

# Intérêt et limites des modèles d'exposition dans l'évaluation des risques pour la santé liés aux sols pollués

Guy Auburtin, Roseline Bonnard

► **To cite this version:**

Guy Auburtin, Roseline Bonnard. Intérêt et limites des modèles d'exposition dans l'évaluation des risques pour la santé liés aux sols pollués. Journée de l'AFITE "Risques technologiques et pollution de l'environnement quels outils pour les prévoir et les maîtriser", Oct 1996, Lyon, France. pp.39-44. ineris-00971982

**HAL Id: ineris-00971982**

**<https://hal-ineris.archives-ouvertes.fr/ineris-00971982>**

Submitted on 3 Apr 2014

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

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

# INTERET ET LIMITES DES MODELES D'EXPOSITION DANS L'EVALUATION DES RISQUES POUR LA SANTE LIES AUX SOLS POLLUES

Dr Guy AUBURTIN - Roseline BONNARD

INERIS

## La démarche d'évaluation des risques dans la gestion des sites pollués

La gestion des sites et sols pollués est une problématique apparue dans notre pays depuis quelques années. Elle fait l'objet d'une « méthode nationale de gestion des sites et sols pollués » développée par le ministère de l'Environnement. Cette méthode est basée sur quelques grands principes tels qu'une approche pragmatique qui doit s'étaler dans le temps et la notion « d'usage » du site. Cette dernière notion signifie que la finalité de la gestion des sites pollués n'est pas de restituer les sites à leur état originel, pré-industriel, mais d'adapter les décisions à prendre à l'usage prévu ou prévisible du site<sup>1</sup>.

La méthode nationale de gestion des sites et sols pollués inclut deux phases principales. La première phase, « l'évaluation simplifiée des risques », a pour but de déterminer les sites qui ne posent *a priori* pas de problème, ceux qui doivent faire l'objet d'une simple surveillance et ceux qui devront faire l'objet d'une étude plus approfondie. La deuxième phase dite « évaluation détaillée des risques », s'applique à ces derniers. Elle-même comprend deux étapes : l'évaluation qualitative des risques et l'évaluation approfondie des risques et aboutit à la prise de décisions sur la nécessité éventuelle et les modalités de traitement, en particulier la définition d'objectifs de qualité des sols.

Cette démarche de gestion des sites inclut la notion d'évaluation des risques pour quatre cibles : la santé de l'homme, la ressource en eau, l'environnement (faune et flore sauvages) et le patrimoine. Dans l'étape d'évaluation simplifiée des risques seules la ressource en eau et la santé humaine sont prises en compte. Dans l'étape d'évaluation détaillée des risques les quatre cibles font l'objet d'une évaluation.

L'évaluation des risques pour la santé est une méthodologie développée depuis une quinzaine d'années d'abord aux Etats Unis, puis dans certains pays d'Europe et plus récemment en France. Il ne s'agit pas d'une méthode spécifique aux sols pollués : elle peut s'appliquer à différents domaines de la santé publique, en particulier dans le champ « environnement-santé ». Dans ce domaine, il s'agit à la fois d'une démarche logique qui vise à poser un oeil « santé publique » sur les problèmes d'environnement et d'une méthodologie comprenant une palette d'outils.

Appliquée au domaine des sols pollués, l'évaluation des risques pour la santé des populations peut être regroupée en deux grandes parties :

---

<sup>1</sup> Ce qui nécessitera de réenvisager la question en cas de modification de l'usage initial.

1. les risques pour la santé des populations par l'intermédiaire de l'absorption d'eau polluée peuvent être étudiés par la problématique « transfert de pollution du sol vers les nappes superficielles ou profondes ». Sur un plan pratique, elle est prise en compte dans l'étude des risques pour la cible « ressources en eau potable » dont la fragilité constitue un sujet d'importance majeure. Elle est prise en compte dans l'évaluation des risques des populations vivant sur ou à proximité des sites en cas d'existence de captages d'eau de la nappe par puits individuel.
2. les risques pour la santé des populations vivant sur ou à proximité immédiate du site. Cette approche est plus particulièrement développée ci après.

