HAL
open science

Construction d'un indicateur d'exposition spatialisé de l'environnement

Julien Caudeville, Gérard Govaert, Olivier Blanchard, André Cicollela

To cite this version:

Julien Caudeville, Gérard Govaert, Olivier Blanchard, André Cicollela. Construction d'un indicateur d'exposition spatialisé de l'environnement. STIC &Environnement 2009, Jun 2009, Calais, France. pp.1-4. hal-00447947

HAL Id: hal-00447947

https://hal.science/hal-00447947v1

Submitted on 12 Feb 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.

Construction d'un indicateur d'exposition spatialisé de l'environnement

Intégration de bases de données environnementales dans un Système d'Information Géographique

Julien Caudeville*, — Gérard Govaert** — Roseline Bonnard* — Olivier Blanchard* — André Cicolella***

* *INERIS : Institut National de l'Environnement industriel et des RISques*
Parc Technologique Alata - BP 2
60550 Verneuil en Halatte
Julien.Caudeville@ineris.fr

** *UTC : Université de Technologie de Compiègne*
Heudiasyc-UMR C.N.R.S. 6599
Centre de Recherches de Royallieu
60200 COMPIEGNE

RÉSUMÉ. *Le projet SIGFRIED 1 (Système d'Information Géographique, Facteurs de RIsques Environnementaux et Décès par cancer) vise à construire un indicateur spatialisé de l'exposition de la population française aux polluants chimiques. L'indicateur intègre dans un SIG les bases de données géoréférencées environnementales (eau, air, sol). Un modèle d'exposition multimédia utilise les équations de transfert de polluant de la source à l'individu en appliquant la démarche d'évaluation des risques. L'étude a pour objectif principal d'identifier les zones géographiques potentiellement responsables d'une surexposition de la population pour lesquelles seront conduites en priorité des études environnementales de terrain. Par ailleurs, les résultats seront utilisés ultérieurement dans le cadre de l'analyse des inégalités géographiques de cancer en France.*

ABSTRACT. *SIGFRIED project (Geographic Information System, Environmental Risk Factors and Cancer Death) aims to build a spatial exposure indicator concerning French population exposure to chemical pollutants. The indicator integrates environmental geodatabases (water, air, soil) using GIS. A multimedia exposure model solves pollutant transfer equations from source release to human body using health risk assessment approach. The principal aim of the SIGFRIED's Project is to identify hot spot areas with significantly elevated exposure indicator. In a next step, results will be use to define environmental monitoring campaigns and to analyze geographic cancer inequalities in France.*

MOTS-CLÉS : *SIG, modélisation, indicateur, exposition, inégalité environnementale.*

KEYWORDS: *GIS, modeling, indicator, exposure, environmental inequality.*

1. Introduction

Les évaluations de risques sanitaires (ERS) ont pour objectif de décrire le plus précisément possible les conséquences sur la santé des populations d'une exposition à une substance dangereuse. L'ERS peut être également utilisée pour déterminer les populations potentiellement surexposées et déterminer si les risques associés sont acceptables. La démarche générale d'évaluation des risques sanitaires a été mise en place aux Etats-Unis dans les années 1980. Elle a notamment été définie dans le document de l'Académie des Sciences de 1983 intitulé : « Risk Assessment in the federal government, managing the process » (NRC, 1983) et reconfirmé en 1994 (NRC, 1994). Le NRC propose une démarche en quatre étapes, toujours en vigueur actuellement :

– caractérisation du site et de ses émissions : présentation des installations, inventaire qualitatif et quantitatif des substances rejetées, choix des substances à inclure dans l'étude ;

– identification du danger et des relations dose-réponse : caractérisation de la toxicité des substances chez l'homme et identification des valeurs toxicologiques de référence ;

– évaluation des expositions : description des populations exposées, caractérisation des voies d'exposition, détermination des concentrations environnementales et des doses journalières d'exposition ;

– caractérisation des risques : inclus l'ensemble du processus, récapitulatif des données compilées, présentation des risques estimés et des incertitudes associées.

