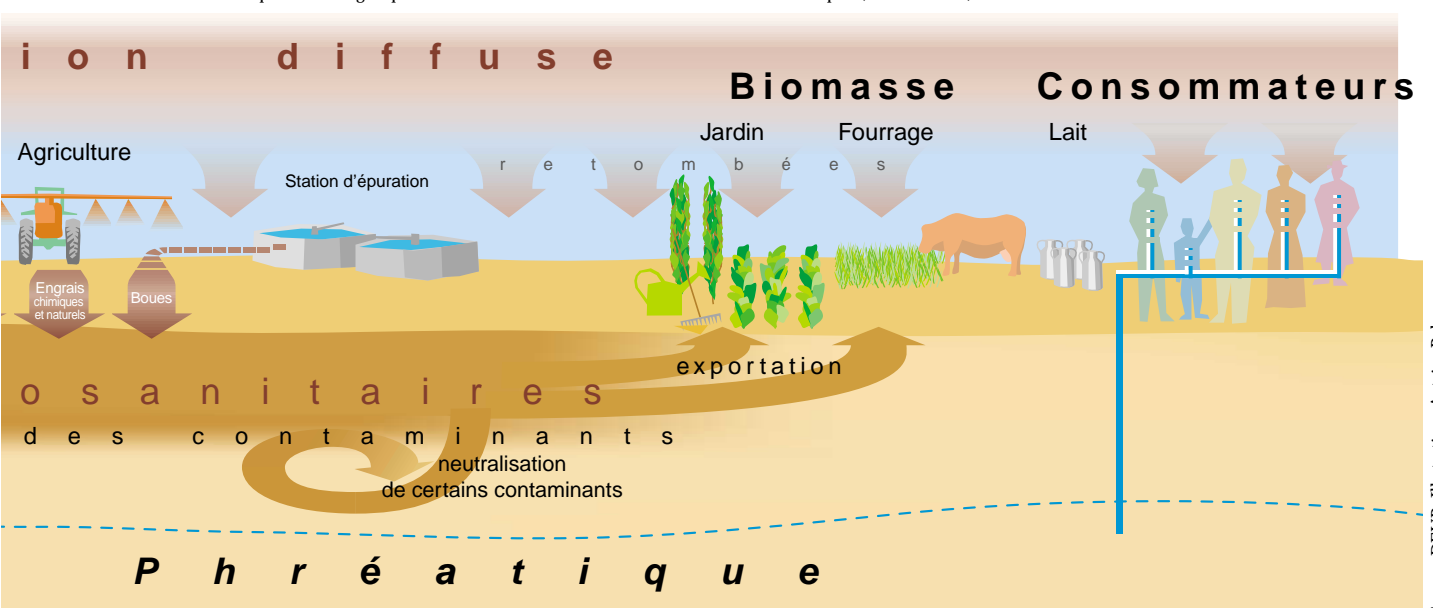
Une exposition à de faibles concentrations d' **Arsenic** durant de longues périodes a des effets sur la peau, les muqueuses, le système nerveux, le foie et le système vasculaire. Ce métal est aussi un cancérogène reconnu.

(1) Localité italienne affectée en 1976 par un accident industriel ayant libéré des quantités élevées de dioxines.

(2) Baisse de la capacité du sang au transport d'oxygène.