Sur un plan conceptuel l'évaluation des risques pour la santé comprend 4 étapes. Dans le domaine qui nous intéresse les deux premières étapes ont trait aux aspects toxicologiques. Il s'agit de l'identification du potentiel dangereux et de l'étude des relations doses-effets des substances et/ou mélanges. La troisième étape, l'estimation des expositions, est le centre de ce document. La quatrième étape, dite « caractérisation des risques » constitue la synthèse de la démarche.

Cet aspect un peu formel de la démarche vise en particulier à lui conférer, en particulier, un caractère de transparence. Face aux enjeux de santé publique d'une part et aux importants enjeux économiques d'autre part, il est nécessaire que l'ensemble de la démarche et chacune de ses étapes soit transparente. Il s'agit de dire ce qu'on fait et pourquoi on le fait. La démarche d'évaluation des risques pour la santé a pour but de limiter les incertitudes pesant sur la décision, mais à l'issue de cette démarche il persiste des incertitudes qui doivent être explicitées.

## **L'estimation des expositions et le besoin de modèles**

L'évaluation des risques pour la santé est l'application d'une maxime ancienne « tout est poison, rien n'est poison, c'est la dose qui fait le poison » qui est un principe de base de la toxicologie qu'il s'agit d'appliquer à une problématique particulière.

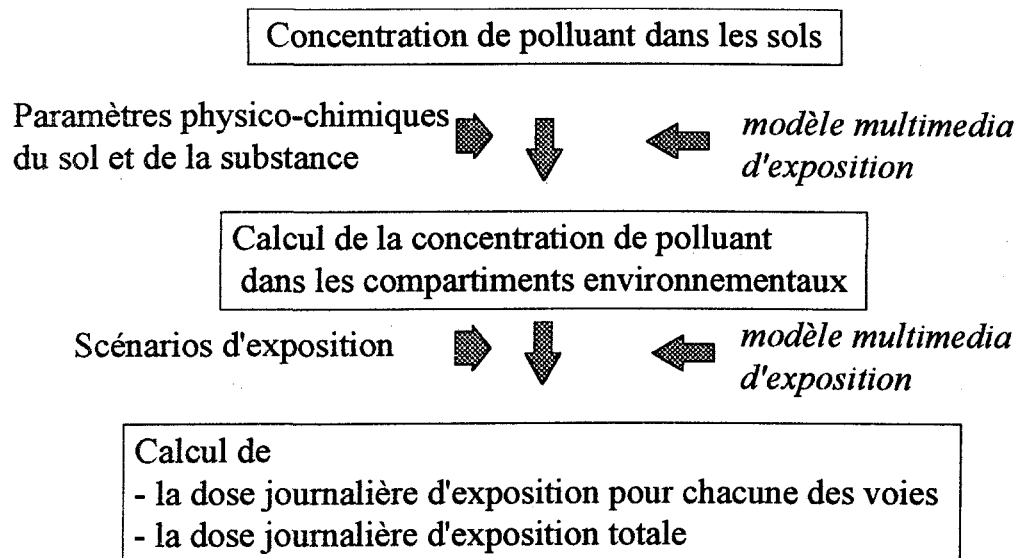
D'une façon générale, la problématique d'estimation de l'exposition des populations revêt une importance particulière. Il est des domaines (expositions professionnelles, pollution de l'air par exemple) où la métrologie individuelle et/ou collective est possible. Depuis quelques années les marqueurs biologiques ont permis d'augmenter le potentiel métrologique. Sauf pour quelques aspects et pour quelques substances pour lesquelles il existe des marqueurs biologiques utilisables, ce qui n'est pas le cas dans la présente étude, l'estimation de l'exposition des populations aux polluants issus du sol n'est pas accessible à la mesure. Les humains ne vivant pas dans le sol, pollué ou non, la mesure de la concentration de polluant dans le sol n'est pas directement utilisable comme mesure d'exposition. Le contact direct avec le sol n'est qu'une des modalités d'exposition. Il faut donc utiliser autre chose : la modélisation des expositions.

