

INERIS

références

EXPOSITION
ENVIRONNEMENTALE
ET VULNÉRABILITÉ
DES POPULATIONS
OCTOBRE 2014



les inégalités environnementales sur les territoires

INERIS

références

EXPOSITION
ENVIRONNEMENTALE
ET VULNÉRABILITÉ
DES POPULATIONS
OCTOBRE 2014

**les inégalités
environnementales
sur les territoires**

SOMMAIRE

INERIS RÉFÉRENCES LES INÉGALITÉS ENVIRONNEMENTALES SUR LES TERRITOIRES

02 ♦ RÉSUMÉ NON TECHNIQUE

Croiser exposition et données
populationnelles

04 ♦ INTRODUCTION

07 ♦ CONTEXTE ACTUEL

Répondre aux politiques publiques

11 ♦ DE QUOI PARLE-T-ON ?

Construire des méthodes de référence

12 ♦ LES ATTENTES SOCIÉTALES

Impliquer les parties prenantes

14 ♦ LES OUTILS DISPONIBLES AUJOURD'HUI

Capitaliser sur l'évaluation
des risques sanitaires

18 ♦ LA DÉMARCHE PRATIQUE ET LES DÉVELOPPEMENTS

Utiliser les Systèmes
d'information géographique

21 ♦ PERSPECTIVES

28 ♦ LES AXES DE RECHERCHE DE L'INERIS

Coupler exposition multimédia
et spatialisation

30 ♦ CONCLUSION

Adopter des solutions pragmatiques
déclinables sur les territoires

32 ♦ PRÉCONISATIONS DE LA CORE

33 ♦ ANNEXES

Annexe 1 : Clés de lecture des cartes d'exposition

Annexe 2 : Deux démarches opérationnelles
en France : PLAINE et EQUIT'AREA

Annexe 3 : Projets de recherche en cours
ou récents impliquant PLAINE

Annexe 4 : Feuille de route de la recherche
sur les inégalités environnementales à l'INERIS
à l'horizon 2020

Annexe 5 : Publications et liens utiles

L'exigence de justice environnementale conduit les pouvoirs publics à prendre en compte, dans leur politique, la réduction des inégalités environnementales sur les territoires. En France, l'action gouvernementale s'exprime à travers les Plans Nationaux Santé Environnement, outils de programmation et de planification pour la mise en place d'actions concrètes et la prise en compte de la santé environnementale dans l'ensemble des politiques publiques. La réduction des inégalités environnementales se décline aussi dans le cadre des Plans Régionaux Santé Environnement.

Les populations ne sont pas égales face aux pollutions, nuisances et risques environnementaux. Cette inégalité environnementale se vérifie à différentes échelles (globale, régionale, locale) et s'appréhende par l'intégration de données de natures variées sur la contamination éventuelle de l'air, l'eau, les sols et l'alimentation. À la potentielle surexposition aux substances chimiques sur un territoire, peuvent s'ajouter celles liées aux nuisances, aux facteurs physiques ou microbiologiques. Enfin, à travers les mécanismes de surexposition et de vulnérabilité, les populations défavorisées pourraient être plus fortement impactées par les effets sanitaires liés aux facteurs de risque environnementaux. Bien que cette hypothèse mérite d'être approfondie, l'étude du lien entre santé et environnement implique de considérer les facteurs sociaux comme des variables connexes à l'exposition environnementale.

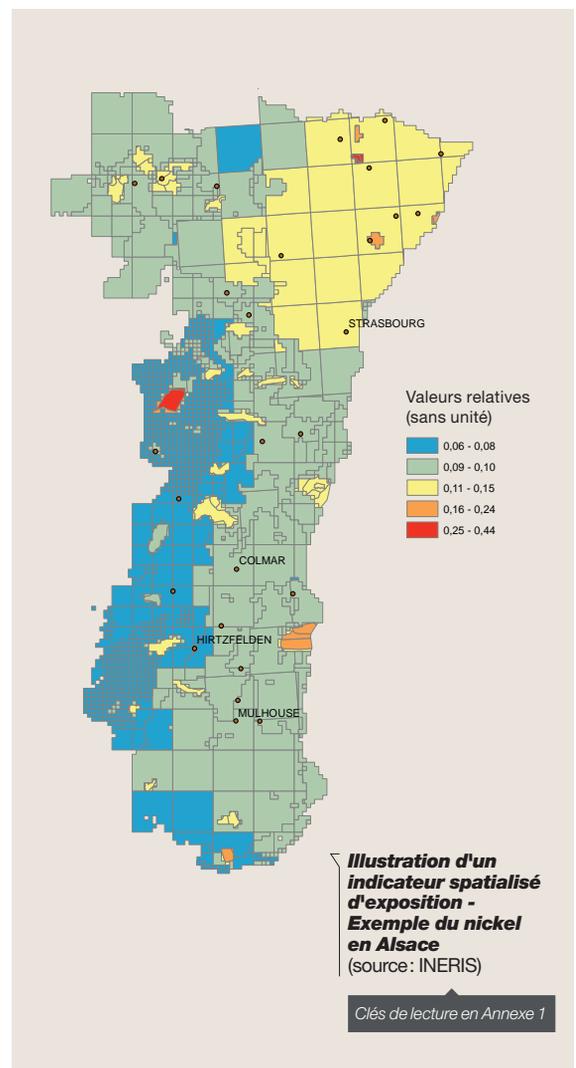
La prise en compte des inégalités environnementales dans les politiques publiques nécessite au préalable la construction d'outils opérationnels de diagnostic. Ces outils doivent permettre d'intégrer la complexité des interactions entre les variables multiples à considérer et le grand nombre d'informations traitées. Les enquêtes de perception des risques montrent que les attentes des populations surexposées et vulnérables sont fortes. Elles portent principalement sur la nécessité d'une écoute accrue et de la prise en compte des interrogations de la société pour mieux identifier les risques. Elles ne remettent pas en cause le rôle joué par les experts et les pouvoirs publics dans l'instruction détaillée des questions techniques. Par ailleurs, qu'il s'agisse d'indicateurs ou de cartographies, les informations doivent être accessibles au plus grand nombre pour favoriser l'action à l'échelle individuelle. En effet, à côté des inégalités liées au territoire, le comportement et le mode de vie sont aussi des facteurs importants.

L'INERIS a inscrit l'évaluation des inégalités environnementales comme une priorité de son contrat d'objectifs 2011-2015. L'Institut s'intéresse à la représentation intégrée et spatialisée des expositions et du risque sanitaire. Cette dernière fait appel à deux logiques qui se superposent : le cumul multisource et multimilieu des facteurs d'exposition et la spatialisation qui permet de cartographier, sur un territoire, les indicateurs intégrés d'exposition environnementale et d'autres indicateurs qui caractérisent les populations (état de santé, modes et niveaux de vie etc.). L'innovation consiste à coupler et intégrer des outils et méthodes préexistants pour les mettre en relation et donner accès à une évaluation des risques sanitaires flexible, transparente, adaptable et déclinable aux différentes échelles du territoire. Ainsi, l'Institut a développé la Plate-forme d'analyse des inégalités environnementales (PLAINE). Les outils de modélisation de l'exposition sont superposés à des Systèmes d'information géographique et alimentés par des données spatialisées. PLAINE constitue d'ores et déjà un outil opérationnel qui a permis d'élaborer un premier atlas régional des inégalités environnementales intégrant l'exposition à quatre métaux (cadmium, plomb, nickel et chrome). Des travaux plus approfondis dans certaines régions ont aussi permis aux pouvoirs publics de sélectionner des zones d'action immédiate et des zones d'investigations sanitaires et sociales. Enfin, PLAINE est utilisée dans des programmes de recherche.

Les développements se poursuivent pour s'assurer de la représentativité et de la pertinence des données ainsi que pour maîtriser les échelles d'analyse spatiale. Parmi les perspectives, on retient l'intégration et la construction de nouvelles données spatiales. Elles reposent sur la mesure ou la modélisation des concentrations en contaminants dans les milieux environnementaux ou directement chez l'homme, ce qui permettra de faire le lien avec la problématique des substances émergentes. De nouvelles méthodes d'agrégation des voies d'exposition devraient améliorer les indicateurs intégrés afin qu'ils rendent mieux compte de la réalité biologique des expositions environnementales suspectées d'avoir un lien avec la santé humaine : c'est le concept d'exposome. En parallèle, le développement des techniques de spatialisation contribuera à la réduction des incertitudes sur les cartes et les indicateurs, ce qui permettra d'améliorer l'efficacité des mesures de gestion. Enfin,

l'INERIS poursuit avec ses partenaires le développement de méthodes d'analyse des relations entre exposition, défaveur sociale et état de santé des populations.

L'harmonisation des méthodes et outils ainsi que le partage des données et des indicateurs au niveau national sont un pré-requis pour développer des démarches opérationnelles cohérentes sur l'ensemble du territoire. Des recommandations devraient être formulées en ce sens dans le 3^e Plan National Santé Environnement. ■■■■



L'Organisation mondiale de la santé (OMS) fait le constat que la réduction des inégalités de santé sur un territoire implique l'identification et la caractérisation des inégalités d'exposition, interopérables avec les facteurs sociaux, pour identifier et hiérarchiser les actions de prévention.

INÉGALITÉS ENVIRONNEMENTALES ET POLITIQUES PUBLIQUES

La notion d'inégalité environnementale, introduite en France au début des années 2000, fait écho à celle de justice environnementale apparue aux États-Unis au début des années 80, reprise en Angleterre dans la seconde moitié des années 90, et aujourd'hui partagée mondialement.

En France, l'exigence de justice environnementale est renforcée dès 2005 par la Charte de l'environnement. Les Plans Nationaux Santé Environnement (PNSE) constituent un outil de programmation et de planification de l'action gouvernementale à travers la mise en place d'actions concrètes et la prise en compte de la santé environnementale dans l'ensemble des politiques publiques. Ainsi, dans le 2^e PNSE (2009-2013), les actions ont été développées selon deux axes structurants :

- ◆ réduire les expositions responsables de pathologies à fort impact sur la santé ;
- ◆ réduire les inégalités environnementales.

Une des actions pilotées par la Direction générale de la prévention des risques (DGPR, ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie) vise notamment à identifier et gérer les zones géographiques pour lesquelles on observe une surexposition à des substances toxiques, appelées également « points noirs environnementaux ». Au regard des enjeux de santé environnementale spécifiques sur son territoire, chaque région a sélectionné les actions qui répondent le mieux aux préoccupations majeures de la population locale, en tenant compte des priorités régionales de santé publique, notamment en matière de réduction des inégalités de santé. Cette analyse a abouti à l'élaboration de Plans Régionaux Santé Environnement (PRSE) dans lesquels la thématique des

inégalités environnementales a été déclinée. L'Inspection générale des affaires sociales (IGAS) a évalué en 2011 la mise en œuvre par les Agences régionales de santé des politiques santé-environnement. Les travaux ont abouti à des recommandations visant à une meilleure adéquation des enjeux santé-environnement sur les territoires avec les moyens organisationnels, structurels et financiers très hétérogènes d'une région à une autre.

Le Haut Conseil de la santé publique, dans son évaluation du 2^e PNSE, recommande de poursuivre les travaux engagés notamment en analysant les pratiques environnementales d'autres pays, en élaborant un panel réduit d'indicateurs pertinents, en centralisant et coordonnant la collecte des informations, et en développant un outil de suivi commun au PNSE et aux PRSE. Ces recommandations sont discutées dans le cadre de l'élaboration du 3^e PNSE.

+ D'INFO

Le second Plan National Santé Environnement, rapport du 10 juillet 2009 : <http://www.sante.gouv.fr/deuxieme-plan-national-sante-environnement-pnse2-2009-2013.html>

L'évaluation de l'IGAS, rapport de décembre 2011 : <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/var/storage/rapports-publics/124000044/0000.pdf>

L'évaluation du 2^e PNSE, rapport du Haut Conseil de la santé publique du 19 septembre 2013 : <http://www.hcsp.fr/explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=375>

FOCUS SUR...

L'ÉMERGENCE DU SUJET DES INÉGALITÉS ENVIRONNEMENTALES

Le mouvement pour la justice environnementale, né aux États-Unis dans les années 1980, est le nom donné aux mobilisations de populations défavorisées contre des décisions et pratiques, industrielles comme gouvernementales, à l'origine de nuisances environnementales et sanitaires parfois dramatiques.

► Le scandale de Love Canal est particulièrement emblématique de l'origine de ce mouvement : des habitations et écoles furent construites sur un sol contaminé par des déchets toxiques du fait de la pression foncière induite par le succès touristique des chutes du Niagara. Des problèmes de santé importants apparurent dans ce nouveau quartier habité par des populations pauvres, principalement ouvrières. Le scandale fut révélé à la fin des années 1970 et donna lieu à une longue bataille juridique à l'issue de laquelle l'entreprise qui avait cédé son terrain à la mairie fut condamnée. Le quartier a alors été évacué, les bâtiments rasés, pour depuis laisser place à une zone interdite. Cet exemple illustre le concept innovant qui consista à penser l'environnement non seulement en termes de conservation, mais aussi en termes de droits et de justice. L'idée centrale était que tous les citoyens ont droit de la même façon à un environnement sain, étant considéré comme injuste toute structure ou processus qui soumet spécifiquement les tranches vulnérables de la population aux risques environnementaux, du point de vue social et économique. Cette dégradation, quand elle est inévitable, doit être répartie de manière équitable entre les différents secteurs de la société. Dans ce sens, le mouvement contre la destruction et la dégradation environnementale a été considéré comme un espace de lutte démocratique et d'affirmation de l'universalité des droits humains. La justice environnementale apparaît alors comme un élément important du développement socio-économique. Par ailleurs, si les questions environnementales sont souvent perçues comme concernant la protection de la nature et la préservation d'espaces naturels, une telle conception de l'environnement est réductrice. Le mouvement de justice environnementale conduit à inclure dans la définition de l'environnement non seulement les questions d'épuisement ou de surexploitation des ressources naturelles, ainsi que les pollutions

diverses, mais aussi les effets sociaux de ces questions, notamment les problèmes de santé⁽¹⁾. Au-delà, la justice environnementale peut aussi concerner la répartition des contraintes imposées par les politiques environnementales visant à remédier à la situation. La problématique se pose de l'échelle locale à l'échelle globale, avec des atteintes à la nature de la plus visible à la plus invisible « à l'œil nu » et des modèles de réparation différents. Plus les atteintes à la nature sont difficiles à appréhender, par exemple l'impact des changements climatiques, plus elles nécessitent des expertises techniques et scientifiques complexes comme celles produites par le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), donnant lieu à controverses scientifiques et débats publics⁽²⁾. Le débat scientifique et démocratique sur la justice environnementale et sur l'articulation des politiques sociales et environnementales ne fait que commencer en Europe. Les pays de l'Union européenne (UE) sont amenés à se préoccuper de plus en plus de l'environnement dans lequel vivent leurs citoyens (travail, résidence, loisirs) dès lors que celui-ci détermine en partie les facteurs affectant leur santé et plus largement leur bien-être. Il s'agit donc pour les pays membres et les instances de l'UE à la fois d'adopter et d'adapter l'exigence de justice environnementale⁽³⁾. ■■■

note 1_ Catherine Larrère, « La justice environnementale », Multitudes, 2009/2, n° 36, pages 156-162.

note 2_ Bruno Latour, Politiques de la nature-Comment faire entrer les sciences en démocratie, Paris, La Découverte, 1999.

note 3_ Éloi Laurent, « Pour une justice environnementale européenne. Le cas de la précarité énergétique », Revue de l'OFCE/Débats et politiques, 120, 2011.

L'INERIS a inscrit l'évaluation des inégalités environnementales comme une priorité de son contrat d'objectifs 2011-2015 et travaille en appui aux pouvoirs publics à la représentation intégrée et spatialisée des expositions et du risque sanitaire.

L'objectif premier des travaux de l'Institut sur les inégalités environnementales est de relier les trois éléments de l'exposition environnementale et de les intégrer à différentes échelles de représentation spatiale : (1) les sources émettrices ; (2) les milieux et voies d'exposition qui servent de vecteurs ; (3) les groupes humains qui peuvent être exposés. L'information peut être obtenue (ou construite) à partir de données très hétérogènes d'émissions à la source, de concentrations dans les milieux environnementaux et de populations (modes de consommation etc.).