Dans ce contexte, l'expertise du risque est devenue une activité majeure qui fait appel à des organismes de recherche et d'appui aux politiques publiques. Les décideurs sont confrontés depuis quelques années au besoin de développement d'outils nécessaires à la prise en compte des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact des émissions polluantes.

Un Système d'Information Géographique (SIG) est un outil informatique conçu pour permettre la collecte, la gestion, la manipulation, l'analyse, la modélisation et la cartographie de données. Les domaines d'application des SIG sont extrêmement nombreux et variés (environnement, énergie, transport, urbanisme…). Ces dernières années, leur utilisation dans le cadre de l'évaluation des risques sanitaires s'est largement répandue (Bellander et al., 2001). L'exposition d'une population est liée au niveau de contamination de l'environnement qui est lui même la résultante de plusieurs facteurs : l'origine et la nature de l'émission, la distance à la source, les conditions météorologiques… L'estimation d'une exposition revêt ainsi un caractère fortement spatial. Cet outil est donc particulièrement adapté pour évaluer et cartographier l'exposition des populations (Briggs et al., 2000). Son utilisation dans le domaine de l'épidémiologie est discutée en détail par Nuckols (Nuckols et al., 2004). De nombreuses études ont utilisé les SIG pour étudier les risques des populations liés à la contamination des différents médias environnementaux : les sols

(Hough et al., 2004), les eaux de consommation (Meliker et al., 2007), les eaux de surface (Verkasalo et al., 2004), l'air (Axelrad et al., 1999) ou l'ensemble de ces compartiments par une approche multimédia (Morra et al., 2006 ; Kao et al., 2006). Les agences fédérales américaines se sont dotées de programme SIG dans les procédures d'évaluation de risque. Un travail a été conduit notamment par l'US EPA (United States Environnemental Protection Agency) sur l'ensemble du territoire des Etats-Unis pour cartographier les disparités environnementales (Woodruff et al., 1998). D'autres exemples issus de la littérature montrent l'intérêt des SIG pour mettre en évidence une corrélation entre l'exposition et l'existence d'effets sur la santé (Beyea, 1999). Dans ce cadre, les disparités spatiales des données environnementales sont étudiées et confrontées aux cartes de mortalité par cancer pour mettre en évidence des associations entre cancer et environnement (Jacquez et al., 2003).

2. Objectifs

L'objectif du projet SIGFRIED est de construire dans un SIG des bases de données environnementales spatialisées par milieu (eau, air et sol) sur le territoire français. Ces bases de données seront utilisées pour estimer l'exposition des populations à différents polluants en appliquant la démarche d'évaluation des risques sanitaires. L'étude vise à identifier des zones de surexposition potentielle des populations aux polluants chimiques et leurs déterminants (types de polluant, voies d'exposition, classes de population à risque) par l'analyse des variations de l'indicateur environnemental dans l'espace.

3. Méthode

Dans l'objectif de cartographier un indicateur d'exposition, un modèle multimédia d'exposition multi-récepteur est utilisé pour le calcul des doses d'exposition de populations cibles liées à l'ingestion de produits d'alimentation, d'eau de consommation, à l'inhalation de gaz et de poussière. Utilisant les équations de transfert et l'architecture du modèle développé par l'INERIS (Bonnard, 2003), la composante spatiale a été apportée à l'outil de calcul par son couplage avec un SIG.

3.1. *Description du modèle d'exposition multimédia*

Pour répondre aux objectifs de l'étude, une base de données est constituée dans un SIG permettant de gérer les données spatialisées d'entrée et de sortie du modèle. L'outil proposé est capable de gérer les différentes étapes méthodologiques de l'ERS décrites plus haut dans un environnement SIG. L'objectif est de calculer et de cartographier l'indicateur d'exposition à une maille définie par l'utilisateur. Le modèle est basé sur la résolution des équations de transfert telles que celles présentées dans divers documents d'évaluations des risques de l'Agence de

Protection de l'Environnement des Etats-Unis (US EPA) (à titre d'exemple « Human Health Risk Protocol for Hazardous Waste Combustion Facilities » (HHRAP), « The methodology for assessing Health Risks associated with Multiple Pathways of Exposure to combustor » (MPE). Le choix de la maille résulte d'un compromis entre la précision de l'étude attendue, de la significativité des données et du temps de calcul praticable. Pour cette étude, le modèle évalue les doses d'expositions individuelles pour des mailles de 1 km^2 définies sur l'ensemble du territoire français. Le modèle est construit autour de feuilles de calcul sur Excel.