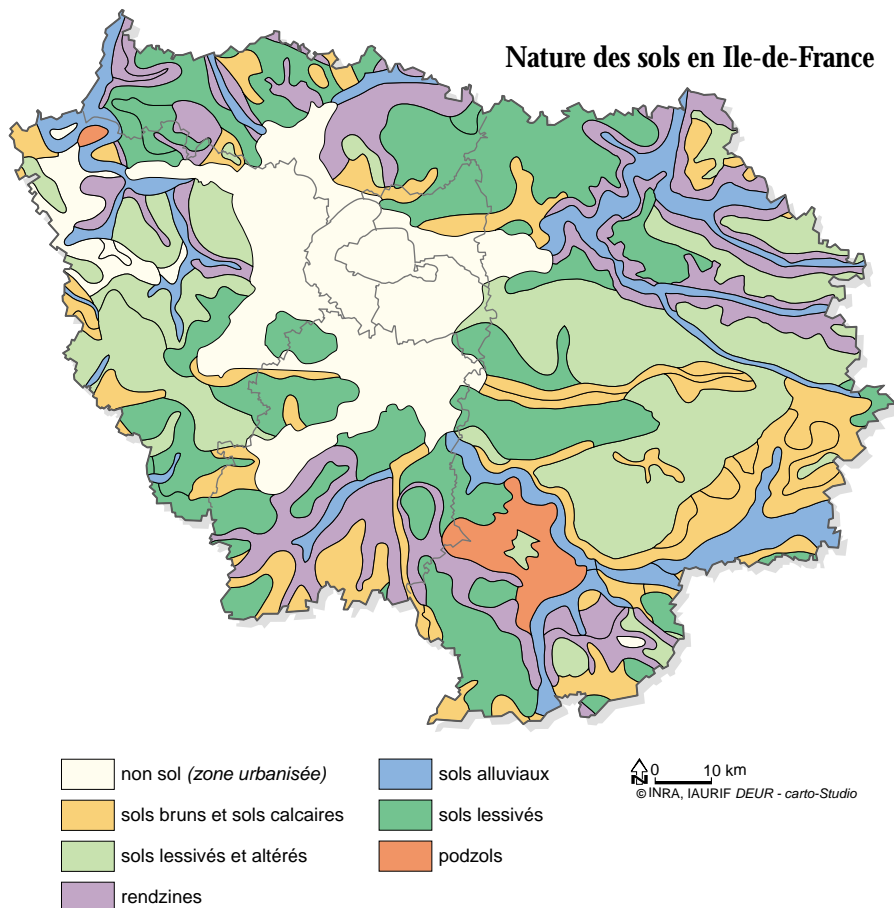
CTO : composé traces organiques

ETM : éléments traces métalliques (métaux lourds)



Source : DEUR, Illustration : Antoine Raby

**La pollution des sols :
impact sur l'environnement
et la santé**



données sur la géochimie des sols sont rares. En Seine-et-Marne, des analyses de la tranche cultivable des sols indiquent un niveau de contamination faible en métaux lourds, à l'exception de secteurs où les teneurs sont légèrement supérieures en raison, semble-t-il, d'épandages de composts.

Sources et évaluation de la contamination

L'Ile-de-France subit depuis plus d'un siècle un apport de contaminants généré par le développement d'activités industrielles et agricoles pour les besoins d'une population en forte croissance. On mentionnera, à titre d'exemple, l'épandage, depuis 1875, des eaux usées de l'agglomération parisienne à des fins agricoles. Cet épandage, encore pratiqué aujourd'hui sur des superficies plus restreintes, a durablement contaminé les sols des secteurs d'Achères, Triel, Mery-sur-Oise et Pierrelaye à l'ouest de Paris.

La pollution actuelle, issue de l'activité industrielle est difficile à quantifier. Sur les 7 300 établissements existants, plus de la moitié sont des industries de transformation émettrices de contaminants gazeux et solides.

Les émissions de poussières de dix incinérateurs de déchets ménagers sur les dix-huit du parc francilien génèrent un flux annuel de 225 tonnes de poussières. La quantité de dioxines et furannes émise par la totalité du parc est estimée quant à elle à 30 grammes/an. Mais, la part de l'incinération des déchets ménagers dans les émissions de métaux reste marginale : elle était évaluée à 2 %, en 1990, exception faite pour le Cuivre et le Zinc (6 % et 12 % respectivement) mais est notable dans la production de dioxines et furannes qui représente 30 à 40 %. Le traitement

L'exposition par les sols à de faibles doses d'éléments traces métalliques et de produits phytosanitaires a des effets difficilement décelables et mesurables pour l'homme à court terme. Cependant, l'accumulation des contaminants dans l'organisme par exposition répétée, même à faible dose, a un impact sanitaire potentiel qui ne doit pas être négligé.

(50 % de son espace). Une telle activité produit des quantités importantes de contaminants. L'impact sanitaire est d'autant plus à prendre en compte que la densité démographique est importante et que la population est proche des activités industrielles.

La pollution des sols en Ile-de-France

D'importantes pollutions historiques suspectées, un état des sols encore largement méconnu

Première région industrielle, fortement peuplée et urbanisée, desservie par un réseau de communications dense et varié, l'Ile-de-France n'en reste pas moins une région agricole

L'apport des contaminants

Près de la moitié de l'Ile-de-France est constituée de sols lessivés et dégradés correspondant aux plateaux ; de sols alluviaux, rendzines, sols bruns et bruns calcaires, ces derniers étant localisés dans le sud. L'urbanisation imperméabilise près des deux dixièmes de sa superficie régionale. Cette imperméabilisation est déterminante pour la concentration et le transfert des contaminants, notamment par les eaux de surface. Les

**La pollution des sols :
impact sur l'environnement
et la santé**

des poussières et fumées depuis cette date a réduit ces proportions.

L'incinération annuelle des 2,5 MT de déchets ménagers franciliens génère environ 700 000 tonnes de mâchefers. Non traités, ils contiennent 1 % environ de métaux (soit 7 000 tonnes pour la production francilienne). La réglementation (1994) à laquelle ils sont soumis réduit d'un facteur allant de 5 à 300 les principaux métaux lourds, limitant leur impact dans les sols quand ils sont utilisés en techniques routières.

Plusieurs milliers de tonnes de produits phytosanitaires sont épandus chaque année pour un usage professionnel en Ile-de-France. L'effet des boues d'épuration sur les sols paraît relativement négligeable puisque leur épandage ne couvre que 2 % de la SAU francilienne.