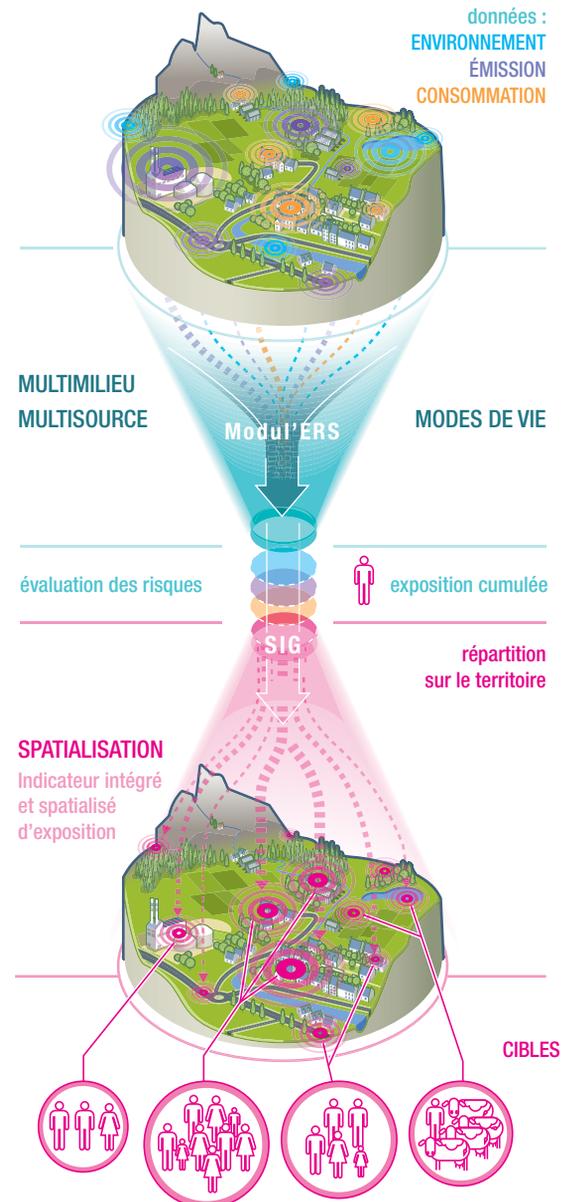
L'INERIS développe des outils et des méthodes innovants en vue d'approcher au mieux la réalité des transferts environnementaux et des (sur)expositions potentielles. Une plate-forme interne permettant de coupler ces outils à une approche spatiale de l'évaluation du risque et des impacts (quelle que soit l'échelle), dénommée PLAINE, est ainsi en cours d'élaboration. Il s'agit aussi de proposer des indicateurs intégrés d'exposition environnementale, des méthodes permettant de les agréger voire de les coupler avec des données de natures différentes. Enfin, il s'agit de fournir des clés d'aide à l'interprétation et à la décision destinées aux pouvoirs publics pour identifier les modes d'action les plus efficaces de réduction des expositions et des risques pour la santé humaine et assurer leur suivi.

Dans le cadre de ses travaux, l'INERIS intervient à deux niveaux :

- ◆ national, sur l'identification et la hiérarchisation des points noirs environnementaux ;
- ◆ local, sur l'aide à la priorisation de zones d'investigations complémentaires ou d'actions immédiates. ■■■■

INTERFACE ENTRE EXPOSITION MULTIMÉDIA ET SPATIALISATION : DEUX LOGIQUES QUI SE SUPERPOSENT

Il s'agit, d'une part, d'utiliser la méthode d'évaluation des risques pour cumuler les expositions multisource et multimilieu et, d'autre part, de spatialiser sur un territoire des indicateurs intégrés d'exposition environnementale compte tenu de la localisation et du mode de vie des populations.



MODUL'ERS : outil modulaire pour l'évaluation des expositions et des risques développé par l'INERIS, p.16
SIG : Système d'information géographique, p. 18

La prise en compte des inégalités environnementales dans les politiques publiques en Amérique du Nord et en Europe a été à l'origine du développement, ces dix dernières années, de programmes et d'initiatives visant à une meilleure intégration des données environnementales et de santé.

LES INITIATIVES DES PAYS DÉVELOPPÉS

AUX ÉTATS-UNIS

En janvier 2001, la Commission de santé environnementale des États-Unis a proposé la création d'un système de santé publique coordonné pour le suivi et la lutte des effets de la dégradation de l'environnement en vue de réduire les atteintes à la santé. En réponse, le Congrès américain a alloué un financement au Centre de contrôle et de prévention des maladies en vue de développer le programme national de suivi de santé publique environnementale⁽⁴⁾, appelé « Environmental Public Health Tracking » (EPHT). Le but de ce programme est d'établir à l'échelle nationale un réseau de suivi de données sanitaires et environnementales et ainsi fournir les informations nécessaires à l'appui des actions améliorant la santé de la population. Ce réseau regroupe un large éventail de parties prenantes. L'approche s'appuie sur la collecte systématique, l'intégration, l'analyse, l'interprétation et la diffusion de données environnementales, d'expositions et d'effets sanitaires au sein du réseau pour identifier les zones et les populations les plus susceptibles d'être impactées. Le programme a également pour objectif de fournir les informations aux gestionnaires de la santé publique et aux chercheurs permettant d'examiner les relations possibles entre santé et environnement. L'information peut être ainsi utilisée pour conduire les politiques de santé publique dans les différents niveaux administratifs de gestion. L'EPHT se concentre sur l'intégration de données de surveillance médicale et d'indicateurs environnementaux : proximité aux sources d'émission, qualité des compartiments environnementaux (eau, air, sol, etc.) et d'exposition (inhalation et ingestion). À la différence de l'épidémiologie qui a tendance à être rétrospective et plus attachée aux classifications précises des maladies qu'à la caractérisation de l'exposition et, à la différence de l'évaluation des risques sanitaires qui est prospective et accorde de larges marges de sécurité, l'EPHT vise à relier maladies et indicateurs d'exposition. Pour ce programme, les approches spatiales ont été privilégiées. Ces méthodes permettent de coupler des données de natures

différentes et ainsi d'intégrer à terme le concept d'exposome⁽⁵⁾ qui englobe toutes les expositions environnementales au cours de la vie (incluant celles liées à l'alimentation, au mode de vie et aux sources endogènes), dès la période prénatale.

L'EXPOSOME : COMMENT MIEUX RENDRE COMPTE DE LA RÉALITÉ DES EXPOSITIONS ENVIRONNEMENTALES

La prise en compte des différents niveaux d'exposition de l'homme aux polluants de son environnement présente plusieurs difficultés : les variations dans le temps et l'espace, la complexité liée à la multiplicité des agents environnementaux et l'insuffisance des outils de mesure. Or, sans mesure précise, il n'y a pas d'estimation réelle de la morbidité et de la mortalité liées aux facteurs environnementaux. Dans les pays développés, l'exposition se définit le plus souvent par des doses faibles sur une longue durée : les risques individuels sont donc peu importants et très sensibles aux erreurs statistiques. Les pathologies qui pourraient en découler sont du type chronique et plurifactoriel, et ne se révèlent souvent qu'après des années d'exposition. Le développement de l'épidémiologie moléculaire (analyse de paramètres biologiques dans les cellules, tissus ou fluides corporels) devrait permettre d'obtenir une vision globale et intégrée des expositions aux agents chimiques, physiques et biologiques : c'est la notion d'exposome. Repris de premiers travaux américains, ce concept est décliné en Europe où des projets de recherche dédiés sont actuellement financés par le 7^e programme cadre. L'INERIS contribue à l'un de ces projets (HELIX : <http://www.projecthelix.eu/fr>).

note 4. Mckone TE, Özkaynak RP. Exposure information in environmental health research : Current opportunities and future directions for particulate matter, ozone, and toxic air pollutants. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology* 2009; 19: 30-34.

note 5. Wild CP. Complementing the genome with an 'exposome': the outstanding challenge of environmental exposure measurement in molecular epidemiology. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev.* 2005; 14: 1847-1850; Rappaport SM, Smith MT. Environment and disease risks. *Science* 2010; 330: 460-461.

EN EUROPE

La convention d'Aarhus sur « l'accès à l'information, la participation du public au processus décisionnel et l'accès à la justice en matière d'environnement » a été adoptée le 25 juin 1998. Elle coïncide avec le début de la prise en compte du débat scientifique et démocratique sur la justice environnementale et sur l'articulation des politiques sociales et environnementales en Europe.

La directive européenne 2007/2/CE du 14 mars 2007, dite directive Inspire (INfrastructure for SPatial InfoRmation in the European community), vise à établir une infrastructure d'information géographique dans la Communauté européenne, notamment pour favoriser la protection de l'environnement. Il s'agit d'un ensemble de services d'information disponibles sur Internet, répartis sur les sites web des différents acteurs concernés, et permettant la diffusion et le partage de données géographiques. La directive impose aux autorités publiques, d'une part de rendre ces données accessibles au public en les publiant sur Internet, d'autre part de les partager entre elles.

Le Système européen d'informations sur l'environnement et la santé (ENHIS) intègre, quant à lui, des données et des informations comparables sur les thématiques prioritaires afin d'établir les liens entre conditions environnementales et santé publique en vue d'orienter des politiques publiques.

La Commission européenne s'est également mobilisée via ses programmes-cadres de recherche. Le 5^e programme cadre (1998-2002) a été le premier à dédier une ligne spécifique de financement à la thématique santé environnement, dans laquelle s'inscrivent les inégalités environnementales. Le plan d'action européen sur la stratégie en santé environnement adopté en 2004 a inspiré l'élaboration du 6^e programme cadre de recherche puis du 7^e qui se terminait en 2013.

Depuis le 1^{er} janvier 2014, le programme HORIZON 2020 regroupe les financements de l'Union européenne en matière de recherche et d'innovation et s'articule autour de trois grandes priorités : l'excellence scientifique, la primauté industrielle et les défis sociétaux. La part dédiée à la santé environnementale dans Horizon 2020 est beaucoup plus délicate à identifier : les inégalités environnementales sont en effet en partie intégrées au sein d'un challenge très

large portant sur « santé, changement démographique et bien-être » orienté vers la prévention, la surveillance et le dépistage. L'Union européenne investira, sur l'ensemble du challenge, 1 200 millions d'euros dans les deux premières années du programme (2014-2015). La thématique peut aussi être reliée à d'autres grands défis comme le changement climatique. Il y a un réel besoin d'identifier et de pérenniser les financements de la recherche en santé-environnement et de les articuler avec les alliances et stratégies nationales de recherche.

La répartition inégale de l'exposition des populations aux conditions environnementales (et aux maladies susceptibles d'en découler) est fortement liée à tout un ensemble de déterminants socio-démographiques. Les interventions visant à lutter contre ces inégalités doivent être fondées sur une évaluation de leur ampleur et sur le recensement des groupes de population les plus exposés ou les plus vulnérables aux risques environnementaux. Or, les données sont très rares à ce sujet. C'est pour combler cette lacune, et procéder au suivi des engagements pris lors de la 5^e Conférence ministérielle sur l'environnement et la santé organisée en 2010, que le bureau régional de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) pour l'Europe a effectué en 2012 une évaluation de base de l'ampleur de l'inégalité environnementale dans la région européenne, s'inspirant d'un ensemble de 14 indicateurs d'inégalité. Les principales conclusions indiquent que les inégalités socio-économiques et démographiques en termes d'exposition aux risques sont présentes dans tous les pays, bien qu'elles varient d'un pays à l'autre. Le rapport auquel l'INERIS a contribué passe en revue les inégalités liées au logement, aux accidents et à l'environnement, identifie les lacunes qui doivent encore être comblées en termes de bases factuelles et propose des actions prioritaires à mettre en œuvre.

+ D'INFO

Rapport de l'OMS sur les inégalités de santé-environnementale, 2012 : <http://www.euro.who.int/fr/publications/abstracts/environmental-health-inequalities-in-europe.-assessment-report>

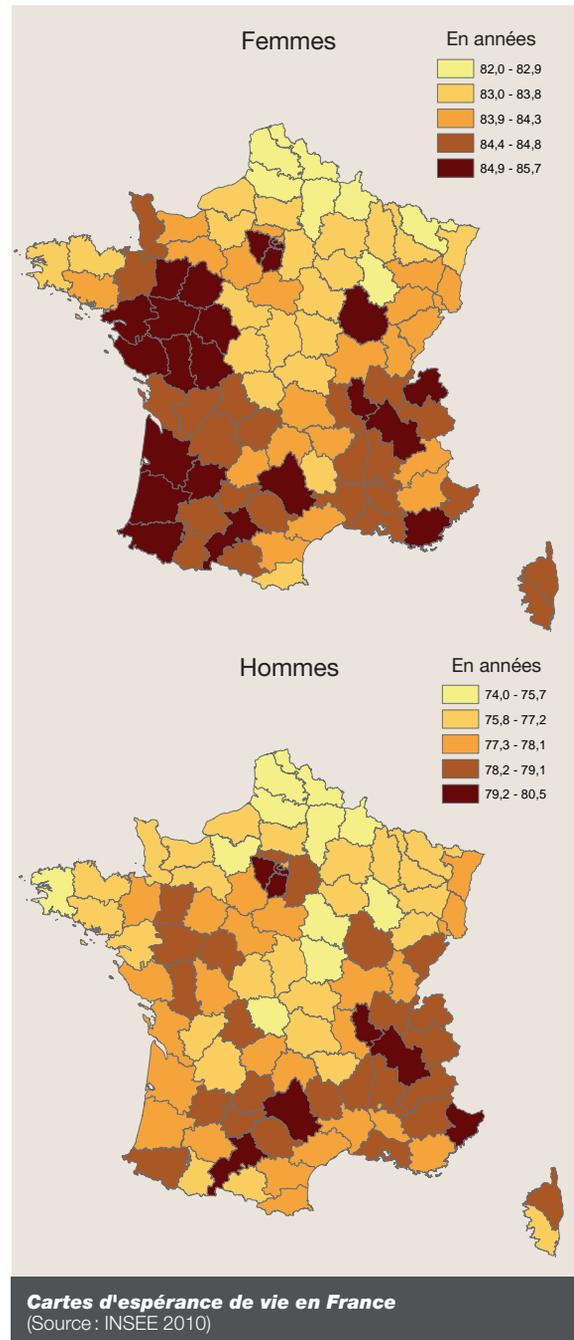
EN FRANCE

La situation sanitaire de la France est marquée par un paradoxe souligné par l'OMS : une espérance de vie parmi les plus élevées d'Europe, mais des inégalités de santé sur les territoires parmi les plus importantes. L'âge, le sexe, les facteurs génétiques, comme les comportements individuels, ne suffisent pas à expliquer les différences observées. Les conditions de vie, de travail, la qualité de l'environnement et, plus généralement, du cadre de vie, ont un impact important sur la fréquence des comportements « à risque », sur l'accès à la prévention, au diagnostic et aux soins.

C'est de ce constat que part la réflexion conjointe du Secrétariat général des ministères chargés des affaires sociales (SGMAS) et du Commissariat général au développement durable (CGDD) sur les inégalités territoriales. « S'il est indispensable de mieux savoir pour mieux agir, il faut aussi et sans attendre améliorer l'action avec les connaissances et les outils que l'on a, car bien des situations relèvent de la prévention. La diffusion et l'appropriation des outils spatialisés les plus récents visant à mieux caractériser le cumul des pollutions et nuisances restent aujourd'hui un enjeu de la lutte contre la réduction des inégalités territoriales, sociales et environnementales de santé, de même que la construction de nouvelles solidarités entre services et entre territoires. » ■■■■

+ D'INFO

Inégalités territoriales, environnementales et sociales de santé – Regards croisés en régions : de l'observation à l'action, Rapport du SGMAS et du CGDD, janvier 2014 : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Inegalites-territoriales,37592.html>



FOCUS SUR...

LES CONFÉRENCES ENVIRONNEMENTALES ET LA STRATÉGIE NATIONALE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

► En France, la Conférence environnementale de 2012 a consacré une table ronde à la prévention des risques sanitaires et environnementaux. La feuille de route gouvernementale qui en est issue reprend le thème des inégalités environnementales dans ses premiers constats et objectifs : « Nos concitoyens, et en particulier les publics sensibles (enfants, femmes enceintes, etc.), ne sont pas exposés de manière équivalente. Les zones où il est observé une surexposition à des substances ou à des agents physiques sont à traiter prioritairement. Le gouvernement luttera contre les inégalités environnementales, qui se cumulent souvent avec les inégalités sociales. » C'est dans ce contexte que le Secrétariat général des ministères chargés des affaires sociales (SGMAS) et le Commissariat général au développement durable (CGDD) ont mené leur réflexion commune sur les travaux engagés dans les régions, traitant du croisement des inégalités territoriales, environnementales et sociales de santé.