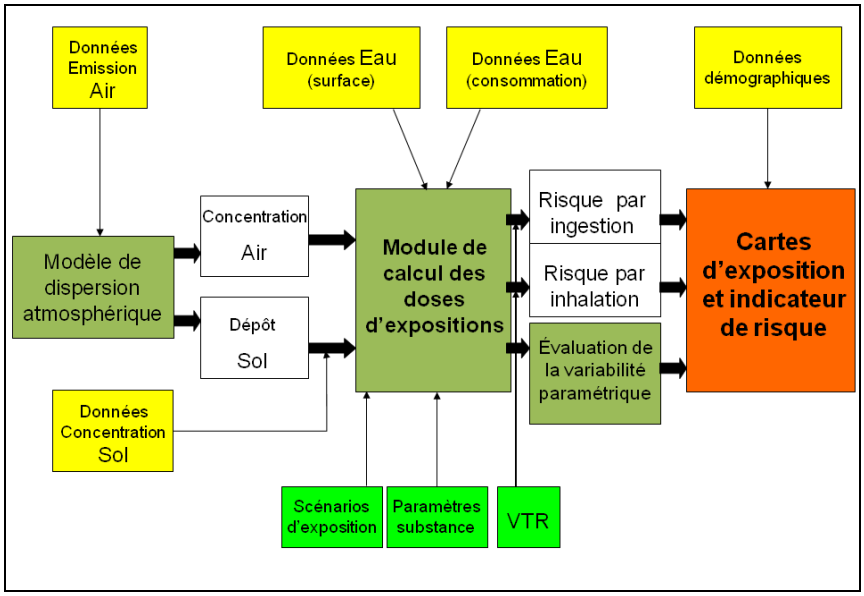

Figure 1. *Description du module de calcul de l'indicateur d'exposition*

La figure 1 présente le diagramme illustrant l'architecture de la méthodologie développée pour calculer l'indice d'exposition dans le modèle. Il utilise deux typologies différentes de bases de données : les bases de données spatiales, intégrées dans le système d'information géographique, correspondant aux données d'entrée et de sortie du modèle ; et les bases de données relationnelles décrivant les paramètres environnementaux, d'exposition et physico-chimiques des substances renseignés dans les feuilles de calcul du modèle. Le fichier de calcul importe les données d'entrées stockées pour chacune des mailles, les unes après les autres, définies dans l'étude par l'utilisation de macros programmées en langage Visual Basic. Un grand nombre de variables géoréférencées vient alimenter le modèle d'exposition multimédia en vue de construire l'indicateur d'exposition. Les données d'entrée correspondent aux bases de données environnementales spatialisées par milieu après traitement. Pour chacune des substances prises en compte, les concentrations doivent être définies dans chaque média environnemental (sol, air, eau de surface, sédiment, eau de consommation). Plusieurs méthodes sont utilisées : les mesures directes (par échantillonnage et analyse chimique des polluants dans le média concerné), la

modélisation ou la combinaison des deux. La construction de ces variables résulte de plusieurs étapes : l'identification des sources de données, l'analyse de la qualité et de la représentativité des bases de données, leur prétraitement, la construction de données ad hoc (interpolation, modélisation, avis d'expert), leur transformation en variables d'intérêt pour l'étude (homogénéisation, agrégation ou désagrégation des données) et leur intégration dans un module de calcul.

3.2. *Choix des données au niveau national*

Dans cet article, sont présentées les données utilisées dans le cadre des travaux de cartographie des inégalités environnementales au niveau de l'ensemble du territoire français sur une maille de 1 km de côté. Des travaux similaires sont menés actuellement sur des régions (Nord-Pas de Calais, Picardie), disposant de données environnementales plus complètes en termes de quantité, de qualité ou de type de polluant proposé.