Il est fait appel à des *modèles d'exposition*, appelés également *modèles multimédia d'exposition*. Le terme « multimédia » fait référence aux multiples compartiments (air, eau, sol, aliments) et voies d'exposition (inhalation, ingestion et contact cutané.) pris en compte.

## **Description des modèles d'exposition**

L'exposition à une substance polluante présente dans le sol dépend de sa concentration et de son comportement physico-chimique dans le sol d'une part ainsi que des modes et des niveaux d'exposition des individus avec ce polluant définis dans un (des) scénario(s) selon l'usage du site d'autre part. Ces deux parties sont prises en compte dans les modèles multimédia d'exposition selon le schéma suivant :

Figure 1 : Les principales étapes d'un modèle d'exposition



En fonction de l'usage du site et de son sol, l'exposition procède par différentes voies. Elles peuvent se regrouper selon trois modes d'admission: l'inhalation, l'ingestion et le contact cutané. D'après le compartiment environnemental envisagé (sol, air, eaux, aliments), on peut distinguer :

- l'inhalation de polluant sous forme gazeuse,
- l'inhalation de polluant adsorbé sur les poussières
- l'inhalation de vapeur d'eau polluée,
- l'ingestion directe de sol,
- l'ingestion d'aliments d'origine végétale, cultivés sur le site,
- l'ingestion d'aliments d'origine animale à partir d'animaux élevés sur le site,
- l'ingestion d'eau contaminée,
- l'absorption cutanée de sol et de poussières,
- l'absorption cutanée d'eau contaminée (bain, douche,...).

L'évaluation de l'exposition humaine aux polluants d'un sol va donc consister à évaluer la contamination des différents compartiments environnementaux due à la pollution considérée, puis la quantité de polluant absorbée par l'organisme à partir de l'usage du sol, du comportement et des caractéristiques physiologiques humaines.

La contamination des différents compartiments environnementaux est liée au devenir et au comportement du polluant considéré, c'est-à-dire à sa dégradabilité naturelle et à divers phénomènes de transfert.

Ses propriétés physico-chimiques et celles du sol vont déterminer sa répartition entre la phase solide, liquide et gazeuse du sol. La mobilité de ces deux dernières phases va conditionner un possible transfert de pollution vers les autres compartiments environnementaux.

Des phénomènes de volatilisation, de diffusion, de percolation et/ou de ruissellement vont induire une contamination de l'air atmosphérique, de l'eau superficielle et souterraine et des horizons sus ou sous-jacents à la couche de sol contenant la source initiale de pollution.

Les végétaux cultivés dans ces sols pourront alors être contaminés, ainsi que l'ensemble de la chaîne alimentaire, le niveau de contamination dans les végétaux et dans la chair animale dépendant des propriétés de bioconcentration de la substance polluante.

La modélisation de ces phénomènes reposera sur la définition des paramètres décrivant :

- le site, le sol et le sous-sol,
- les conditions climatologiques et météorologiques,
- les spécificités techniques de l'habitat ou des autres lieux de vie considérés,
- les caractéristiques des végétaux,
- les caractéristiques physiologiques des animaux,
- la ressource en eau.

Une dose journalière d'exposition (DJE) est calculée à partir des voies d'exposition jugées pertinentes eu égard à l'usage du site. Elle est la somme des doses de polluant absorbées par chacune de ces voies.

$$DJE = \sum d_i$$

avec  $d_i = Q_i * C_i * f_i$

$Q_i$  : quantité de substrat ingéré, inhalé ou mis au contact de la peau et des muqueuses

$C_i$  : concentration de polluant dans le substrat

$f_i$  : fraction représentant la quantité de polluant absorbée par l'organisme par rapport à la quantité ayant atteint les barrières de l'organisme

L'évaluation de cette dose repose sur la définition de paramètres décrivant :

- l'alimentation,
- l'usage de l'eau pour l'hygiène corporelle,
- les caractéristiques physiologiques de l'Homme.