Parmi les enjeux majeurs identifiés dans le cadre de la Stratégie nationale de la transition écologique vers un développement durable (SNTEDD 2014-2020 - avant-projet du 20/03/2014) figure la multiplication des risques sanitaires et environnementaux. L'avant-projet souligne que, malgré des actions importantes menées par la France ces dix dernières années, les inégalités environnementales restent insuffisamment prises en compte aujourd'hui dans les politiques publiques. Aussi, la prévention et la réduction des inégalités environnementales, sociales et territoriales constituent l'un des neuf axes transversaux de la SNTEDD. « Malgré les travaux lancés par le

2^e PNSE, il n'existe pas à ce jour de données spatialisées pour l'ensemble des risques ni de méthodologie opérationnelle pour les additionner. L'évaluation des risques encourus par les citoyens, particulièrement exposés aux pollutions, aux ondes et au bruit, n'est pas envisagée de la même manière par les différents acteurs, faute de cadre d'analyse commun. » Le gouvernement a ainsi fixé comme priorité pour l'élaboration du 3^e PNSE la lutte contre les inégalités territoriales environnementales de santé. Dans le cadre de l'avant-projet de la SNTEDD, il est indiqué que « l'identification et le traitement des points noirs d'exposition à des nuisances environnementales » seront poursuivis. Des actions seront proposées pour améliorer le recueil des données environnementales et de santé, leur centralisation, leur disponibilité, leur traitement et leur mise en relation. L'effet cumulatif entre inégalités écologiques et sociales doit être mis en évidence en décloisonnant les sciences environnementales et les sciences sociales. La recherche relative au développement d'outils spatialisés visant à mieux caractériser les inégalités doit être encouragée. Enfin, le recueil de données environnementales, sociales et de santé à l'échelle de l'IRIS (Îlots regroupés pour l'information statistique) doit être amélioré. ■■■■■

+ D'INFO

Avant-projet de la stratégie nationale de transition écologique vers un développement durable 2014-2020, rapport du 20/03/2014 : <http://www.consultations-publiques.developpement-durable.gouv.fr/la-strategie-nationale-de-a354.html>

La prise en compte des inégalités environnementales dans les politiques publiques nécessite la construction d'outils de diagnostic opérationnels pour orienter les mesures de gestion permettant de contrôler ou de réduire les expositions, en vue de garantir un niveau de « dégradation » de l'environnement et de risque non préoccupant.

La notion d'inégalité environnementale a émergé comme levier d'action pour répondre au constat d'inégalités très fortes marquant des individus ou des groupes de populations face aux dégradations de l'environnement. Le travail de Laigle⁽⁶⁾ a défini plusieurs composantes caractéristiques possibles de ces inégalités qui interrogent les liens entre l'environnement et la santé. Il s'agit d'abord d'une inégalité d'exposition à des risques, pollutions et nuisances, en précisant que les nuisances sont relatives entre autres à des cultures et des groupes sociaux. Les inégalités sont liées aux lieux et aux nuisances mais aussi à celles, plus individuelles, qui correspondent à la vulnérabilité des personnes.

L'inégalité environnementale d'exposition exprime l'idée que les populations ne sont pas soumises au même niveau de pollutions, nuisances et risques environnementaux. Cette inégalité est vérifiée à différentes échelles (globale, régionale, locale) et, pour une nuisance donnée, ne s'appréhende pas par l'étude d'un seul milieu, mais par l'intégration de données de natures variées sur l'air, l'eau, les sols et l'alimentation. De plus, les facteurs de risques environnementaux sont multiples. Ainsi, à la potentielle surexposition aux substances chimiques sur un territoire, s'ajoutent celles liées au bruit, aux odeurs, aux facteurs physiques ou microbiologiques, d'origines anthropique ou naturelle.

Le rapport récent de l'OMS Europe déjà évoqué indique que les groupes socio-économiquement défavorisés sont souvent à la fois plus exposés à des nuisances et pollutions environnementales et plus vulnérables aux effets sanitaires qui en résultent. À travers les mécanismes de surexposition et de vulnérabilité, les populations défavorisées pourraient souffrir plus fortement des effets sanitaires de facteurs de risque environnementaux. L'étude du lien entre santé et environnement implique donc de considérer les facteurs sociaux comme des variables connexes à l'exposition environnementale multisource et multimilieu, afin d'interpréter la façon dont les indicateurs se cumulent et interagissent ou non sur un territoire.

Les inégalités sociales et démographiques d'exposition aux dangers environnementaux ont pu être exprimées en

fonction des facteurs susceptibles d'affecter le risque d'être exposé, tels que le revenu, le niveau d'éducation, l'emploi, l'âge, le sexe, etc. ainsi que certains comportements, lieux de vie ou milieux particuliers. Le rapport Ritter⁽⁷⁾ a ainsi montré le caractère géographique et social de ces inégalités en cartographiant les zones de surexposition potentielle caractérisées par l'accumulation d'infrastructures (industriel, transport) implantées dans des zones urbaines sensibles. Toutefois, le postulat que les inégalités en matière de santé environnementale touchent plus souvent les groupes de population défavorisés mérite d'être approfondi et parfois nuancé. L'ampleur des inégalités et leur répartition entre les groupes de population favorisés et défavorisés peuvent être très diverses selon les territoires et les facteurs de risque étudiés. Ces phénomènes restent donc mal connus, et les connaissances sont balbutiantes malgré les efforts de recherche de ces dernières années. ■■■

note 6 Laigle L. « Inégalités et développement urbain, Programme "Politiques territoriales et développement durable" », rapport de recherche pour le PUCA - METATM, 2005.

note 7 « Ritter P. Rapport sur la création des agences régionales de santé (ARS) ». Paris, Ministère de la santé, de la jeunesse et des sports, 2008.

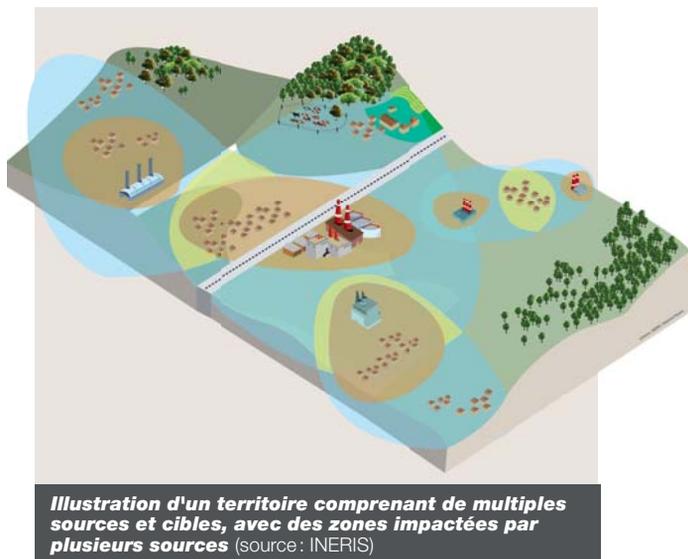


Illustration d'un territoire comprenant de multiples sources et cibles, avec des zones impactées par plusieurs sources (source : INERIS)

La demande sociale de protection de l'environnement est évaluée au niveau national par des enquêtes d'opinion. Au niveau des territoires, la réponse aux attentes de la société sur la question des inégalités environnementales repose sur une meilleure compréhension des parties prenantes pour identifier les facteurs de risque à prendre en compte, au cas par cas et dans le périmètre défini par la demande publique.

LA PERCEPTION DES RISQUES ENVIRONNEMENTAUX

Les attentes de la société s'expriment particulièrement dans les domaines de la pollution de l'air et de l'eau ou encore dans celui du réchauffement de la planète. Conscients des enjeux écologiques mais inquiets face à la crise économique, les Français se montrent toutefois plus réservés que par le passé quand il s'agit de modifier leur mode de vie en adoptant des pratiques respectueuses de l'environnement. Les caractéristiques socio-économiques des ménages ont un effet déterminant sur l'adoption de gestes concrets favorables à l'environnement. Même si les questions environnementales sont placées au deuxième plan de leurs préoccupations, les Français restent vigilants quant aux risques pour leur environnement proche et leur santé. Les baromètres de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur la perception des risques et de la sécurité par les Français montrent que les risques relatifs aux pollutions diffuses (dont air, eau, sols) restent perçus comme présentant des risques élevés. Ils sont caractérisés par des scores très bas en termes de confiance tant dans l'action publique que dans la crédibilité des informations mises à la disposition du public.

MIEUX RÉPONDRE AUX ATTENTES SUR LES QUESTIONS DES INÉGALITÉS

S'agissant plus spécifiquement de la question des inégalités environnementales, qui traite du cumul des pollutions diffuses sur un territoire souvent très corrélé à des enjeux sociaux, les enquêtes montrent que les attentes de la société s'expriment tout particulièrement vis à vis de la capacité des pouvoirs publics à agir en la matière. La cause profonde des inégalités est une répartition non équitable des risques environnementaux et une disparité entre les différents groupes de population qui n'ont pas les mêmes opportunités d'influencer les décisions qui concernent leur environnement proche. Les

études du Commissariat général au développement durable (CGDD) indiquent que cette attente vis-à-vis des pouvoirs publics est très variable selon les typologies d'environnement : très forte dans les grandes agglomérations, en particulier dans les zones urbaines sensibles très exposées aux risques environnementaux liés aux activités industrielles, elle l'est beaucoup moins dans les zones peu peuplées où les personnes expriment plus fréquemment que c'est à elles d'agir. La prise de conscience par chacun du rôle des déterminants environnementaux sur la santé est un enjeu majeur, en particulier pour renforcer la capacité des populations à agir sur ces déterminants.

IMPLIQUER LES PARTIES PRENANTES

La grande complexité du sujet est liée aux interactions entre des facteurs de risque multiples et à la profusion des informations. Bien qu'il existe des méthodes robustes utilisées par les experts pour aider à la sélection des variables pertinentes, les parties prenantes pourraient être davantage impliquées dans le choix des variables au cas par cas, dans un périmètre défini par la demande publique et dans le cadre de structures pluralistes. Dans un tel contexte, la demande d'une expertise plurielle et contradictoire est importante. Les attentes des populations surexposées, vivant dans des zones de cumul d'inégalités environnementales, sociales et sanitaires, et celles des populations particulières et vulnérables sont fortes. Le baromètre 2013 de l'IRSN indique qu'elles portent principalement sur une écoute accrue des interrogations de la société comme source de meilleure identification des risques, tout en laissant aux experts et aux pouvoirs publics l'instruction détaillée des questions techniques. Des instances pluralistes ont d'ores et déjà été préconisées et mises en place dans différents contextes, réglementaires ou non. Une telle implication nécessite un ancrage scientifique a minima qui repose tout particulièrement sur la compréhension de la superposition des deux logiques de cumul puis de spatialisation des facteurs d'exposition.

METTRE À DISPOSITION LES INDICATEURS ET LES CARTOGRAPHIES

Le support de présentation des résultats des études étant principalement cartographique, la communication reste tout particulièrement sensible autour des inégalités. Les enjeux sont importants, et on observe des réticences à la diffusion des cartes liées aux craintes de stigmatisation et aux effets sur la valeur du foncier. A contrario, elles pourraient aussi laisser croire aux populations situées en dehors des zones identifiées qu'elles ne sont pas concernées. Pour autant, rendre accessibles au plus grand nombre les indicateurs et cartographies apparaît de plus en plus indispensable pour favoriser la capacité d'agir à l'échelle individuelle : toutes les inégalités ne sont en effet pas liées au territoire, le comportement et le mode de vie des populations représentent des enjeux clés.

La mise à disposition des indicateurs et cartographies implique de mettre en œuvre des systèmes d'échanges de données environnementales, de faciliter la collecte et l'utilisation des données produites aux niveaux local, régional et national, et d'organiser la diffusion des données pour les rendre accessibles aux acteurs des territoires. ■■■■

EXPÉRIENCE ACQUISE PAR L'INERIS :

Au niveau national, l'INERIS a participé à l'élaboration des PNSE. Au niveau régional, il a contribué à certains PRSE. En Île-de-France, la logique "points noirs environnementaux" a conduit à la mise en œuvre de l'étude de zone de la baie de Seine. En Lorraine, l'Institut a travaillé en réponse à un cahier des charges précis des pouvoirs publics suivant la logique des inégalités environnementales. Dans chaque situation, l'Institut a confronté les résultats de ses recherches et expertises dans le cadre des différents modes de gouvernance ouverte mis en place.

+ D'INFO

Baromètres IRSN – La perception des risques et de la sécurité par les Français, IRSN 2013 et 2014 :
http://www.irsn.fr/FR/IRSN/publications/barometre/Pages/default.aspx#U_XFIHc6d5g
 La revue du CGDD – Les perceptions sociales et pratiques environnementales des Français de 1995 à 2011, CGDD octobre 2011 :
http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Revue_CGDD_octobre_2011.pdf



Les sources de nuisance et de pollution sur un territoire sont multiples.

L'évaluation de l'exposition et la modélisation multimédia constituent un outil méthodologique particulièrement adapté pour la caractérisation du schéma conceptuel « sources-vecteurs-cibles ». En France, les démarches actuelles d'évaluation du risque sanitaire lié à l'environnement ont évolué en réponse aux situations d'inégalités environnementales. L'INERIS a contribué à cette évolution.

Les inégalités environnementales concrétisent le lien fort existant entre la recherche académique et ses implications en matière d'expertise et d'appui aux politiques publiques. Ainsi, la plupart du temps, les travaux de recherche de l'INERIS en évaluation du risque sont orientés par l'évolution de la réglementation (sols pollués et installations classées par exemple) ou reprises dans le cadre des Plans Nationaux Santé Environnement. L'Institut peut par ailleurs s'appuyer sur une forte réactivité, sur sa capacité d'investigation, sur un réseau de compétences variées exigées par l'évaluation, sur un réseau de partenaires et sur de fortes capacités d'intégration que lui procure sa pluridisciplinarité et qui s'ouvrent vers des collaborations plus internationales (États-Unis, Canada, Europe).

DES APPLICATIONS RÉGLEMENTAIRES...

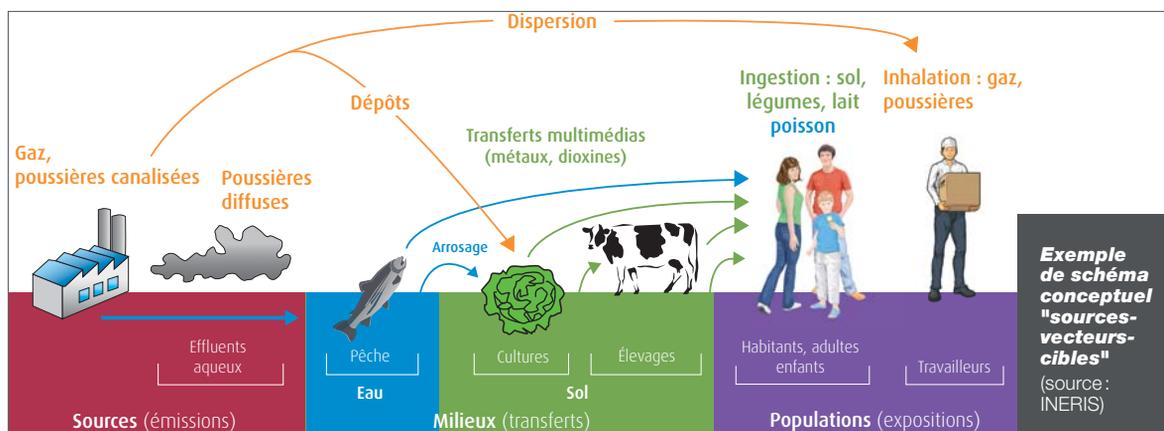
L'évaluation des risques sanitaires pour la gestion des impacts des émissions industrielles

En France, depuis le début des années 2000, la réglementation demande une analyse des effets directs et indirects des Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) soumises à autorisation sur la santé des populations riveraines, dans le cadre de l'étude d'impact du dossier de demande d'autorisation d'exploiter. Cette analyse, aussi appelée « volet sanitaire », est généralement développée sous la forme d'une étude prospective des effets des rejets industriels sur la santé humaine. Ces études ont recours à la démarche d'Évaluation des risques sanitaires (ERS) pour caractériser la façon dont les émissions industrielles vont représenter ou non un risque potentiel pour les populations vivant dans la zone d'influence de l'installation. Le schéma « sources-vecteurs-cibles » permet ainsi de conceptualiser la possibilité de transferts directs (via l'air, l'eau ou les sols) ou indirects (via l'alimentation locale) d'une source de pollution jusqu'à l'homme. L'ERS est appliquée dans un cadre réglementaire, pour les installations ou aménagements faisant l'objet d'une demande d'autorisation d'exploiter

à titre individuel. Cette démarche « monosite » ne prend habituellement pas en compte les autres sources d'émissions polluantes présentes aux alentours de l'installation. L'INERIS a publié en 2003 l'un des deux premiers guides décrivant la démarche d'ERS dans ce contexte réglementaire national. Suite à un retour d'expérience conduit par le ministère chargé de l'écologie, une circulaire du 15 mai 2007 rappelle les points suivants : la maîtrise des émissions est préalable à toute évaluation ; il est impératif d'adapter l'évaluation et la gestion au contexte environnemental et populationnel des installations ; la réalisation de mesures dans les milieux autour des installations est recommandée pour évaluer la contamination des milieux et adapter la gestion. Pour répondre à ces instructions, l'INERIS a publié en 2013, sur la base des réflexions issues d'un groupe de travail formé par le ministère, un guide décrivant une démarche intégrée, combinant l'évaluation des émissions de l'installation, l'évaluation des enjeux et des voies d'exposition, l'évaluation de l'état des milieux, et l'évaluation prospective des risques sanitaires. Ce guide accompagne la circulaire du 9 août 2013 relative à la démarche de prévention et de gestion des risques sanitaires des installations classées soumises à autorisation, cosignée par les ministères chargés de l'écologie et de la santé.