3.2.1. *Le compartiment atmosphérique*

L'objectif de l'Inventaire National Spatialisé (INS) est le recensement des émissions atmosphériques d'une cinquantaine de composés avec une résolution spatio-temporelle fine (le km^2 et l'heure) pour tous les secteurs d'activité anthropiques et biotiques. Il décrit les émissions de plus d'une cinquantaine de polluants (Cd, Hg, Pb, Cr, Cu, Mn, Ni, Se, Zn, particules, HAP, dioxines…) de l'année 2004. A partir de données météorologiques et d'émissions de l'INS, le modèle eulérien CHIMERE (Vautard *et al.*, 2001) est capable de simuler des concentrations et des dépôts sur l'ensemble du territoire français sur des mailles très fines. Les valeurs de sorties du modèle CHIMERE agrégées sur la maille de référence renseignent les valeurs de dépôt et de concentration atmosphérique du module de calcul d'exposition multimédia.

3.2.2. *Les eaux de consommation*

La base SISE'EAUX (Davezac *et al.*, 2008), gérée par le ministère de la santé, est un système de définition des données administratives, techniques et analytiques de la distribution d'eau en France reconnu par les partenaires de l'eau. Cette base de données permet une description homogène à l'échelle nationale de toutes les installations de captage, de traitement et de distribution d'eau d'alimentation et des analyses (éléments traces métalliques, polluants organiques persistants, …) qui s'y rapportent. Selon le type d'installation, les données de concentration en polluant dans les eaux de consommation sont spatialisées au niveau de la commune, puis agrégées sur la grille de référence.

3.2.3. *Le compartiment Sol*

Le Réseau de Mesure de la Qualité des Sols (© GIS SOL, RMQS, 2009) repose sur le suivi de 2200 sites répartis uniformément sur le territoire français, selon une maille carrée de 16 km de côté (Jolivet *et al.*, 2006). Cette base de données constitue un bilan sur l'état des sols français et renseigne sur les teneurs de 9 éléments traces métalliques (Cd, Cr, Co, Cu, Ni, Pb, Tl, Zn) et 7 éléments majeurs. Certains

polluants organiques persistants devraient compléter cette base de données avec l'avancement du projet. Des méthodes géostatistiques sont utilisées pour interpoler les valeurs de concentration sur la maille de 1 km^2.

3.2.4. *Le compartiment eaux de surface*

Les données relatives aux eaux de surfaces correspondent à l'agrégation des données d'analyse des réseaux de mesures des agences de l'eau françaises. L'ensemble des données décrit les concentrations de plus de 200 polluants (HAP, PCB, dioxine, métaux, pesticide) sur les principaux cours d'eau français. Les différentes analyses utilisées pour cette étude correspondent à différentes campagnes de mesure à des conditions hydrologiques différentes entre 2005 et 2007 au niveau de la colonne d'eau et du compartiment sédimentaire. A partir des équations de transfert préconisées par l'US EPA, des valeurs de concentration dans la colonne d'eau et dans les sédiments, des peuplements piscicoles décrits par la base de données MAP (Milieu Aquatique et Piscicole, ONEMA) et de la distance au cours d'eau est construit un indicateur d'exposition des populations via la consommation de poissons d'eau douce.

3.3. *Evaluation des transferts environnementaux*

Pour calculer les concentrations en substances chimiques dans les différentes matrices d'exposition, des méthodologies proposées par l'US EPA sont classiquement utilisées. Des coefficients de transfert permettent d'évaluer les concentrations d'un milieu aval à partir des concentrations d'un (ou plusieurs) milieu amont ou source sous l'hypothèse que l'état stationnaire est atteint :

$$C(x,y)_{exposition} = f\,(FT, C(x,y)_{milieu})$$

Avec $C(x,y)_{exposition}$: concentration dans la matrice d'exposition
$C(x,y)_{milieu}$: concentration dans le milieu environnemental
FT : Facteur de transfert.