Différents scénarios peuvent être pris en compte dans l'évaluation des expositions comme, par exemple, un scénario de type résidentiel, prenant en compte l'excavation du sous-sol pour la réalisation de nouvelles fondations, la culture de jardins potagers et l'existence de zones de jeu pour les enfants. Les divers scénarios permettent de représenter les conditions actuelles ou les conditions résultant de l'usage futur des sites.

Dans les modèles, il est habituel de distinguer différentes cibles comme, par exemple, l'adulte (70 kg) et l'enfant (15 kg) en assignant à chacun des durées différentes passées à l'intérieur et à l'extérieur.

Chacun des paramètres pris en compte est soumis à des variabilités liées d'une part à l'incertitude (variabilité du paramètre et aux défauts de connaissance concernant ce paramètre) et d'autre part aux variations (erreurs) dans la mesure. Il est possible de tenir compte de ces deux types de variabilité :

- soit en choisissant des valeurs fixes en rapport avec les conditions géologiques, géographiques et les modes de vie français. Ces valeurs, correspondant pour certaines aux moyennes relevées, pour d'autres à 90 ou 95<sup>èmes</sup> percentiles de la distribution,

- soit par des simulations effectuées en faisant varier les paramètres dans les intervalles de variation connus, des bornes minimales aux bornes maximales et selon une procédure Monte Carlo (tirages aléatoires en fonction de la distribution du paramètre).

### **Limites, avantages et perspectives des modèles**

Les modèles d'exposition décrits précédemment, comme tous les modèles, répondent à l'adage : « tous les modèles sont faux, mais ils peuvent parfois être utiles ».

La première limite des modèles d'exposition est leur caractère « non validé ». Dans le domaine de la validation des modèles, il existe plusieurs étapes dont la validation interne et la validation externe. La validation interne recouvre tous les aspects de cohérence dont cohérence avec les conceptions scientifiques sous-jacentes et la cohérence des différents éléments du modèle entre eux. Cette étape de validation est possible ; elle est l'objet de l'analyse critique des modèles. L'INERIS, sur demande du ministère de l'Environnement, s'y emploie. La validation externe recouvre notamment la vérification *in situ* de la réalité (exactitude) des prévisions du modèle. On comprend aisément que s'il est possible de caler des modèles de dispersion dans l'air ou des modèles de transfert dans le sol, il n'en va pas de même des modèles multimédia d'exposition. Cette validation externe nécessiterait la mesure « intégrée » des expositions. Or c'est justement l'impossibilité de cette mesure qui rend indispensable l'utilisation de modèles.

La deuxième limite des modèles disponibles est leur caractère simplifié. A l'énoncé des différentes modalités d'exposition, on souhaiterait pouvoir disposer de modèles capables de prendre en compte chacun des aspects. Il n'en est rien. Les modèles actuels sont qualifiés par leurs auteurs de modèles de criblage ou de dépistage (« screening model » en anglais). Ils reposent sur des notions de physico-chimie et de thermodynamique classiques mais simples.

Dans des domaines importants, il existe des incertitudes sur la façon de modéliser certains aspects. C'est le cas, par exemple, du transfert de polluants depuis le sol jusque dans le régime alimentaire. Les données scientifiques disponibles sont, pour certains aspects nombreuses mais le plus souvent fragmentaires et non directement utilisables pour la modélisation. Il s'agit probablement d'un défi auquel nous allons être confrontés dans le futur proche, élaborer une approche pluridisciplinaire qui respecte la grande variabilité des études et résultats scientifiques et qui soit généralisable sous une forme modélisable. Ces incertitudes se traduisent au coeur des modèles sur les algorithmes et équations appliquées.