L'évaluation des risques sanitaires pour la gestion des sites et sols pollués

Les politiques de gestion des sites pollués se sont mises en place au début des années 1990 par la création d'outils de hiérarchisation et de classification des sites pollués selon leur usage. Les circulaires et notes du ministère chargé de l'écologie du 8 février 2007 ont fait évoluer les outils. Les démarches ont pour objectif de s'assurer de la compatibilité des milieux avec les usages pour deux types de situation : a) les environnements déjà urbanisés et occupés dans lesquels les usages sont fixés ; b) les environnements à urbaniser ou à réhabiliter pour lesquels les usages sont à définir ou sont modifiables. Dans le premier cas, c'est la démarche d'interprétation de l'état des milieux qui s'applique. Dans le second cas, c'est le plan de gestion. Ces démarches sont distinctes mais non exclusives (selon les situations, elles



peuvent être complémentaires). Elles peuvent être mises en œuvre avant l'autorisation d'une nouvelle installation (interprétation de l'état initial), pendant l'exploitation (suite à un constat de pollution sur ou hors site), suite à la cessation d'activité ou en lien avec un projet de réhabilitation d'une friche industrielle. Elles s'articulent avec la démarche d'évaluation prospective des risques sanitaires.

+ D'INFO

Évaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires - Démarche intégrée pour la gestion des émissions de substances chimiques par les installations classées, INERIS 2013 : <http://www.ineris.fr/centredoc/drc-guide-ers-2013-v4d-complet-lienscompact-1378197912.pdf>

Le portail des sites et sols pollués du ministère en charge de l'écologie : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/-Sites-et-sols-pollues-.html>

... AUX APPLICATIONS NON RÉGLEMENTAIRES

L'identification des points noirs environnementaux et l'évaluation des risques sanitaires dans les études de zone

Les territoires qui cumulent les risques et nuisances sont appelés « points noirs environnementaux ». Des travaux ont été conduits, d'autres sont encore en cours, pour les identifier afin de mieux cibler les actions des pouvoirs publics : recensement des points noirs du bruit, identification des zones sensibles à la dégradation de la qualité de l'air (dans le cadre des schémas régionaux du climat, de l'air et de l'énergie), identification des territoires soumis à des cumuls de sources de pollution (industrie, transports, etc.).

On distingue a priori trois cas de figure :

- ◆ Certains points noirs sont spécifiques à un milieu. Ils disposent de mécanismes de gestion dédiée (ex. zones de dépassement des normes de qualité de l'air, masse d'eau en mauvais état chimique, sites et sols pollués, point noir du bruit...). Dans ces zones, la priorité est donnée au respect des valeurs réglementaires et une gestion ad hoc est mise en place.
- ◆ Sur d'autres zones, le risque est lié à des cumuls d'expositions provenant de différentes sources (air, eau, sol) ; le risque est modélisable, c'est-à-dire qu'il est possible d'établir un lien entre les données de pollution collectées et les propriétés des substances pour évaluer un effet sanitaire.
- ◆ Enfin, le risque peut être lié à un cumul d'expositions mêlant substances toxiques et/ou agents physiques ou biologiques, non modélisable directement en l'état des connaissances actuelles. L'impact sur la santé sera difficilement évaluable faute de consensus scientifique et faute de méthodologie permettant la combinaison des facteurs de risque. Dans le contexte de la déclinaison du 2^e PNSE, ces orientations nouvelles, non réglementaires, se sont concrétisées au sein d'initiatives régionales, dans le développement d'« études de zone ». Une étude de zone est une démarche globale d'évaluation des impacts des activités humaines sur l'état des milieux et des (sur)expositions et risques sanitaires pour les populations. Il s'agit d'un instrument d'appui à la gestion destiné à identifier et à hiérarchiser des actions, pour prendre en charge et maîtriser les risques ou impacts.

FOCUS SUR...

LA DÉMARCHE D'ÉVALUATION DU RISQUE SANITAIRE ET L'EXPOSITION MULTIMÉDIA

► L'Évaluation du risque sanitaire (ERS) est définie comme « une démarche méthodique de synthèse des connaissances scientifiques disponibles en vue d'évaluer les effets sur la santé résultant d'une exposition d'une population ou d'individus à une substance, un agent ou une situation dangereuse⁽⁸⁾ ». Elle est décomposée classiquement en quatre étapes : l'identification des dangers, la détermination des relations dose-réponse, l'estimation des expositions et la caractérisation des risques. Il s'agit d'un instrument de hiérarchisation qui permet de définir des stratégies de prévention et de gestion spécifiques. En effet, la méthodologie d'ERS ne permet pas de déterminer l'impact réel d'un site ou d'une zone sur la santé des populations riveraines, ni l'exposition réelle des populations.

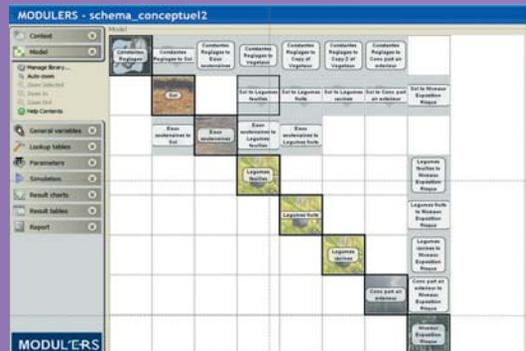
L'évaluation de l'exposition est le processus d'estimation ou de mesure de la magnitude, de la fréquence et de la durée de l'exposition d'un agent prenant compte des caractéristiques de la population exposée⁽⁹⁾. Elle est basée sur la construction de scénarios d'exposition conçus comme une combinaison de faits, d'hypothèses et de conclusions qui définissent une situation particulière où une exposition est potentielle. Les paramètres relatifs aux scénarios d'exposition sont renseignés soit pour une population spécifique par une enquête locale, soit de façon générique à l'aide des résultats d'enquêtes nationales. L'exposition peut être directe (via l'air, l'eau, les sols) et/ou indirecte (via la chaîne alimentaire) : c'est ce que l'on appelle l'exposition multimédia. L'expression « milieux environnementaux » peut être définie par opposition à l'expression « milieux d'exposition ». Les milieux environnementaux désignent l'air, les eaux souterraines, les eaux superficielles, les sols, les sédiments selon les cas, tandis que les milieux d'exposition désignent précisément les milieux au contact desquels se trouve la cible étudiée, ici l'homme, c'est-à-dire l'air à l'intérieur des habitations, l'eau du robinet, la couche de sol superficielle, mais aussi les aliments.

À la demande du ministère en charge de l'écologie, dans l'objectif d'homogénéiser les pratiques nationales (en particulier réglementaires) de l'étape d'évaluation des expositions, l'INERIS a développé un outil de modélisation et de simulation nommé MODUL'ERS. Il permet de faire le lien entre l'étape de définition du schéma conceptuel et celle de l'évaluation prospective des expositions et des risques, en donnant aux

utilisateurs la possibilité de construire un modèle d'exposition adapté au schéma conceptuel propre au site étudié, à partir d'une bibliothèque de modules prédéfinis. MODUL'ERS permet d'estimer les concentrations dans les milieux, les niveaux d'exposition et les niveaux de risque en fonction du temps à partir de jeux d'équations. MODUL'ERS a été développé avec un double objectif de flexibilité et de transparence. Il permet à l'utilisateur de choisir les phénomènes de transfert qu'il souhaite prendre en compte, offre pour différents mécanismes de transfert le choix entre plusieurs modèles conceptuels et permet à tous les niveaux d'utiliser des résultats de mesure à la place de ceux de la modélisation. L'ensemble des équations, des données d'entrée et des résultats intermédiaires est facilement accessible et les modifications apportées par l'utilisateur aux valeurs prédéfinies pour les données d'entrée sont mises en évidence. MODUL'ERS permet aussi de conduire une analyse des incertitudes et une analyse de sensibilité des résultats. ■■■■■

+ D'INFO

Jeux d'équations pour la modélisation des expositions liées à la contamination d'un sol ou aux émissions d'une installation industrielle, INERIS 2010 : <http://www.ineris.fr/centredoc/drc-08-94882-16675c-vf2-1411028462.pdf>



Déclinaison du schéma "sources-vecteurs cibles" dans la matrice de l'outil MODUL'ERS (source : INERIS)

note 8 NAS (National Academy of Sciences). *Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process. Committee on the Institutional Means for Assessment of Risks to Public Health, Commission on Life Sciences, National Research Council. Washington, DC, 1983.*

note 9 IPCS. *IPCS glossary of key exposure assessment terminology. In: IPCS Risk Assessment Terminology. Geneva, World Health Organization, International Program on Chemical Safety (Harmonization Project Document No. 1) 2004.*

Bien que conçue à l'origine pour évaluer l'impact cumulé de plusieurs exploitants industriels proches, la méthodologie des études de zone n'est pas limitée aux seules installations classées mais peut aussi prendre en compte les infrastructures routières ou portuaires et d'autres sources de pollution. Elle peut constituer l'un des éléments d'une analyse plus globale, qui prend en compte d'autres composantes du territoire étudié : économiques, sociales, sanitaires, etc. L'INERIS a contribué aux premières études de zone et a publié en 2012 un guide dédié. L'Institut a également contribué aux travaux du Haut Conseil de la santé publique sur cette question.

La caractérisation des inégalités environnementales: décroiser la démarche d'évaluation des expositions

Réduire les inégalités environnementales consiste dans un premier temps à limiter les nuisances environnementales susceptibles d'induire ou de renforcer des inégalités de santé. Pour ce faire, il est nécessaire d'identifier les zones de surexposition des populations et leurs déterminants, de manière à hiérarchiser les actions de prévention. L'identification des points noirs environnementaux et les études de zone permettent ces diagnostics à différentes échelles spatiales et l'évaluation de l'exposition fournit le cadre méthodologique permettant l'intégration des dimensions environnementales et comportementales relatives à l'exposition d'un individu.

La démarche d'évaluation de l'exposition doit évoluer vers des logiques de caractérisation d'impact territorialisé. Les méthodes et outils d'analyse élaborés ces dernières années doivent intégrer les dimensions comportementale, démographique, sociétale, géographique et temporelle pour mieux définir les impacts sanitaires sur des territoires où

se superposent diverses sources de pollution. L'évaluation des expositions doit, en particulier, prendre en compte le mode de vie et les Budgets espace-temps de ces populations (répartition dans le temps et dans l'espace des déplacements et activités). Comme illustré ci-dessous, la représentation des résultats d'une évaluation des risques sous la forme de cartes doit permettre de dépasser l'interprétation binaire des indicateurs de risque sanitaire (ici l'excès de risque individuel). L'outil permet d'afficher ponctuellement plusieurs niveaux d'informations, en particulier sur les populations (dans l'exemple, la taille et les modes de vie). C'est une première étape vers l'intégration et la représentation de données spatialement référencées sur un territoire.

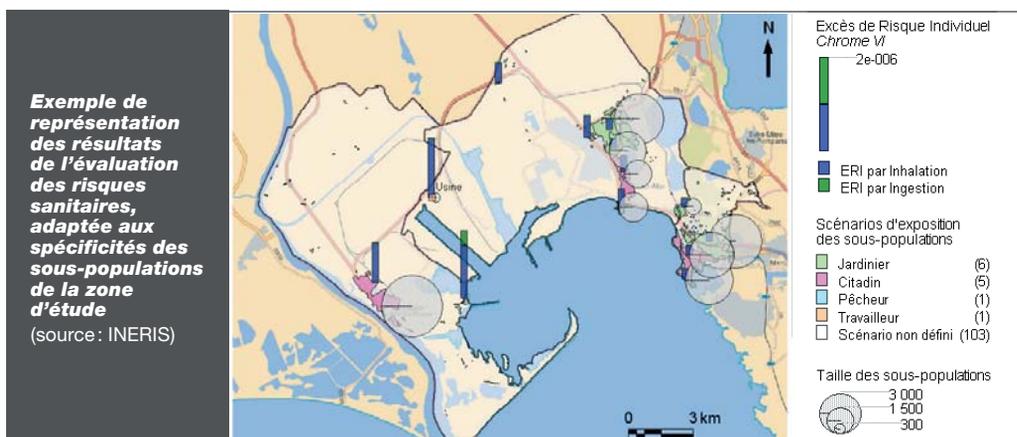
LA CARACTÉRISATION DES INÉGALITÉS NÉCESSITE :

d'accéder à des données relatives aux nuisances et pollutions à une échelle fine du territoire, ou de les reconstruire. Le couplage des deux approches que sont l'évaluation de l'exposition multimédia et la spatialisation des données permet la construction d'indicateurs intégrés sur un support cartographique. Les approches spatialisées permettent de construire des indicateurs d'exposition environnementale et le cas échéant de les agréger, voire de les coupler avec des données de natures différentes.

+ D'INFO

Guide pour la conduite d'une étude de zone, INERIS 2011 : <http://www.ineris.fr/centredec/drc-guide-etude-zone-v5final101111-1321430999.pdf>

Évaluation des risques sanitaires dans les analyses de zone, HCSP, 2011 : <http://www.hcsp.fr/explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=193>



Les travaux de recherche sur les inégalités environnementales se placent dans la continuité des travaux d'expertise : l'innovation consiste à coupler et intégrer les moyens préexistants pour les mettre en relation dans l'objectif d'une évaluation des risques sanitaires flexible, transparente et adaptable. Pour cela, les outils de la modélisation multimédia sont superposés à ceux de la spatialisation.

LES OUTILS UTILISÉS

Depuis 2010, l'INERIS a structuré un axe de recherche dédié à l'évaluation des inégalités environnementales, sur la base de ses développements méthodologiques en évaluation des expositions et des risques sanitaires depuis quinze ans. L'axe vise à élaborer la Plate-forme d'analyse des inégalités environnementales, PLAINE. Pour cela, l'Institut s'appuie sur les Systèmes d'information géographique (SIG) et utilise les bases de données spatialisées qui existent au niveau national, en mettant en place des partenariats avec les principaux opérateurs. Pour tester la faisabilité d'une telle démarche, les travaux de l'Institut ont d'abord porté sur l'étude de la représentativité et de la pertinence des données disponibles et sur la maîtrise des échelles spatiales d'analyse. D'abord appliquée sur deux régions pilotes et un nombre limité de substances, PLAINE a pu être utilisée pour constituer à la demande des pouvoirs publics un premier atlas régional d'inégalités environnementales. La démarche est aussi utilisée dans le cadre de programmes de recherche connexes et fait l'objet de nombreux partenariats. Enfin, directement en lien avec l'évolution des activités d'expertise, certains modules de la plate-forme permettent de rassembler les données et de générer automatiquement des résultats (tableaux, graphes, cartes) dans le cadre des évaluations de risque autour de sols, sites ou zones potentiellement pollués. Cet automatisme facilite le suivi des éventuelles mesures de gestion qui seraient mises en œuvre et permet aux études conduites de gagner en robustesse et en répétabilité en assurant une plus grande cohérence globale.

SYSTÈME D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE (SIG)

C'est un outil informatique, permettant d'organiser des données numériques spatialement référencées et de les représenter sur des cartes.

L'INERIS s'appuie sur l'émergence des SIG dans le domaine de la santé-environnement

Les SIG constituent un élément essentiel pour étudier les relations entre l'homme et son environnement et représentent un outil privilégié pour le croisement de données dans le champ santé-environnement. L'étude des disparités géographiques est menée depuis plusieurs années et de nouveaux outils ont été mis au point pour essayer d'évaluer les expositions des populations. L'utilisation d'un SIG permet la gestion, le traitement, l'analyse et la modélisation des données à référence spatiale. Les SIG connaissent un fort développement auprès de l'ensemble des acteurs en charge de la surveillance et de la gestion de l'environnement. Un premier travail de cartographie des inégalités environnementales a été notamment conduit par l'US-EPA (United States Environmental Protection Agency) sur l'ensemble du territoire des États-Unis ⁽¹⁰⁾. Ce type d'étude à l'échelle nationale a pu être réalisé grâce à l'émergence de systèmes de surveillance et de bases de données homogènes et a notamment permis de mettre en évidence de fortes disparités territoriales. La démarche initiée avec PLAINE se place dans la continuité de ces travaux conduits outre-Atlantique.

*note 10_ Woodruff TJ, Caldwell J, Morello-Frosch R, et al. « Public Health Implications of 1990 Air Toxics Concentrations across the United States ». *Environmental Health Perspectives* 1998 ; 106 (5) :245-251.*

DONNÉE SPATIALISÉE

C'est une donnée contenant une référence à un lieu, qu'il s'agisse d'un point précis du territoire, d'une infrastructure linéaire telle qu'une route ou encore d'un périmètre donné : aire protégée, zone d'emplois, ville, etc.