Les facteurs de transfert (encore appelés, selon les cas, coefficients de biotransfert, facteurs de bioconcentration ou facteur de bioaccumulation) sont des coefficients spécifiques aux substances et aux types de transfert qui décrivent l'affinité physico-chimique des contaminants pour les médias d'exposition et environnementaux.

Par exemple, la multiplication du coefficient de transfert d'un polluant vers le lait par la quantité de polluant ingéré par la vache permet d'estimer la concentration de ce polluant dans le lait. Pour les éléments traces métalliques (ETM), le choix des coefficients de transfert provient d'une large base de données recensant un grand nombre des études relatives aux calculs de ces coefficients et renseignant les conditions dans lesquelles les expérimentations ont été menées. Pour les polluants organiques persistants (POP), le choix provient de la littérature selon la pertinence et les conditions de l'étude.

3.4. *Choix des voies d'exposition*

Les voies d'exposition retenues pour l'étude sont l'inhalation (air extérieur) et l'ingestion (sol, eau et consommation alimentaire). Ainsi les concentrations dans les végétaux (légume feuille, légume racine, légume tige et fruit) sont évaluées à partir des concentrations dans le sol et des dépôts atmosphériques ; les concentrations dans les produits d'origine animal (viande, œuf, lait) à partir des compartiments végétal (ensilage, fourrage et céréale) et sol ; les concentrations dans le poisson d'eau douce à partir de la concentration dans l'eau ou les sédiments. Ces transferts permettent de calculer l'exposition des populations liée à l'alimentation animale et végétale. L'ingestion de sol, d'eau de consommation, l'inhalation de gaz et de poussières sont estimés directement à partir des données d'entrée du modèle. L'architecture souple du modèle facilite l'ajout de modules complémentaires ou l'utilisation de nouvelles équations pouvant décrire les phénomènes de manière plus fine. De nouveaux milieux d'exposition (air intérieur, eau de baignade, …) et de nouveaux mécanismes (érosion et lixiviation du sol, …) pourront être pris en compte au cours de futurs développements.

3.5. *Caractérisation des populations cibles*

Des scénarios d'exposition sont construits de manière à caractériser des groupes de référent (classe d'âge, localisation, comportement alimentaire, durée d'exposition…) et de quantifier leur exposition aux différents polluants. Pour cette étude, six classes d'âge ont été définies (de 0 à 1 an, de 1 à 2 ans, de 2 à 7 ans, de 7 à 12 ans, de 12 à 17 ans et de 17 à 60 ans). Les données morphologiques et alimentaires de l'enquête INCA (Volatier, 2000) agrégées par classe d'âge et par ZEAT proviennent de la base CIBLEX (ADEME, 2003).. Dans la simulation, les populations sont exposées pour une durée de 30 ans. Les données de teneurs en contaminants dans les aliments issus des circuits commerciaux sont données par les études de l'AFSSA-DGAL-INRA (AFSSA, 2004). Pour l'ingestion, quatre scénarios de consommation d'aliments autoproduits ont été définis, basés sur une étude de l'INSEE (Bertrand, 1993) en fonction du nombre d'habitants de la commune (recensement de la population française de 1999) sur laquelle est localisée la maille. Cette base de données géoréférencées permet d'évaluer le degré de ruralité des populations selon l'espace qu'ils occupent et de leur attribuer des facteurs d'autoconsommation par produit.

3.6. *Calcul de la dose d'exposition*

La dose journalière d'exposition représente les quantités de substances chimiques ingérées et/ou inhalées par un individu issu d'une exposition à un compartiment environnemental contaminé (eau, air, sol, nourriture). Les combinaisons des voies d'expositions potentielles par lesquelles les individus peuvent être exposés constituent le scénario d'exposition. Les populations peuvent être exposées aux substances via de multiples sources, soit directes, soit indirectes. L'estimation de l'exposition consiste à évaluer, sur une période donnée, la quantité d'agent chimique

qui entre en contact avec l'organisme. Différentes catégories d'individus peuvent être prises en compte, chacune étant caractérisée par des propriétés physiologiques et des comportements alimentaires différents. La dose d'exposition journalière est calculée selon l'équation suivante :