Il existe également des incertitudes sur des paramètres importants. C'est le cas en particulier de l'ingestion de sol et de poussières du sol. Il existe quelques rares données disponibles qui reposent sur des expérimentations réalisées chez l'enfant et auprès d'un nombre restreint d'adultes. Ces incertitudes peuvent peser de façon importante sur le résultat final en terme d'exposition et par là-même en terme de risques pour la santé.

La manière la plus moderne de prendre en compte ces incertitudes est l'utilisation de simulations de Monte Carlo. Ces derniers aboutissent à la représentation de l'exposition sous forme d'une courbe cumulée des doses journalières d'exposition. Il est possible alors de se situer au n<sup>ième</sup> percentile de cette courbe de distribution. Schématiquement deux cas de figure sont possible : se situer au 50<sup>ième</sup> percentile de la courbe pour représenter une exposition « moyenne » ou se situer au 90<sup>ième</sup> percentile ou au 95<sup>ième</sup> percentile correspondant à une approche plus protectrice pour la santé. Par exemple dans le cadre de propositions de « critères d'aide à la décision » utilisables dans l'étape d'évaluation simplifiée des risques, qui utilise une approche générique, nous avons proposé de retenir le 50<sup>ième</sup> percentile. Dans les études sur un site défini nous proposons de retenir le 90<sup>ième</sup> percentile de la distribution.

Ce choix est à situer dans l'approche générale de l'évaluation des risques pour la santé. Il s'agit en particulier de décider si, dans l'évaluation en cours, on s'intéresse à « la » population en général, en moyenne ou à des sous-populations sensibles.

Ce choix est également à situer dans le cadre du niveau et du type d'évaluation. La phase d'évaluation simplifiée des risques et celle d'évaluation qualitative des risques utilisent les modèles d'exposition sous la forme d'études génériques : le scénario, les caractéristique du site et du sol sont adaptées à une situation moyenne. Dans l'évaluation approfondie il s'agit d'étudier un site déterminé et un scénario particulier correspondant à un usage défini. Dans le premier cas le modèle est réellement utilisé comme un outil de criblage. Dans le second cas il doit être adapté au cas particulier.

Il en est des modèles multimédia d'exposition comme des autres modèles : le modèle n'est pas tout, l'utilisateur est aussi important que le modèle. Les modèles d'exposition peuvent être utilisés comme des « boîtes noires » mais dans ce cas, même la cohérence interne du modèle peut ne pas être respectée. Dans le cas d'utilisation sur un site complexe il est peut être nécessaire de développer certains aspects particuliers du modèle pour l'adapter au cas étudié.

Une adaptation prévue est l'intégration des modèles de transfert et de mobilité des polluants dans les sols dans l'évaluation des risques pour la santé par le couplage avec les modèles d'exposition, les premiers procurant des données d'entrée au seconds. L'INERIS projette de travailler sur ce sujet avec l'IFP (institut français du pétrole). Au delà de l'aspect de paramétrage des données, ce projet permettra un enrichissement de l'ensemble de la problématique par l'intégration de phénomènes tels que l'évolution des mélanges dans le temps ou la prise en compte de la biodégradation.

L'utilisation des modèles ne remplace pas la mesure et ne résout pas tous les problèmes de mesure : la stratégie d'échantillonnage, le transport, la préparation des échantillons (extraction) de sol et leur analyse chimique doivent faire l'objet de procédures assurant la qualité des données. Il s'agit d'un vaste domaine qui constitue une clé de l'évaluation des risques.

Dans le domaine de la toxicologie et de la pharmacologie des modèles pharmaco-dynamiques physiologiques sont développés pour passer de la dose atteignant les barrières de l'organisme à la dose reçue aux cellules cibles, en intégrant les étapes de métabolisme. Une évolution de la modélisation des expositions sera de prendre en compte ce type de modèles. Ceci est à considérer en lien avec l'évolution de la partie « toxicologique » de l'évaluation des risques pour la santé, disciple relativement jeune et en évolution.