L'INERIS utilise les bases de données spatialisées disponibles au niveau national

Les bases de données géoréférencées évoluent et sont en pleine expansion. En France, des actions de recensement, de surveillance de la qualité de l'environnement (réseau de surveillance de la qualité des sols, des eaux, de l'air) ont été menées par différentes agences, instituts ou observatoires. Leur première fonction est la surveillance de l'environnement. Ceci passe généralement par la création de bases de données et de séries statistiques ou descriptives produites en routine. Leur couverture thématique et géographique est plus ou moins restreinte à un certain territoire et/ou à un certain nombre d'indicateurs choisis en fonction d'objectifs initiaux de suivi. L'ensemble de ces données peut être mis à disposition auprès de différents types de gestionnaire : l'administration, les organismes locaux et nationaux avec lesquels l'INERIS, lui-même gestionnaire de données sur l'air et sur l'eau, signe des conventions de partenariat spécifiques. Les données recensées font l'objet de références spatiales et temporelles, ces dernières pouvant être variables selon les domaines étudiés.

Les figures 1 à 3 illustrent ainsi les concentrations en différents polluants retrouvées dans des compartiments environnementaux variés (sol, air, eau). Ces teneurs sont intégrées sur une ou plusieurs années de surveillance et proviennent de bases de données nationales spatialisées. D'autres types de bases peuvent décrire les sites ou les sources de pollution (bruit, émissions atmosphériques, sols pollués, etc.). Chacune a ses modalités propres de production, de gestion, d'organisation et d'accessibilité. ■■■■

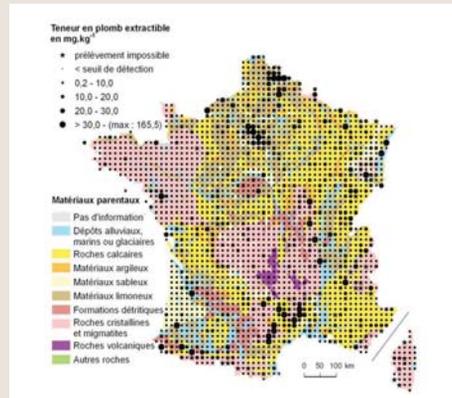


figure 1.
Teneurs en plomb total des horizons de surface (0-30 cm) des sols de France - en mg/kg
(source : Gis Sol, RMQS, 2011 ; Inra, BDGSF, 1998)

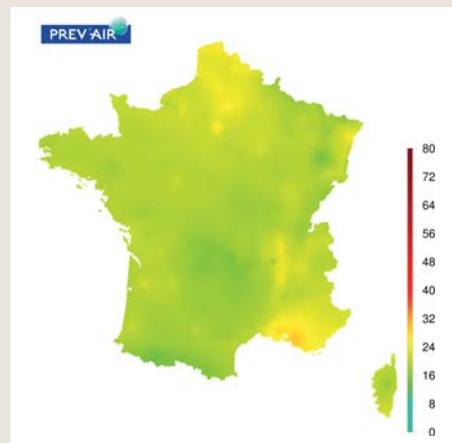


figure 2.
Moyenne annuelle en PM10 - particules en suspension dans l'air - en µg/m³
(source : MEDDE, PREV'AIR 2013)

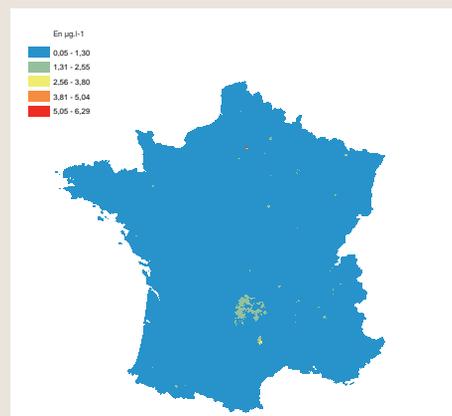


figure 3.
Concentrations en cadmium dans les eaux en France - en µg/L
(source : ministère chargé de la santé - SISE Eaux, 2000-2010 - Traitement : INERIS)

FOCUS SUR...

UNE DÉMARCHE OPÉRATIONNELLE : PLAINE

► L'INERIS a inscrit la lutte contre les « points noirs environnementaux » dans son contrat d'objectifs signé avec l'État pour la période 2011-2015. Dans cette perspective, l'Institut a initié des travaux de recherche pour développer PLAINE. La faisabilité de cet outil a été évaluée dans le cadre d'une étude pilote sur quatre éléments traces métalliques (ETM) : le nickel, le cadmium, le chrome, le plomb, et sur deux régions (Nord-Pas-de-Calais et Picardie). La **figure 4** présente les résultats obtenus en Nord-Pas-de-Calais pour le cadmium et permet d'identifier deux zones de surexposition potentielle au polluant considéré bien connues au préalable (Metaleurop et la périphérie de l'agglomération lilloise). À la demande du ministère en charge de l'écologie, l'INERIS a ensuite produit un atlas des indicateurs d'exposition aux quatre ETM pour chaque région de France métropolitaine. La **figure 5** présente ainsi l'indicateur spatialisé de l'exposition combinée au cadmium, nickel et plomb pour Midi-Pyrénées. L'ensemble de l'atlas est disponible sur le site Internet de l'INERIS. Ces travaux opérationnels en appui aux pouvoirs publics se poursuivent avec le traitement de données environnementales sur les hydrocarbures aromatiques polycycliques et sur les pesticides.

L'**annexe 1** fournit les principales clés de lecture des cartes d'exposition. La démarche associe des bases de données géoréférencées, le modèle d'exposition MODUL'ERS construit par l'INERIS (calcul des doses d'exposition par ingestion ou inhalation) et un SIG. On obtient ainsi des cartographies d'exposition des populations à une échelle spatiale fine (de l'ordre du km²) et pour différentes échelles temporelles. Au niveau national, PLAINE a l'objectif de fournir aux pouvoirs publics une méthode robuste et cohérente servant notamment à l'identification et la hiérarchisation des points noirs environnementaux (**annexe 2**). Au niveau régional, la plate-forme fournit une méthode d'optimisation des études d'investigation locales dans différents contextes (Plans Régionaux Santé Environnement, plans expérimentaux, etc.). Elle permet d'intégrer des données complémentaires à celles disponibles dans les bases nationales, d'optimiser les campagnes de mesure, de réaliser un suivi dans le temps pour faciliter la surveillance de l'impact sanitaire et vérifier ainsi l'efficacité des mesures prises. Les données construites permettront d'évaluer l'exposition des populations aux substances chimiques ou à d'autres facteurs de risque environnementaux (bruit, radiofréquence...), de

les agréger dans la logique de l'exposome mais aussi de coupler les indicateurs d'exposition environnementale avec des indicateurs socio-économiques et sanitaires à différentes échelles spatiales. PLAINE est déjà utilisée dans le cadre de programmes de recherche et fait l'objet de nombreux partenariats qui ont vocation à se développer (**annexe 3**).

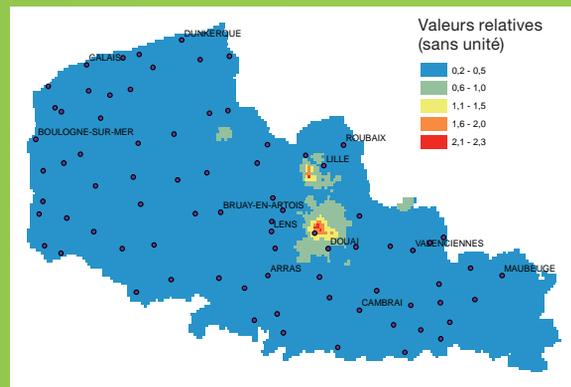


figure 4.
Illustration d'un indicateur spatialisé d'exposition - Exemple du cadmium en Nord-Pas-de-Calais. Il intègre les voies d'exposition par ingestion et inhalation.
(source : INERIS)

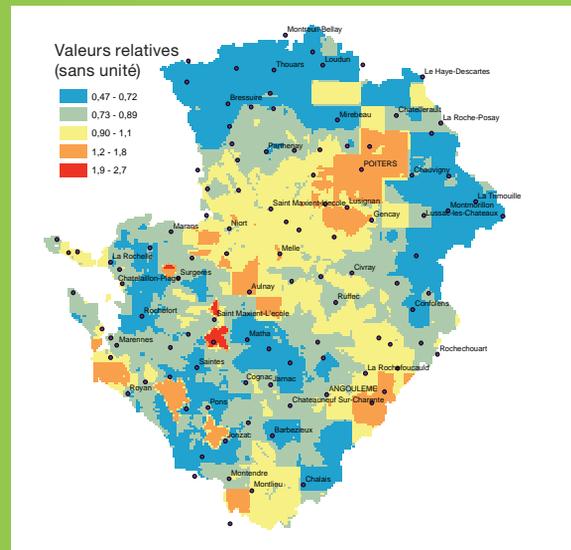


figure 5.
Illustration d'un indicateur spatialisé d'exposition combinée - Exemple du plomb, nickel et cadmium en Poitou-Charentes
(source : INERIS)

La démarche de caractérisation des inégalités environnementales à partir de bases de données spatialisées implique l'interopérabilité des données, des outils et des démarches méthodologiques. Aussi, l'INERIS poursuit ses travaux d'expertise et de recherche appliquée sur (a) la collecte et la centralisation d'un ensemble de données de sources diverses dans un même système; (b) le développement de méthodes adaptées permettant le traitement de données environnementales et populationnelles spatialisées et la réduction des incertitudes; (c) la caractérisation et le couplage des différents facteurs de risque.

L'INTÉGRATION ET LA CONSTRUCTION DES DONNÉES SPATIALES

La constitution de variables pour la caractérisation des inégalités repose sur l'utilisation de données de sources variées. Le contact avec les gestionnaires, les barrières institutionnelles, juridiques et les démarches administratives permettant de remplir les conditions légales compliquent l'acquisition des données. Néanmoins, la mise en œuvre de la directive européenne Inspire permettra une meilleure disponibilité des données environnementales. De manière à analyser un certain nombre de données, une base doit être mise en place dans laquelle sont présentes un grand nombre de variables qui peuvent être intégrées dans des modèles statistiques. La réalisation *in fine* de ces traitements pour passer de la donnée initiale à l'indicateur d'inégalité implique au moins deux étapes :

- ◆ la reconstruction de données ad hoc, les sources de données adéquates n'étant pas disponibles ou exhaustives par rapport aux objectifs de l'étude ;
- ◆ la transformation des données (homogénéisation, agrégation ou désagrégation) et la construction de variables d'intérêt pour l'étude.

Alternativement, la modélisation s'impose quand les données de mesures de contaminants dans l'environnement, voire chez l'homme, sont absentes ou inexploitable. Il faut alors estimer l'exposition par l'évaluation des transferts de polluants dans les différents compartiments physique, chimique ou biologique. La multiplicité des voies, le besoin de considérer les expositions sur le long terme (vie entière), la difficulté des mesures sur la personne et la nécessité de réaliser des études prospectives concourent à un besoin fort de modélisation dans ce domaine.

ACTIONS DE PRÉVENTION EN MATIÈRE DE SANTÉ PUBLIQUE

Au niveau national et dans la logique de l'exposome, pour une meilleure vision globale et intégrée des expositions et des actions de prévention plus adaptées en matière de santé publique, des échantillons sont actuellement collectés directement dans les milieux biologiques chez l'homme, dans le cadre du Plan national de biosurveillance piloté par l'Institut de veille sanitaire (InVS) et de la Cohorte longitudinale depuis l'enfance (ELFE).

Ces données géoréférencées portent sur des substances comme les métaux lourds, les pesticides ou autres perturbateurs endocriniens et pourraient être, à terme, traitées et intégrées dans PLAINE, dans le respect des règles éthiques. La mesure des expositions environnementales cumulées de la période in utero jusqu'à la fin de vie (exposome) devrait permettre, à partir d'indicateurs d'exposition, de construire un indicateur composite qui rende mieux compte de la réalité des expositions environnementales dont on suspecte qu'elles ont un lien avec la santé humaine. L'un des trois groupes chargés de l'élaboration du 3^e PNSE focalise sur ces questions.

LE DÉVELOPPEMENT DE TECHNIQUES DE SPATIALISATION

L'analyse spatiale permet d'étudier les répartitions, les relations entre les données dans l'espace étudié et la connaissance du comportement spatial des phénomènes concernés. Différentes techniques peuvent être adoptées pour traiter spécifiquement les bases de données environnementales, comportementales ou populationnelles de manière à augmenter leur représentativité par rapport aux objectifs de caractérisation de l'exposition. Les méthodes géostatistiques, la construction d'indicateurs de proximité à la source, de modèles de régression et la modélisation déterministe permettent de construire des données de types différents sur un support spatial commun, adaptées pour être directement croisées au sein d'un même système.

La sélection d'une méthode de traitement dépend du phénomène à représenter, de la couverture spatiale et de la qualité des données disponibles. Dans le cadre de la caractérisation des milieux environnementaux (eau, air, sol), l'approche traditionnelle qui consiste à interpoler les valeurs mesurées par les stations de mesure génère des erreurs qui tendent à atténuer les variations spatiales en assignant des concentrations similaires à un large nombre d'individus. Dans l'objectif de réduire ce problème, des méthodes sophistiquées, par exemple d'interpolation, ont été développées⁽¹¹⁾.

Ainsi, pour le compartiment atmosphérique, de nombreux modèles de dispersion atmosphérique ont été développés pour des échelles continentales. Récemment, un panel de méthodes utilisant l'analyse spatiale a été élaboré pour pouvoir intégrer les prédictions des modèles longues distances dans les évaluations de l'exposition sur des échelles fines. L'INERIS développe en partenariat avec le Centre national de la recherche scientifique (CNRS) le code CHIMERE, un modèle de simulation numérique de la chimie et du transport des polluants atmosphériques. Les modèles statistiques de régression utilisant les

données d'occupation des sols ont retenu une attention particulière⁽¹²⁾. Pour redistribuer des données de populations sur des unités spatiales plus fines, des variables auxiliaires comme la topographie, des images satellites ou l'occupation des sols ont, par exemple, été utilisées⁽¹³⁾. Le développement de ces méthodes et leur intégration dans PLAINES sont importants pour réduire les incertitudes et améliorer l'efficacité des mesures de gestion.

QUELQUES MOTS CLÉS, EN BREF

Géostatistique et interpolation...

La géostatistique correspond au traitement statistique de données spatialisées. Parmi les différents traitements possibles, l'interpolation spatiale consiste à reconstruire, plus ou moins simplement, une donnée manquante à partir d'autres données connues sur un territoire déterminé.

Déterministe et probabiliste...

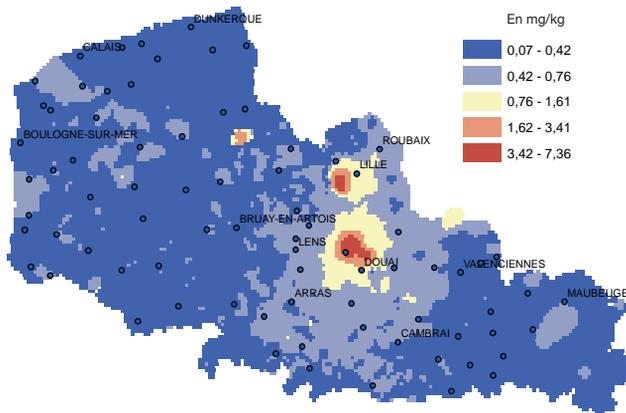
L'approche déterministe fournit une valeur ponctuelle du risque. L'approche probabiliste est associée à une distribution de valeurs intégrant la variabilité et/ou l'incertitude sur l'estimation du risque.

note 11_ Goovaerts P, Avruskin G, Meliker J, et al. « Modelling uncertainty about pollutant concentration and human exposure using geostatistics and a space-time information system: Application to arsenic in groundwater of Southeast Michigan ». In Accuracy 2004: Proceedings of the 6th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences, Portland 2004.

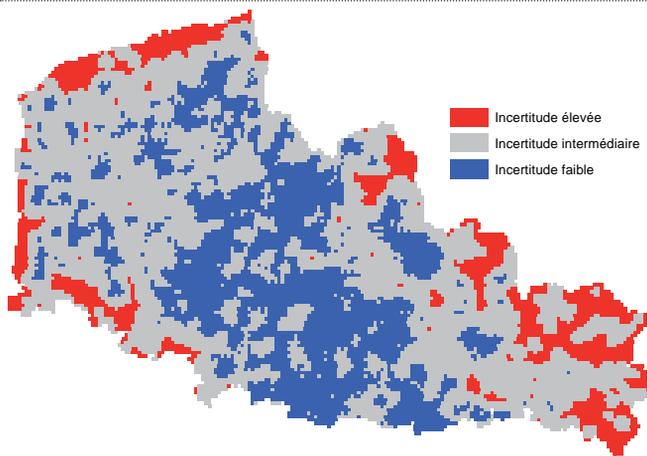
note 12_ Hoek G, Beelen R, de Hoogh K, et al. « A review of landuse regression models to assess spatial variation of outdoor air pollution ». Atmos Environ. 2008; 42(33): 7561-7578.

note 13_ Gallego J, Peedell S. « Using CORINE Land Cover to map population density. Towards Agri-environmental indicators », Topic report 6/2001 European Environment Agency, Copenhagen 2001; 92-103.