$$DJE_{i,j,k}(x,y) = \sum_k \frac{(Cp_{i,k} \times f_{ACk} + Cc_{i,k} \times (1 - f_{ACk}) \times Q_{j,k} \times FE_{j,k}}{PC_j}$$

avec $DJE_{i,j}(x,y)$: Dose journalière d'exposition pour une substance i, pour la classe d'âge j et la matrice k ($mg.kg^{-1}.j^{-1}$),
$Q_{j,k}$: Quantité de matrice ingéré ou inhalé k consommé par la classe d'âge j par jour ($kg.j^{-1}$),
$Cp_{i,k}$: Concentration en substance i dans la matrice d'exposition k issue de production locale ($mg.kg^{-1}$),
$Cc_{i,k}$: Concentration en substance i dans la matrice d'exposition k issue de production non locale ($mg.kg^{-1}$),
f_{ACk}: Fraction de matrice d'exposition k provenant de la zone d'exposition (facteur d'autoconsommation),
$FE_{j,k}$: Fréquence d'exposition ($jours.an^{-1}$),
$DE_{j,k}$: Durée totale d'exposition (années),
PCj: Poids corporel moyen de la classe de population j sur la période d'exposition.

3.7. Construction de l'indicateur de risque

L'indicateur de risque est construit en confrontant la dose d'exposition et la valeur toxicologique de référence (VTR) propre à chacune des substances reconnues comme traceur. Pour l'inhalation, les concentrations dans l'air sont directement comparées aux VTR pour chacune des classes d'âges.
La caractérisation des risques est différente selon que l'effet est de type déterministe (effet systémique avec un effet de seuil) ou de type probabiliste (effet cancérogène sans effet de seuil).

L'évaluation des risques sanitaires pour les substances cancérigènes utilise l'Excès de Risque Individuel (ERI) pour estimer la probabilité supplémentaire, par rapport à un sujet non exposé, qu'un individu développe au cours de sa vie entière l'effet associé à une exposition à un agent.

$$ERI_i(x,y) = ERU_i \times \frac{\sum_j DJE_{i,j}(x,y) \times T_j}{D}$$

avec $ERI_i(x,y)$: Excès de Risque Individuel,
ERU_i : Excès de Risque Unitaire pour la substance i considérée ($mg.kg^{-1}.j^{-1}$),
$DJE_{i,j}(x,y)$: Dose journalière d'exposition pour une substance i de la classe d'âge j ($mg.kg^{-1}.j^{-1}$),
T_j : Durée d'exposition associée à la classe d'âge j (années),

D : Période de temps pendant laquelle l'individu peut développer l'effet (années).

Pour les substances ayant des effets à seuil (apparition de l'effet au-delà d'une certaine dose d'exposition), on calcule des indices de risque (rapport entre la dose et la valeur toxicologique) :

$$IR_{i,j}(x,y) = \frac{DJE_{i,j}(x,y)}{DJT_i}$$

avec $IR_{j,i}$: Indice de risque pour la classe d'âge j et pour la substance i,
$DJE_{i,j}(x,y)$: Dose journalière d'exposition pour une substance i de la classe d'âge j ($mg.kg^{-1}.j^{-1}$) ou ($mg.m^{-3}$),
DJT_i : Dose journalière tolérable pour la substance i considérée $(mg.kg^{-1}.j^{-1})^{-1}$ ou $(mg.m^{-3})^{-1}$.

Les valeurs toxicologiques de référence (VTR) utilisées ont été choisies selon les recommandations de l'INERIS décrites dans les manuels méthodologiques (INERIS, 2009). Cet ouvrage rapporte la mise à jour des VTR des substances disponibles dans les bases de données des 6 organismes et agences reconnues : OMS, US EPA, ATSDR, Santé Canada, RIVM, OEHHA.