Les sites et sols pollués font l'objet d'un inventaire national. En Ile-de-France, ils correspondent à des emplacements d'anciens établissements industriels sur lesquels ont été abandonnés des déchets toxiques. En 2000, 347 sites ont été inventoriés et certains sont des établissements toujours en activité. S'agissant de la

radioactivité, aucun des départements franciliens n'indique des émanations de radon supérieures au seuil d'alerte et de précaution, ce qui n'exclut pas des problèmes ponctuels liés à l'industrie du radium.

**Inventorier,
évaluer, surveiller
pour prévenir les risques**

Le transfert des éléments polluants des sols à l'homme s'effectue essentiellement par la chaîne alimentaire. En première analyse, il apparaît moins important que la contamination véhiculée par l'air et l'eau.

Évaluer la pollution des sols et en mesurer son impact sur la santé humaine peut sembler difficile à l'heure actuelle tant les connaissances sont fragmentaires, notamment :

- par l'absence d'inventaires des sources de contamination et des contaminants impliqués ;
- par le manque de données sur les pollutions historiques et leur impact sur la qualité des sols ;
- par des connaissances encore très

partielles sur le comportement des contaminants dans le sol et sur les mécanismes qui régissent leur accumulation, diffusion et transfert ;

- par le faible nombre d'études épidémiologiques et toxicologiques des effets des contaminants sur l'homme.

À l'exception des populations potentiellement exposées vivants aux alentours de sites pollués, le risque sanitaire pour l'ensemble de la population apparaît minime.

Les sols ont subi et subissent encore une pollution importante en Ile-de-France. Considérée sur le long terme, cette pollution risque d'avoir une incidence sur la santé des populations. La poursuite de l'inventaire méthodique des sites pollués, le suivi des épandages de fertilisants de toutes natures et des phytosanitaires, le contrôle de l'utilisation des mâchefers, sont des priorités.

Une meilleure connaissance des sites pollués ou supposés tels, de la nature et des quantités de contaminants impliqués sont également nécessaires à une évaluation préliminaire de la contamination des sols et des risques sanitaires qui en découlent.

**Quelques références bibliographiques,
sur un thème abondamment documenté**

Baize D., «Éléments traces métalliques dans les sols. Intérêt d'une typologie détaillée.», 5^e journées nationales de l'étude des sols, Rennes, France, 1996.

Bourellet P. H., Berthelin J., «Contamination des sols par les éléments en traces : les risques et leur gestion.», Académie des Sciences, rapport n° 42 ; Paris, France, 1998.

«L'utilisation des pesticides en agriculture et ses conséquences pour la santé publique.», Organisation mondiale de la santé, 1991.

Le Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement a entrepris de localiser et de recenser les sites et sols pollués, de les faire réhabiliter et de limiter l'urbanisation sur les sites présentant des risques. La lutte entreprise contre la pollution des sols est décrite sur un ensemble de sites internet. Sont en ligne :

- des informations sur les bases de données des sites et sols pollués (BASIAS, BASOL), des outils méthodologiques, des guides sur le contentieux et les servitudes sur le site du ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement ;

[http : //www.environnement.gouv.fr/dossiers/sols](http://www.environnement.gouv.fr/dossiers/sols)

- des éléments sur les opérations de réhabilitation sur le site de l'ADEME,

[http : //www.ademe.fr/iledefrance/sol](http://www.ademe.fr/iledefrance/sol) ;

- des informations sur la qualité des nappes sur le site de l'agence de bassin Seine Normandie

[http : //www.eau-seine-normandie.fr](http://www.eau-seine-normandie.fr), sur la radioactivité [http : //www.andra.fr](http://www.andra.fr) et

[http : //www.opri.fr](http://www.opri.fr).

Enfin, des informations plus spécifiques à la région Ile-de-France sont disponibles sur le site de la DRIRE [http : //www.drire-ile-de-france.fr/environnement](http://www.drire-ile-de-france.fr/environnement).



Directeur général
Jean-Pierre Dufay

Directeur de la publication : J.-P. Dufay - Rédactrice en chef : Catherine Grolée-Bramat assistée d'Emmanuelle Pellegrini -

Article : Antoine Franconi, Erwan Cordeau, Jackie Poitevin (DEUR), Jean-Philippe Camard (ORS), collaboration : Ludovic Faytre (DEUR).

- Conception réalisation : Studio Iaurif.

- Diffusion par abonnement : 76,22€ / 500 F - Service diffusion-vente Tél. : 01.53.85.79.38 - Le numéro : 5,34€ / 35 F -

Librairie d'Ile-de-France : 15, rue Falguière - 75015 Paris - Tél. : 01.53.85.77.40 - <http://www.iaurif.org> - ISSN 1161-7578.