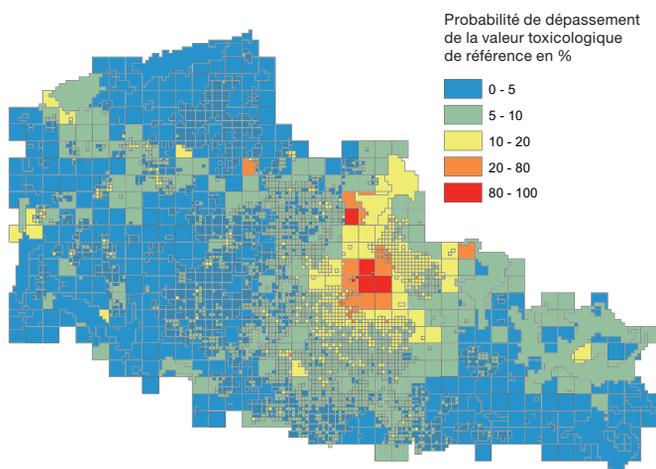
UNE ÉVALUATION PROBABILISTE - LA CARTE DES DÉPASSEMENTS DE SEUIL TOXIQUE - EXEMPLE DU CADMIUM DANS LE NORD-PAS-DE-CALAIS (SOURCE : INERIS)

**carte a.**

Carte des concentrations en cadmium dans le sol, compartiment environnemental prépondérant dans l'exposition

**carte b.**

Carte des incertitudes des concentrations en cadmium dans le sol

**carte c.**

Couplage des cartes a et b après modélisation de l'exposition : probabilité de dépassement du seuil toxique pour le cadmium dans la classe d'âge des 2 à 7 ans

FOCUS SUR...

LA MODÉLISATION DE LA QUALITÉ DE L'AIR

La modélisation de la qualité de l'air figure parmi les champs d'expertise de l'INERIS depuis une dizaine d'années. Par exemple, dans le système national de prévision de qualité de l'air PREV'AIR, elle constitue l'un des outils stratégiques dans le dispositif français de surveillance et de gestion de la qualité de l'air, en complément des informations et prévisions fournies par les Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA). CHIMERE, l'un des codes de calcul implanté dans PREV'AIR, est développé conjointement par l'INERIS et le CNRS depuis 2001. Par ailleurs, l'expérience acquise par les équipes de l'INERIS sur ce modèle, sa montée en maturité et en précision en font depuis 2007 un instrument opérationnel clé pour l'aide à la décision dans la définition des stratégies et des politiques de gestion et de réduction des pollutions atmosphériques.

2 KM

la résolution atteinte avec CHIMERE pour simuler la qualité de l'air sur l'Europe, contre 50 km lors du lancement du modèle.

1 Recensement et compilation des données d'entrée

Trois grands types de données doivent être intégrés au sein du modèle avant son lancement :

a) Données d'émissions par secteur d'activité

Sont incluses les émissions naturelles et d'origine anthropique pour chaque grand secteur d'activité. Elles sont renseignées via deux sources principales : la convention onusienne sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance qui impose aux états membres un inventaire annuel des émissions de polluants ; et l'Inventaire national spatialisé (INS), mis en place par le ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (MEDDE), pour recenser toutes les émissions anthropiques et naturelles de polluants dans l'air en France métropolitaine et dans les départements d'Outre-Mer à une très haute résolution spatiale (commune, km²) et temporelle (heure).

b) Données météorologiques

Chaque calcul intègre des données météorologiques pour prendre en compte les phénomènes de transport et les transformations chimiques influant sur les concentrations de polluants. Dans le cas de PREV'AIR, ces données météorologiques sont générées par Météo France, partenaire du système.

2 Exécution du modèle de chimie-transport CHIMERE

Au terme de cette phase préparatoire, le lancement du code de calcul régional et tridimensionnel CHIMERE permet de simuler et de déterminer les concentrations de polluants atmosphériques – ozone, oxydes d'azote, particules en suspension – heure par heure sur chaque point du maillage géographique prédéterminé.

3 Post-processing : exploitation et traitement des informations produites

a) Évaluation

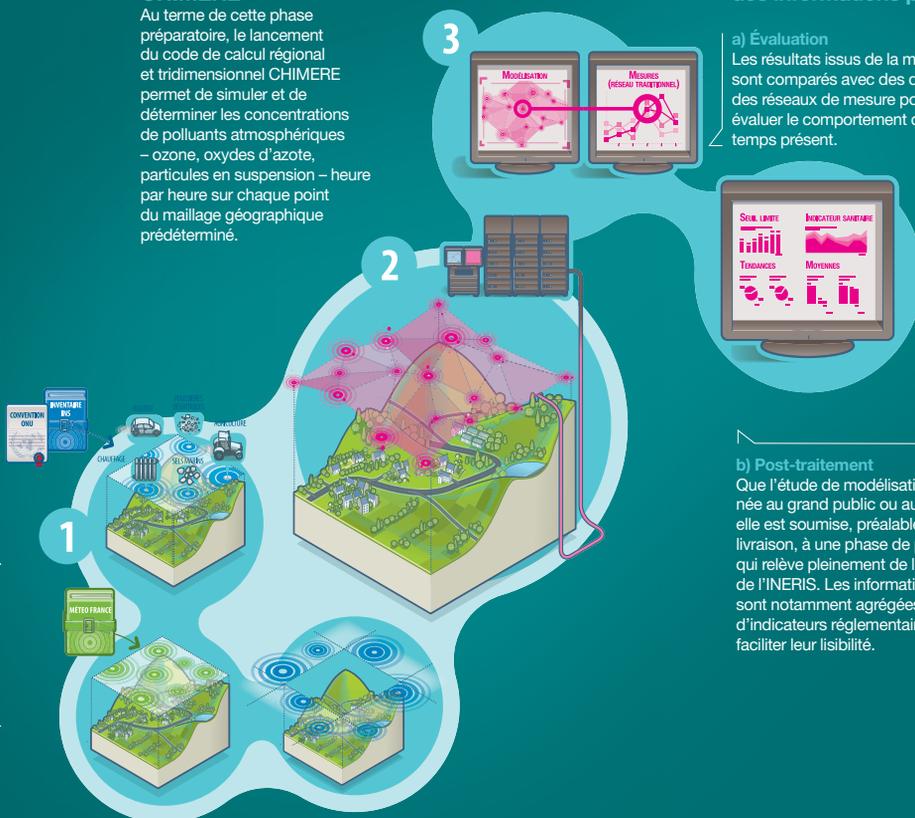
Les résultats issus de la modélisation sont comparés avec des données issues des réseaux de mesure pour contrôler et évaluer le comportement du modèle au temps présent.

b) Post-traitement

Que l'étude de modélisation soit destinée au grand public ou au(x) décideur(s), elle est soumise, préalablement à sa livraison, à une phase de post-traitement qui relève pleinement de l'expertise de l'INERIS. Les informations brutes sont notamment agrégées sous forme d'indicateurs réglementaires pour faciliter leur lisibilité.

c) Conditions aux limites

Chaque calcul intègre des données L'espace géographique étudié est influencé par des concentrations atmosphériques extérieures, à échelle supérieure, qu'il s'agit de quantifier. Il faut donc déterminer et renseigner les concentrations en question aux frontières du domaine de modélisation.



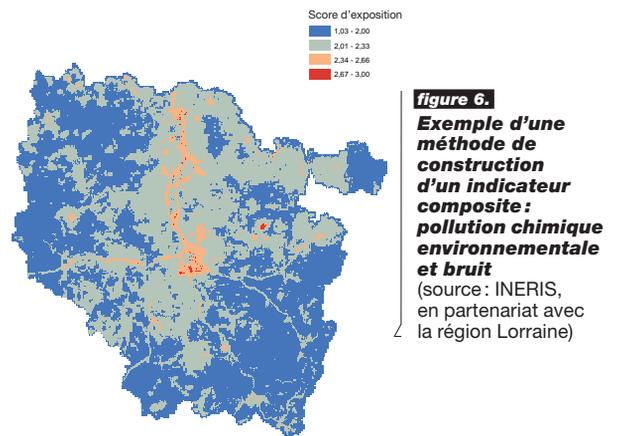
L'INERIS capitalise en premier lieu sur l'évaluation de l'exposition multimédia. L'Institut continue ses travaux sur les techniques d'agrégation et d'interopérabilité des données environnementales pour améliorer les indicateurs intégrés et spatialisés d'exposition et de risque. Il se positionne aussi comme un assembleur et poursuit avec ses partenaires le développement de méthodes de couplage des inégalités de natures différentes.

L'AGRÉGATION ET LE COUPLAGE DES DONNÉES

L'AMÉLIORATION DES INDICATEURS INTÉGRÉS D'EXPOSITION ET DE RISQUE

La construction d'indicateurs d'exposition permet l'intégration en une seule métrique sur un support géographique de l'ensemble des sources et milieux d'exposition : c'est ce que rend possible l'interfaçage de MODUL'ERS dans PLAINE. Ces indicateurs intégrés permettent l'identification des sous-groupes de population potentiellement surexposés à un cumul d'expositions environnementales, mais n'indiquent que la sévérité relative des risques inhérents⁽¹⁴⁾. En effet, la méthode d'agrégation aujourd'hui utilisée pour intégrer l'ensemble des voies d'exposition, et/ou des substances chimiques considérées, repose sur la logique des quotients de danger et sur l'utilisation des valeurs toxicologiques de référence. Il importe dans les années à venir, et dans la logique de l'exposome, de construire des indicateurs reposant sur des méthodes d'agrégation des expositions basées sur la mesure directe dans les milieux biologiques et sur la modélisation toxicologique. Par ailleurs, aucune méthodologie à ce jour validée ne permet d'intégrer dans les approches cartographiques les effets synergiques liés à l'exposition concomitante à plusieurs substances (effet cocktail) ou à plusieurs facteurs de risque. La **figure 6** propose un exemple d'indicateur composite, qui permet d'agrèger des risques de natures différentes (la pollution chimique de l'environnement et le bruit). L'utilité pour le gestionnaire de ces systèmes doit être éprouvée.

note 14 Caudeville J, Bonnard R, Boudet C, Denys S, Govaert G, Cicolella A. Development of a spatial stochastic multimedia model to assess population exposure at a regional scale. *Journal of Total Environment* 2012 Volume 432, Pages 297-308.



TÉMOIGNAGE : INÉGALITÉS ENVIRONNEMENTALES EN LORRAINE

Dans le cadre du 2^e PRSE, la DREAL Lorraine, sous l'égide de la préfecture de région Lorraine a confié à l'INERIS la réalisation d'une cartographie des inégalités environnementales. Cette étude qui a porté sur des données de qualité de l'air, qualité de l'eau potable, qualité des sols et niveaux de bruit, a permis d'appréhender à l'échelle régionale le niveau d'exposition de la population pour chacun de ces compartiments à un maillage kilométrique. L'objectif de l'étude étant d'identifier pour les prioriser les zones pour lesquelles il y avait un cumul d'exposition, la création d'un indicateur permettant de combiner les données des différents milieux est apparue nécessaire. Il a abouti à la sélection de zones d'action immédiate (ex : reconquête de la qualité de l'eau) et de zones d'investigations sanitaires et sociales.

+ D'INFO

<http://www.lorraine.eu/>

L'ANALYSE DES RELATIONS ENTRE EXPOSITION, DÉFAVEUR SOCIALE ET ÉTAT DE SANTÉ

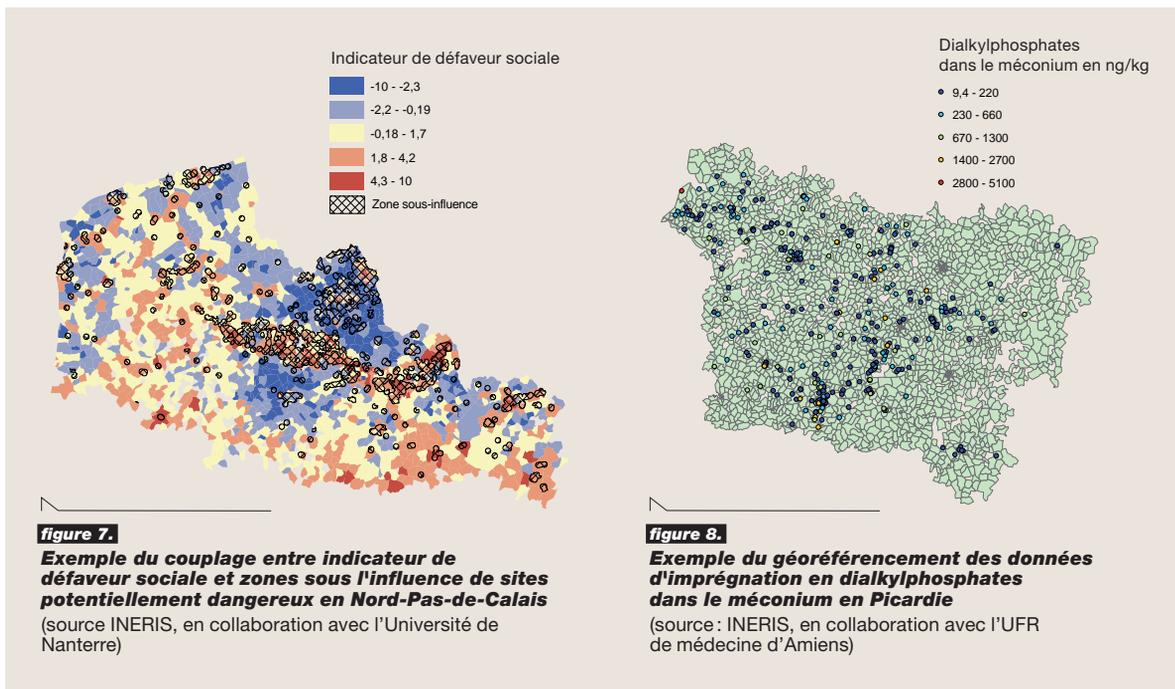
Des analyses statistiques permettent de révéler le lien potentiel entre les situations d'exposition et l'état sanitaire des populations. Les études écologiques n'ont pas pour finalité d'étudier les risques au niveau individuel mais de repérer les effets de groupe pouvant expliquer une partie de la variation des indicateurs sanitaires étudiés entre les unités géographiques. Cette méthode peut être également déclinée pour étudier les relations entre statut socio-économique des populations et indicateur environnemental (*figure 7*). Pour développer l'analyse des relations entre exposition et événement sanitaire, l'INERIS travaille en partenariat avec l'Institut de veille sanitaire (InVS) et les Observatoires régionaux de santé (ORS). PLAINE est également utilisée dans un objectif d'automatisation du traitement des données et de couplage dans des programmes de recherche (*annexe 3*). Ainsi, dans la logique du concept d'exposome,

des cartes intégrant des données d'imprégnation, c'est-à-dire de mesure d'une substance dans un milieu biologique chez l'homme, sont en cours d'analyse (*figure 8*). Elles permettront de construire un indicateur spatialisé composite d'exposition de la population à certaines substances en tenant compte des sources et des milieux et d'examiner les relations entre signes cliniques, données d'imprégnation, défaveur sociale et indicateur d'exposition. Dans cette même logique, d'autres projets à des échelles plus urbaines permettent d'intégrer dans PLAINE des données de Budget espace-temps (BET) et de mobilité grâce à l'utilisation de données GPS, à l'image de ce qui a déjà été réalisé dans le cadre du projet Inter'Modal.

+ D'INFO

En savoir plus sur Inter'Modal :

<http://www.ineris.fr/centredoc/drc-09-104243-11651a-intermodal-final.pdf>



Le développement des méthodes de cumul des inégalités va pouvoir s'appuyer sur **l'amélioration de l'accessibilité aux données de santé**.

De nombreuses bases de données sont disponibles pour approcher l'état de la santé de la population : mortalité, affections de longue durée, programme de médicalisation des systèmes d'information, système national d'information inter-régimes de l'Assurance-maladie, voire celles des registres des cancers lorsque ceux-ci existent. Ces données, disponibles année par année, permettent une vision territorialisée des problématiques de santé à partir du niveau géographique le plus fin enseigné dans ces bases (code commune ou code postal). Ces niveaux géographiques peuvent cependant pour certains travaux, notamment pour les études en santé environnementale ou menées au sein des grandes communes, ne pas s'avérer assez précis. La géolocalisation, ou a minima des données comportant une précision au niveau des Îlots regroupés pour l'information statistique (IRIS), apparaît de plus en plus indispensable pour permettre des analyses croisant les dimensions sociale et environnementale de santé. Une réflexion est d'ailleurs engagée au sein des services de l'État pour que cette information puisse devenir disponible en routine, naturellement dans le respect des contraintes d'éthique et de confidentialité.

Concernant **les indices de défaveur sociale**, leur construction est motivée par l'absence de données individuelles exhaustives sur des populations dans les bases de données administratives. Ainsi, pour caractériser les inégalités sociales relatives à certains phénomènes importants de santé ou environnementaux, le développement d'un indicateur agrégé devient nécessaire. L'objectif premier est d'assigner une information socio-économique, calculée sur la base de petits territoires, à chaque individu grâce à

une clé de passage entre la géographie de ces territoires et celle disponible dans les bases administratives.