La somme des excès de risque individuel et la somme des indices de risques liés aux différentes voies et aux différentes substances ont été calculées pour chaque maille de la zone considérée selon :

$$SIR_j(x,y) = \sum_i IR_{i,j}(x,y) \qquad SERI(x,y) = \sum_i ERI_i(x,y)$$

avec ERI_i (x,y) : Excès de Risque Individuel liés à l'exposition de la substance i,
$IR_{j,i}$ (x,y) : Indice de risque pour la classe d'âge j et pour la substance i,
SERI (x,y) : Somme des Excès de Risque Individuel liés à l'exposition de l'ensemble des substances considérées pour l'étude,
SIR_j (x,y) : Indice de risque pour la classe d'âge j liés à l'exposition de l'ensemble des substances considérées pour l'étude .

D'un point de vue toxicologique, les effets sont considérés additifs pour des substances produisant un même effet sur un organe ou sur un système d'organe par un même mécanisme d'action. Cependant, dans le cadre d'une construction d'indicateur sanitaire globalisant, l'approche de sommation ci-dessus est couramment utilisée (Morra et al., 2006 ; Kao et al., 2006).

4. Résultats

Un SIG est utilisé pour cartographier l'indicateur de risque aux substances avec et sans seuil sur le territoire français. Des méthodes statistiques (Local Moran) sont utilisées après lissage pour identifier les zones significatives de surexposition des populations aux polluants chimiques. Les types de polluant, les sources de contamination, les voies d'exposition, les classes de population, les milieux et les matrices environnementales, déterminant de ces zones, sont caractérisés et hiérarchisés. La procédure est complétée par une simulation de Monte Carlo

permettant d'évaluer la dépendance des valeurs de risque aux incertitudes et à la variabilité des données d'entrée. L'outil peut ainsi fournir des distributions de probabilité permettant d'afficher les cartes de risque sous forme d'isolignes de percentiles.

5. Conclusion et perspective

Dans les zones géographiques de surexposition identifiées, des campagnes de mesures environnementales (compartiments environnementaux et médias d'exposition) seront conduites pour confronter les résultats du modèle aux données de terrain. Cette étude permettra de cartographier les disparités géographiques environnementales en France. Dans une seconde étape, celles-ci seront confrontées aux disparités de répartition de mortalité par cancer, construites par ailleurs régionalement par les Observatoires Régionaux de la Santé (ORS) dans le cadre du projet CIRCE (Cancer Inégalités Régionales Cantonales et Environnement). Le SIG ainsi construit pourra constituer la base d'une plateforme où les données d'émission à la source, de mesures environnementales et de santé seront associées.

6. Bibliographie

ADEME (2003), Base de données de paramètres descriptifs de la population française au voisinage d'un site pollué, 2003, ADEME/IRSN.

Axelrad D., Morello-Frosch R., Woodruff T., Caldwell J., « Assessment of estimated 1990 air toxics concentrations in urban areas in the United States », *Environmental Science & Policy*, vol. 2, 1999, p. 397-411.

Bard D., « Principes de l'évaluation des risques pour la santé publique liés aux expositions environnementales », *Epidemiol. Santé Publique*, vol. 43, 1995, p. 423-431.

Bellander T., Berglind N., Gustavsson P., Jonson T., Nyberg F., Pershagen G., Jarup L., «Using geographic information systems to assess individual historical exposure to air pollution from traffic and house heating in Stockholm », *Environmental Health Perspectives,* vol. 109, n° 6, 2001, p. 633-639.

Bertrand M., *Consommation et lieux d'achat des produits alimentaires en 1991*. Collection INSEE Résultats, 1993, Paris.

Beyea J., « Geographic exposure modeling: a valuable extension of geographic information systems for use in environmental epidemiology », *Environmental Health Perspectives,* vol. 107, n° 1, 1999, p. 181-190.

Bien J. D., Meer J., Rulkens W.H., Rijnaarts H.H.M., « A GIS-based approach for the long-term prediction of human health risks at contaminated sites » *Environmental Modeling and Assessment,* vol. 9, n° 4, 2005, p. 221-226.

Bonnard, R., 2003, Evaluation de l'impact sur la santé des rejets atmosphériques des tranches charbon d'une grande installation de combustion - Partie 2 : Exposition par voies indirectes. DRC-03-45956/ERSA-RBn, INERIS, Verneuil en Halatte, France.