La défaveur peut être estimée au niveau territorial, soit à partir de méthodes additives, soit par une approche multidimensionnelle de réduction de données, comme l'indicateur Fdep construit à partir du revenu médian, de la part de diplômés, d'ouvriers et de chômeurs sur les unités géographiques considérées. Cette dernière approche, robuste aux échelles régionales, permet de révéler le caractère multidimensionnel de la précarité, et notamment la mise en évidence d'une défaveur matérielle, d'une part, et d'une défaveur sociale, d'autre part. La **figure 9** permet de visualiser un indicateur Fdep sur Paris : les zones bleues sont les plus favorisées, les zones rouges les plus défavorisées. ■■■■

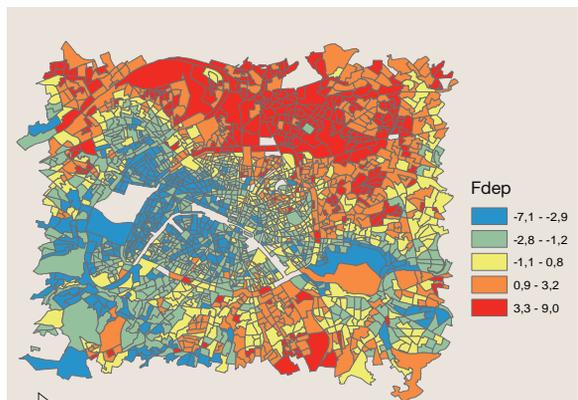


figure 9.
Exemple d'un indicateur de défaveur sociale (Fdep développé par l'INSERM) agrégé à l'IRIS sur Paris

(source INERIS, en collaboration avec l'Université de Nanterre)

La complexité du sujet des inégalités est liée au traitement des interactions spatiales et temporelles entre des variables multiples, généralement sélectionnées sur la base de leur disponibilité et selon l'objectif poursuivi. La constitution d'indicateurs d'exposition environnementale doit reposer sur des méthodes robustes permettant de maîtriser leur représentativité sur une échelle spatiale donnée.

AXE 1 : S'ASSURER DE LA REPRÉSENTATIVITÉ ET DE LA PERTINENCE DES DONNÉES

La constitution de variables repose sur l'utilisation de données par nature très diverses qui le plus souvent répondent à des objectifs différents. L'évaluation des inégalités environnementales d'exposition requiert un grand nombre de données : de source, de qualité des milieux environnementaux, d'exposition (alimentation), de population (comportement, vulnérabilité, sensibilité).

L'utilisation potentielle de ce type de données pour la caractérisation de l'exposition et des inégalités environnementales repose sur deux critères essentiels :

- ◆ la disponibilité de données harmonisées ;
- ◆ la représentativité géographique et temporelle de ces données.

L'analyse des structures spatiales des données permet la caractérisation des échelles de variabilité locale et régionale des phénomènes étudiés. Dans une logique de caractérisation des risques sur la santé humaine, la spatialisation des données issues des mesures environnementales pose un certain nombre de questions méthodologiques qui confèrent aux cartes réalisées de nombreuses incertitudes. L'utilisation de données ne répondant pas exactement aux objectifs de l'étude implique bien souvent d'adapter leur intégration et ainsi de formuler des hypothèses supplémentaires. Suivant les cas, le choix d'une source de données, même imparfaite, peut être adopté pour une raison ou une autre.

Les principales bases nationales de données environnementales spatialisées disponibles et utilisées dans PLAINE pour l'atlas des éléments traces métalliques (ETM)

SOURCES ET ÉMISSIONS POLLUANTES	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Inventaire historique de sites industriels et activités de service BASIAS ◆ Pollution des sols BASOL ◆ Registre français des émissions polluantes IREP ◆ Inventaire National Spatialisé INS des émissions de polluants dans l'air
CONCENTRATIONS DANS L'ENVIRONNEMENT	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Air : Historique archivé dans le système de prévision de la qualité de l'air PREV'AIR ◆ Eau : Système d'information des services santé-environnement Eau SISE-Eaux ◆ Sol : Collecte nationale d'analyse des éléments traces métalliques BD ETM, Réseau de mesure de la qualité des sols RMQS

Les principaux donneurs d'ordre : ministères en charge de l'écologie et de la santé

Les principaux opérateurs : AASQA, ADEME, BRGM, Consortium PREV'AIR, Groupement d'intérêt scientifique sol, INERIS, INRA.

NB : Pour caractériser les expositions, PLAINE utilise aussi les données nationales d'alimentation (études alimentation totale de l'ANSES), de recensement des populations (INSEE), d'occupation des sols (CORINE Land Cover) et la banque de données de paramètres descriptifs de la population française au voisinage d'un site pollué CIBLEX (ADEME-IRSN).

AXE 2: MAÎTRISER LES ÉCHELLES SPATIALES D'ANALYSE

En France, les données populationnelles harmonisées sont disponibles à l'échelle communale ou des Îlots regroupés pour l'information statistique (IRIS). Le découpage en IRIS correspond à l'unité statistique la plus détaillée et regroupe environ 2 000 habitants pour les IRIS résidentiels. À l'intérieur de ces unités statistiques élémentaires, des disparités subsistent en fonction de conditions locales, voire individuelles. Celles-ci peuvent être réduites en minimisant les niveaux d'agrégation pour se rapprocher aussi près que possible du niveau individuel. La combinaison de descripteurs pour un espace n'est pas la même lorsqu'on est au niveau du quartier, d'une ville ou de la région entière. Le changement d'échelle est donc loin d'être une simple opération de sommation. Le choix d'une échelle spatiale implique l'adaptation des indicateurs, des données et des méthodes de traitement à mettre en place. Lorsque l'étude est très localisée, des données au niveau individuel sont quelques fois disponibles (questionnaires, observations). Des campagnes de mesures ou de collectes spécifiques peuvent être initiées. Aux échelles régionales, le choix des données s'oriente préférentiellement vers des données provenant de bases régionales ou nationales. Dans le champ de la recherche, certains modèles ont pu être utilisés à un niveau territorial donné pour tenter de travailler sur les spécificités de ces échelles. Les projets PLAINE de l'INERIS et Equit'Area, développé par l'École des hautes études de santé publique (EHESP), illustrent bien cet aspect (**annexe 2**). Pour étudier le lien entre statut socio-économique des populations et proximité à des industries polluantes, les deux études utilisent des variables environnementales et socio-économiques adaptées à leurs échelles d'analyses, la première au niveau local et la seconde au niveau régional.

Une approche territoriale, qui revient à un découpage administratif, se révèle peu adaptée à l'évaluation des nuisances environnementales et pose la question de l'échelle pertinente et du choix entre une logique d'aménagement du territoire (ex. région, ville, etc.) et une logique qui considère les compartiments environnementaux comme des ensembles homogènes et cohérents (ex. agences de bassin). Les échelles d'analyse doivent aussi être en adéquation avec les échelles de gouvernance pour assurer leur opérationnalité, leur comparabilité et leur intégration au niveau décisionnel. ■■■■

L'UTILISATION ÉCLAIRÉE DE DONNÉES SPATIALISÉES REPRÉSENTE UN DÉFI LIÉ :

- ◆ au géocodage ;
- ◆ à la disponibilité et la qualité des données ;
- ◆ à l'absence d'accompagnement par des métadonnées, ou à l'hétérogénéité spatio-temporelle des mesures ou des estimations.

Dans les bases de données de gestion environnementale, l'ensemble des polluants ou facteurs de risque d'intérêt n'est pas mesuré. Les fréquences de mesure ou les densités spatiales de prélèvement ne sont pas toujours suffisantes (ou sont complètement inutilisables). Pour certains polluants, les mécanismes apparaissant à de faibles doses sont difficilement caractérisables avec l'utilisation de bases de données de surveillance produites en routine, la sensibilité des analyses n'étant pas adaptée (seuil de détection trop élevé).

Étudier les inégalités environnementales suppose de réunir les conditions permettant de travailler à plusieurs échelles de façon cohérente. Cela passe par l'harmonisation des méthodes et outils et le partage des métadonnées et des indicateurs. Les questions de zonage administratif en lien avec les logiques de compensation doivent être prises en compte, suivant les attentes des populations.

La structure de travail utilisant le couplage de la méthodologie de l'évaluation de l'exposition avec un SIG a été privilégiée par l'INERIS pour évaluer les inégalités environnementales. Ces investigations se heurtent à l'absence de données situées à l'interface entre les phénomènes physiques et biologiques. Les actions de recensement, de surveillance de la qualité de l'environnement ont été conduites indépendamment et restent lacunaires pour la caractérisation in fine de facteurs de risque dont les effets sur la santé ne sont pas toujours suffisamment connus.

Toutefois le développement d'outils d'analyse spatiale et de modèles d'exposition permet d'améliorer la représentativité et la robustesse des indicateurs environnementaux. La recherche accompagne l'émergence d'outils de diagnostic comme PLAINE, construit pour répondre aux besoins d'opérationnalité des gestionnaires du risque et de la santé.

L'exposition est inégalitaire et incite l'action publique à éliminer les sources. Les vulnérabilités sont génétiques et sociales, donc à la fois d'ordre individuel et collectif, et relèvent de politiques publiques plus orientées vers des considérations sociales et comportementales. Cette thématique, pluridisciplinaire par essence, appelle à l'intégration d'un ensemble de compétences plus vaste et au décloisonnement des sciences environnementales et des sciences sociales. La production de données et de résultats est loin d'être cohérente et fédérée pour permettre l'opérationnalité de leur réutilisation dans le cadre de la caractérisation des inégalités environnementales. Au stade actuel, l'INERIS est l'un des acteurs qui dispose de compétences et d'outils sur cette thématique mais il est essentiel de faire évoluer les pratiques et de les faire converger pour consolider la robustesse des démarches actuelles.

À partir des constatations évoquées précédemment, deux principales recommandations sont proposées par l'INERIS dans le rapport dirigé par Éloi Laurent sur l'égalité des territoires (dynamiques, mesures et politiques). Elles pourraient

PRIVILÉGIER LES SOLUTIONS PRAGMATIQUES :

Le territoire n'est pas au centre de toutes les inégalités, et il est important que les outils conduisent vers des solutions pragmatiques. Les comportements, les modes de consommation et la mobilité des populations doivent être intégrés aux logiques de spatialisation.

être adaptées dans le contexte du 3^e Plan National Santé Environnement. Les perspectives discutées ci-avant et la feuille de route de la recherche à l'INERIS à l'horizon 2020 (annexe 4) proposent des pistes de recherche pouvant contribuer à la mise en œuvre de ces recommandations.

+ D'INFO

En savoir plus : Le rapport de février 2013 « Vers l'égalité des territoires », dirigé par Eloi Laurent : <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/var/storage/rapports-publics/134000131/0000.pdf>

RECOMMANDATION 1 : STRUCTURER LES RÉSEAUX DE PRODUCTION DE DONNÉES ENVIRONNEMENTALES ET SANITAIRES ET ASSURER LEUR SUIVI

La conception de production des données doit être optimisée pour permettre leur intégration dans le cadre de l'évaluation des inégalités environnementales, au-delà des objectifs

spécifiques d'utilisation initialement prévus. La structuration des réseaux d'acquisition existants en un réseau cohérent couvrant l'ensemble du territoire national permettrait la collecte, l'intégration, l'analyse, l'interprétation et la diffusion de données environnementales, d'exposition, socio-économiques et sanitaires plus facilement exploitables. Il s'agirait d'établir, à l'échelle nationale, les prérequis pour la collecte et la diffusion de données « intelligentes » sanitaires et environnementales, dans l'objectif de fournir les informations nécessaires à la caractérisation des inégalités environnementales et à l'identification des actions améliorant la santé des populations. Par exemple, le réseau permettrait de définir des accords de partage des données ou des normes de métadonnées pour faciliter l'identification des données d'intérêt et supprimer les risques de mauvaises interprétations.

Le modèle du programme « Environmental Public Health Tracking » développé aux États-Unis est une source d'inspiration intéressante, avec la mise en place d'une coordination nationale politiquement et techniquement légitime. Elle permettrait un véritable échange entre des organismes multidisciplinaires capables de suivre, d'identifier, d'organiser et d'améliorer la qualité des données pertinentes pour le suivi des inégalités environnementales. Une telle coordination en France aurait pour objectifs de définir les principales fonctions et éléments d'un tel réseau ainsi que les besoins, priorités, orientations à suivre, et d'évaluer leurs mises en œuvre.

PROJET DE 3^e PNSE :

- ◆ Changer le paradigme dans le pilotage de la politique publique en santé environnement.
- ◆ Prévention générale et collective.
- ◆ Prévention individuelle et ciblée.
- ◆ Mieux lutter contre les inégalités environnementales territoriales de santé.
- ◆ Renforcer la dynamique en santé environnement dans les territoires.

Mis en ligne pour consultation publique le 25/09/14 sur : <http://www.consultations-publiques.developpement-durable.gouv.fr/projet-de-plan-national-sante-a768.html>

RECOMMANDATION 2 : ALLER VERS UNE PLATE-FORME MÉTHODOLOGIQUE POUR L'ÉVALUATION DES INÉGALITÉS

Les outils de diagnostic pourraient alimenter une plateforme méthodologique pour évaluer de manière intégrée les inégalités environnementales. Celle-ci pourrait combiner un ensemble de méthodes de traitement, d'analyse spatiale, de modèles d'évaluation de l'exposition et de modèles statistiques. La boîte à outils permettrait l'élaboration de scénarios d'exposition réalistes sur un territoire, et in fine l'identification des zones de surexposition des populations ainsi que leurs déterminants. Cet outil fournirait une base informatique, scientifique et technique, et favoriserait l'échange de données et de connaissances au sein d'un réseau multidisciplinaire d'acteurs sur la thématique des inégalités. Il permettrait l'interopérabilité des systèmes d'information et bases de données existantes. Les bases de données locales, régionales et nationales produites de manière ponctuelle et systématique en France seraient intégrées à la plateforme afin d'en optimiser le traitement dans l'objectif poursuivi. La plateforme pourrait évoluer par l'intégration de nouveaux types de données disponibles et de nouvelles connaissances issues de la recherche. L'information ainsi obtenue servirait à conduire les politiques environnementales, territoriales et de santé publique dans les différents niveaux administratifs de gestion. Un dernier enjeu reste la communication, sensible autour du sujet des inégalités. Aussi, la structuration de l'information autour d'une plateforme unique permettrait une meilleure appropriation par la société de ces questions complexes. ■■■■

PRÉCONISATIONS DE LA CORE

SUR LES TRAVAUX DE L'INERIS

Réunie le 20 juin 2014, la CORE met en avant la complexité du sujet des inégalités environnementales. Il convient de s'assurer que les objectifs poursuivis correspondent aux attentes des multiples parties prenantes. Pour cela, elle recommande :

De mettre en place, à chaque déclinaison territoriale d'une étude d'inégalités environnementales, une réunion publique avant et après la réalisation de l'étude. Avant, afin de collecter les attentes des acteurs locaux, et le cas échéant de les faire contribuer à l'identification des facteurs de risque perçus comme pertinents. Après, pour s'assurer que les résultats de l'étude correspondent au moins en partie aux attentes exprimées, et le cas échéant en tirer un retour d'expérience.

LA CORE EN QUELQUES MOTS

La Commission d'orientation de la recherche et de l'expertise (CORE) est l'une des instances de gouvernance de l'INERIS. Officialisée par l'arrêté ministériel du 26 avril 2011 relatif aux comités d'orientation scientifique et technique de l'INERIS, elle marque le passage d'une gouvernance uniquement scientifique à une gouvernance scientifique et sociétale, portant également sur les activités d'expertise et d'appui aux pouvoirs publics. Fort de quinze membres, elle réunit en six collèges des représentants de différents secteurs de la société : monde académique, industriels, organisations non gouvernementales (ONG), syndicats, élus et État. Elle concrétise la démarche d'ouverture à la société de l'INERIS.

La CORE a trois grandes missions : partager les enjeux et les questionnements sociétaux ; appuyer la diffusion des résultats des recherches et expertises de l'INERIS ; contribuer à la programmation de ses travaux scientifiques et techniques. ■■■■■

CHRONOLOGIE DE LA DÉMARCHE D'OUVERTURE À LA SOCIÉTÉ DE L'INERIS

AVRIL 2005

Visite de la délégation de parlementaires de la commission « Développement durable et aménagement du territoire ». Au cours de sa visite, la commission a encouragé l'Institut à développer la capacité de ses experts et chercheurs à participer au débat public.

SEPTEMBRE 2006

Le renforcement de la capacité des experts à participer au débat public est inscrit dans le contrat d'objectifs 2006-2010 signé entre l'État et l'INERIS.

2007-2008

Renforcement de l'ouverture à la société de l'Institut en parallèle du Grenelle de l'Environnement. Démarrage des réunions ONG.

AVRIL 2008

Organisation de la première rencontre-débat avec des représentants d'ONG et d'associations en vue d'échanger sur les résultats de travaux de recherche ou d'expertise de l'Institut. 24 autres débats ont été organisés depuis lors.