Briggs, D.J., de Hoogh C., Gulliver J., Wills J., Elliott P., Kingham S., Smallbone K., « A regression-based method for mapping traffic-related air pollution: application and testing in four contrasting urban environments », *The Science of The Total Environment,* vol. 253, n° 1-3, 2000, p. 151-167.

Davezac H, Grandguillot G., Robin A., Saout C., *L'eau potable en France 2005-2006*, Ministère de la Santé, de la Jeunesse, des Sports et de la Vie associative, 2008, Paris.

Hough R., Breward N., Young S., Crout N., Tye A., Moir A., Thornton L., « Assessing Potential Risk of Heavy Metal Exposure from consumption of Home-Produced Vegetables by Urban Populations », *Environmental Health Perspectives*, vol. 112, n° 2, 2004, p. 215-221.

INERIS (2009), Point sur les Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR). mars 2009, Référence : INERIS- DRC-08-94380-11776C.

INRA-DGAL-AFSSA (2004), Etude de l'alimentation totale française, INRA-DGAL-AFSSA, Mycotoxines, minéraux et éléments traces, 2004, Coord. Leblanc J.C.

Jacquez G., Greiling D., « Local clustering in breast, lung and colorectal cancer in Long Island, New York » *International Journal of Health Geographics*, vol. 2, n° 1, 2003, p 3.

Jolivet C., Boulonne L., Ratié C., 2006, « Manuel du Réseau de Mesure de la Qualité des Sols », Edition 2006, Unité InfoSol, INRA Orléans, France, 190p.

Kao W., Ma H., Wang L., Chang-Chien G., « Site-specific health risk assessment of dioxins and furans in an industrial region with numerous emission sources » *Journal of Hazardous Materials,*vol. 145, 2006, p. 471-481.

Meliker J., Slotnick M., AvRuskin G., Kaufmann A., Fedewa S., Goovaerts P, Jacquez G., Nriagu J. « Individual lifetime exposure to inorganic arsenic using a Space-Time Information System » *Int Arch Occup Environ Health*, Vol. 80, 2007, p. 184-197.

Morra P., Bagli S., Spadoni G., « The analysis of human health risk with a detailed procedure operating in a GIS environment » Environment International, vol. 32, 2006, p. 444-454.

NRC (1983). *Risk assessment in the federal government. Managing the process*, Washington. D.C, National Academy of Science. 191 pages.

NRC (1994), *Science and judgement in risk assessment*, Washington, National Academy Press, 1994, 651 pages.

Nuckols J.R., Ward M.H., Jarup L., « Using geographic information systems for exposure assessment in environmental epidemiology studies », *Environmental Health Perspectives*, vol. 112, n° 9, 2004, p. 1007-1015.

US-EPA, HHRAP : Human Health Risk Assessment Protocol for hazardous waste combustion facilities, Peer review draft, Office of Solid Waste, 1998, EPA/530/0-98/001A.

US-EPA, NCEA, MPE : The methodology for assessing Health Risks associated with Multiple Pathways of Exposure to combustor, 1998, EPA/600/R-98/137.

Vautard R., Beekmann M., Roux J., Gombert D., « Validation of a hybrid forecasting system for the ozone concentrations over the Paris area », *Atmos. Environ.*, vol. 35, 2001, p. 2449-2461.

Verkasalo P., Kokki E. Pukkala E., Vartiainen T., Kiviranta H., Penttinen A., Pekkanen J., « Cancer near a polluted river in Finland », *Environmental Health Perspectives*, vol. 112, n° 9, 2004, p. 1026-1031.

Volatier (2000), *Enquête INCA individuelle et nationale sur les consommations alimentaires*, Editions Technique & Documentation, ISBN : 2-7430-0426-6, 2000.

Woodruff T. J., Caldwell J., Morello-Frosch R., Rosenbaum A., « Public Health Implications of 1990 Air Toxics Concentrations across the United States », *Environmental Health Perspectives*, vol. 106, n° 5, 1998, p. 245-251.