MAI 2008

Le conseil d'administration donne un avis favorable à l'évolution envisagée par l'INERIS de ses instances d'évaluation scientifique et technique. Il engage l'Institut à effectuer les démarches nécessaires pour préciser ses propositions.

OCTOBRE 2008

Signature d'une charte d'ouverture à la société avec l'IRSN et l'AFSSET.

JUIN 2009

◆ Ouverture du séminaire scientifique annuel de l'Institut à la société civile. La création d'une Commission d'orientation de la recherche et de l'expertise (CORE), composée de représentants des différentes composantes de la société, y est décidée.

◆ Signature de l'avenant Grenelle au contrat d'objectifs État-INERIS qui préconise notamment l'élargissement de la gouvernance scientifique à de nouveaux acteurs.

SEPTEMBRE 2009

Le conseil d'administration est informé des modalités d'évolution de la gouvernance scientifique de l'Institut discutées lors du séminaire de juin.

MARS 2010

Réunion de pré-figuration de la CORE à l'INERIS.

JUIN 2010

Première participation de la CORE au séminaire des orientations scientifiques et techniques de l'INERIS portant sur la préparation du contrat d'objectifs 2011-2015 de l'Institut.

SEP. PUIS DÉC. 2010

L'INERIS adopte, par délibération du conseil d'administration, la charte nationale de l'expertise qui prévoit dans son article 9 des dispositions particulières relatives au devoir d'alerte. Le protocole de gestion des ressources publiques signé avec l'État en décembre prévoit donc pour l'INERIS d'entreprendre l'investigation « en amont » des suites à donner « en cas d'expression en son

sein d'un risque, notamment à caractère environnemental ou sanitaire » et précise que les rapports qui en seront issus ont vocation à être présentés à la CORE pour avis.

OCT. ET NOV. 2010

Premières réunions de travail de la CORE qui s'impliquent notamment sur les travaux de hiérarchisation des substances chimiques conduits par l'Institut.

AVRIL 2011

Parution au *Journal officiel* de l'arrêté ministériel relatif aux comités d'orientation scientifique et technique de l'Institut national de l'environnement industriel et des risques. La CORE est officiellement créée.

SEPTEMBRE 2011

Le conseil d'administration est informé de l'élargissement du comité de suivi de la charte de déontologie à un membre de la CORE issu du collège associations.

SEP. - OCT. 2011

Les membres de la CORE sont nommés par le directeur général de l'INERIS après consultation du conseil scientifique pour une durée de trois ans renouvelable.

AVRIL 2012

Le conseil d'administration de l'INERIS approuve la proposition de nomination du président et vice-président de la CORE.

2013-2014

Poursuite des activités de la CORE et organisation de 10 réunions ONG.

annexes

34 ♦ ANNEXE 1

Clés de lecture des cartes d'exposition

36 ♦ ANNEXE 2

Deux démarches opérationnelles en France :
PLAINE et EQUIT'AREA

38 ♦ ANNEXE 3

Projets de recherche en cours ou récents impliquant PLAINE

39 ♦ ANNEXE 4

Feuille de route de la recherche sur les inégalités
environnementales à l'INERIS à l'horizon 2020

40 ♦ ANNEXE 5

Publications et liens utiles

CLÉS DE LECTURE DES CARTES D'EXPOSITION

Cette annexe précise ce que sont les indicateurs spatialisés d'exposition représentés sur les principales cartes proposées par l'INERIS et ce que signifient les valeurs indiquées et les échelles de couleur associées.

LA DOSE JOURNALIÈRE D'EXPOSITION

Le modèle multimédia d'exposition MODUL'ERS (focus p. 16) permet le calcul des doses d'exposition liées à l'ingestion de produits d'alimentation (d'origine locale et commerciale), d'eau de consommation, de sol et des concentrations d'exposition liées à l'inhalation de contaminants atmosphériques. Ce modèle est alimenté par des bases de données spatialisées de différents types : environnementales (eau, air, sol, alimentation) et populationnelles, interfacées avec un système d'information géographique.

L'utilisation de la Dose journalière d'exposition (DJE) permet la combinaison des expositions relatives à l'ensemble des milieux d'exposition par ingestion (eau, sol, aliments). Elle est calculée selon l'équation suivante :

$$DJE_{i,k,m} = \sum_j \frac{FE_k \times Q_{j,k} \times (Cl_{i,j,m} \times f_{AC,j,m} + Cn_{i,j} \times (1 - f_{AC,j,m}))}{PC_k \times 365}$$

- ◆ **DJE_{i,k,m}** : Dose journalière d'exposition moyenne pour une substance *i*, pour la classe d'âge *k* et pour la maille *m* (µg/kg/j : microgrammes de substance par kilogramme de poids corporel et par jour),
- ◆ **Q_{j,k}** : Quantité journalière ingérée de matrice *j* par la classe d'âge *k* (kg/j),
- ◆ **Cl_{i,j,m}** : Concentration en substance *i* dans la matrice d'exposition *j* locale pour la maille *m* (µg/kg),
- ◆ **Cn_{i,j}** : Concentration en substance *i* dans la matrice d'exposition *j* non locale (µg/kg),
- ◆ **f_{AC,j,m}** : Fraction de matrice d'exposition *j* pour la maille *m* (facteur d'autoconsommation),
- ◆ **FE_k** : Fréquence d'exposition de la classe d'âge *k* (jours/an),
- ◆ **PC_k** : Poids corporel moyen de la classe de population *k* sur la période d'exposition.

PRINCIPES CLÉS :

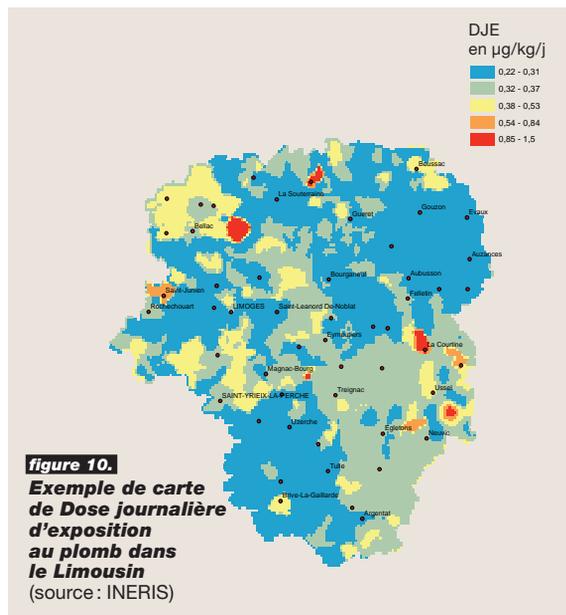
Échelle relative d'exposition :

de la moins importante (bleu) à la plus importante (rouge) ; cette échelle est variable selon les polluants et les territoires considérés ;

Échelle relative des incertitudes sur l'exposition :

de la moins importante (petite maille) à la plus importante (grande maille).

Les scénarios d'exposition construits de manière à caractériser des groupes de référent (classe d'âge, localisation, comportement alimentaire) permettent de quantifier l'exposition des populations aux différents polluants. Des scénarios moyens (retranscrivant l'exposition la plus vraisemblable de la majorité de la population sur une durée de vie entière, dans les conditions retenues) sont utilisés ici.



Les zones en bleu sont celles où l'exposition par ingestion est, sur la base du scénario retenu et pour la substance considérée, la moins importante.

L'INDICATEUR SPATIALISÉ D'EXPOSITION (OU INDICATEUR RELATIF SPATIALISÉ)

La construction d'indicateurs d'exposition plus intégrés à travers la sommation des Quotients de danger (QD) associés à la fois aux voies d'ingestion et d'inhalation permet la combinaison de ces deux voies d'exposition. En effet, les agents toxiques n'ont généralement pas les mêmes mécanismes d'action, les mêmes organes cibles, ni les mêmes types d'effet d'une voie d'exposition à une autre. Il serait donc incorrect de simplement additionner des quantités ingérées et inhalées. Ces dernières sont ainsi confrontées aux Valeurs toxicologiques de référence (VTR) respectives par ingestion et inhalation, utilisées dans le cadre des évaluations de risque sanitaire, pour obtenir des QD pour les risques non cancérogènes. Idéalement, une modélisation de la toxicodynamie permettrait un calcul d'exposition organe par organe. Ici, l'approche simplificatrice retenue permet, dans un objectif opérationnel d'aide à la gestion, de produire un indicateur intégré et relatif pour identifier des sous-groupes de populations sur-exposées. Il est important de noter que cet indicateur ne représente pas un risque absolu pour la santé de ces populations, même dans les zones représentées par la couleur rouge. Il permet par contre d'identifier des zones potentielles d'actions prioritaires en matières environnementale, sanitaire ou sociale.

L'Indicateur spatialisé relatif (ISR) aussi appelé indicateur spatialisé d'exposition pour plus de lisibilité dans ce document est défini, tel que :

$$ISR_i = QD_{i,inh} + QD_{i,ing}$$

- ◆ **ISR_i** : Indicateur spatialisé relatif pour le polluant i (valeur relative sans unité),
- ◆ **QD_{i,inh}** : Quotient de danger pour la voie d'inhalation et le polluant i (sans unité), obtenu par le rapport entre la concentration d'exposition par inhalation au polluant i (en µg/m³) et sa toxicité relative par inhalation exprimée dans la même unité,
- ◆ **QD_{i,ing}** : Quotient de danger pour la voie d'ingestion et le polluant i (sans unité), obtenu par le rapport entre la DJE au polluant i (en µg/kg/j) et sa toxicité relative par ingestion exprimée dans la même unité.

Dans la même logique d'agrégation, il est possible de sommer les ISR obtenus pour différents polluants : on parle alors d'indicateurs combinés (focus p.20).

Enfin, des informations sur la qualité des données utilisées pour caractériser le ou les compartiment(s) de l'environnement contribuant le plus à l'exposition peuvent être intégrées aux cartographies d'indicateur spatialisé de l'exposition, à travers l'utilisation d'une maille de taille variable : moins la représentativité spatiale de la donnée d'entrée est bonne, plus l'incertitude est élevée sur l'estimation de l'exposition et plus la maille est grande.

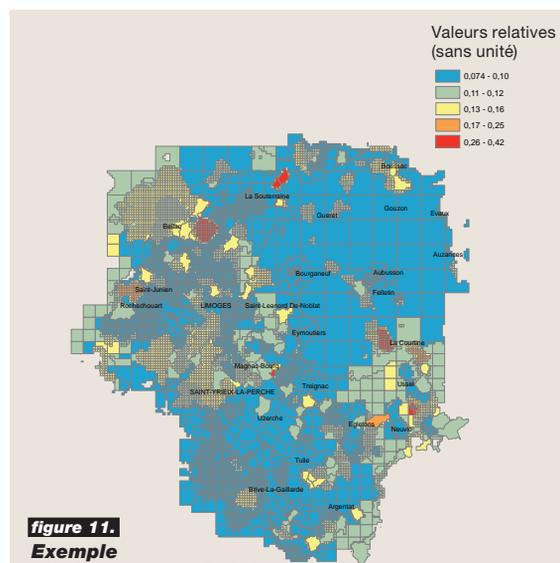


figure 11.
Exemple d'indicateur spatialisé d'exposition pour le plomb dans le Limousin
(source : INERIS)

Pour cette substance et ce territoire, l'exposition dans les zones les plus surexposées est principalement déterminée par les compartiments sol et eau ; les mailles sur la carte reflètent la qualité des données disponibles pour les caractériser : plus elles sont grandes, moins la représentativité spatiale des données est bonne et plus l'incertitude sur l'estimation de l'exposition est importante.

DEUX DÉMARCHES OPÉRATIONNELLES EN FRANCE : PLAINE ET EQUIT'AREA

Le projet de recherche Equit'Area est conduit par des chercheurs de l'École des hautes études en santé publique (EHESP). Il vise à explorer la contribution de certaines pollutions et nuisances environnementales aux inégalités sociales de santé qui existent en France⁽¹⁵⁾. Le projet se veut aussi une plate-forme virtuelle pour éclairer l'action publique qui chercherait à réduire ces inégalités sociales de santé. La singularité du projet réside dans la mise à disposition auprès du plus grand nombre d'une base virtuelle d'informations statistiques offrant une représentation très fine de la réalité des inégalités sociales de santé, et permettant de comprendre certains facteurs y contribuant. Créé pour informer toutes les parties intéressées, et notamment pouvoirs publics et décideurs économiques, un site Internet propose des cartographies détaillées sur la mortalité infantile selon les caractéristiques socio-économiques du territoire, montrant les fortes disparités du risque dans les agglomérations.

L'unité géographique utilisée est l'IRIS (*figure 12*). Les zones d'étude sont limitées à quatre zones urbaines : Lille, Paris (et petite couronne), Lyon et Marseille. Les variables environnementales étudiées sont la pollution atmosphérique urbaine, la proximité aux industries polluantes et les nuisances sonores. Un index de défaveur socio-économique a été construit à partir de 19 variables socio-économiques et démographiques du recensement de l'Institut national de la statistique et des études économiques (INSEE). Les données sanitaires ont été recueillies sur le terrain par des enquêteurs formés à cet effet auprès des services d'état civil des mairies des communes composant les quatre zones d'étude.

note 15_ Padilla C, Lalloué B, Zmirou-Navier D, Deguen S. « Mortalité infantile, défaveur et proximité aux industries polluantes : une analyse spatiale conduite à fine échelle (agglomération de Lille, France) ». Environnement, Risques et Santé, 2011, 10 (3) : 216-221.

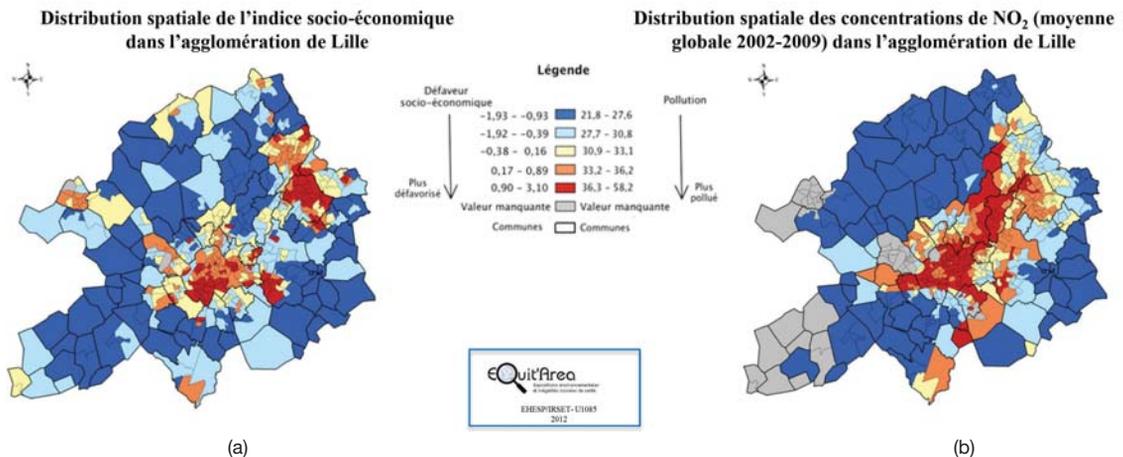


figure 12.

Distributions spatiales (a) de l'indice socio-économique et (b) des concentrations de dioxyde d'azote fournies par ATMO Nord-Pas-de-Calais, sur l'agglomération de Lille Métropole - Projet Equit'Area

(source : EHESP, 2012)

Les deux réalisations opérationnelles de l'INERIS et de l'EHESP, PLAINE et Equit'Area, montrent l'intérêt des approches cartographiques dans la présentation des résultats. L'outil cartographique est un moyen de communication efficace permettant la synthèse visuelle des données et constitue un outil privilégié pour l'orientation de politiques et de mesures localisées. Les approches présentées permettent l'identification de zones de surexposition potentielle et l'analyse des associations spatiales entre inégalités environnementales, socio-économiques et sanitaires. Ces deux types d'étude illustrent la convergence des disciplines de l'épidémiologie et de l'évaluation des risques pour permettre la construction d'outils d'aide à la décision pour les gestionnaires de la santé et de la prévention des risques. Enfin, PLAINE identifie et quantifie des relations entre statut socio-économique des populations et proximité à des sites potentiellement dangereux pour la santé à travers la construction d'indicateurs de

défaveur socio-environnementale au niveau régional. Sur des échelles locales, le projet Equit'Area ne conclut pas sur des relations directes entre pollution et défaveur sociale sur les agglomérations étudiées. Ces travaux confirment que des situations de défaveur sociale et de surexposition environnementale sont bien rencontrées, mais que cette relation n'est pas systématique. Reprises dans le rapport final de l'OMS sur les inégalités environnementales de santé⁽¹⁶⁾, ces deux réalisations (**figure 13**) montrent la complémentarité et l'intérêt du couplage de ces approches aux différentes échelles de l'analyse, dont le choix dépend de la question de politique publique posée.

note 16_ Caudeville J. et Boudet C. 2012. Environmental health inequality action in France : a report on the SIGFRIED project. Chapter in « Environmental health inequalities in Europe ». Copenhagen, WHO Regional Office for Europe.

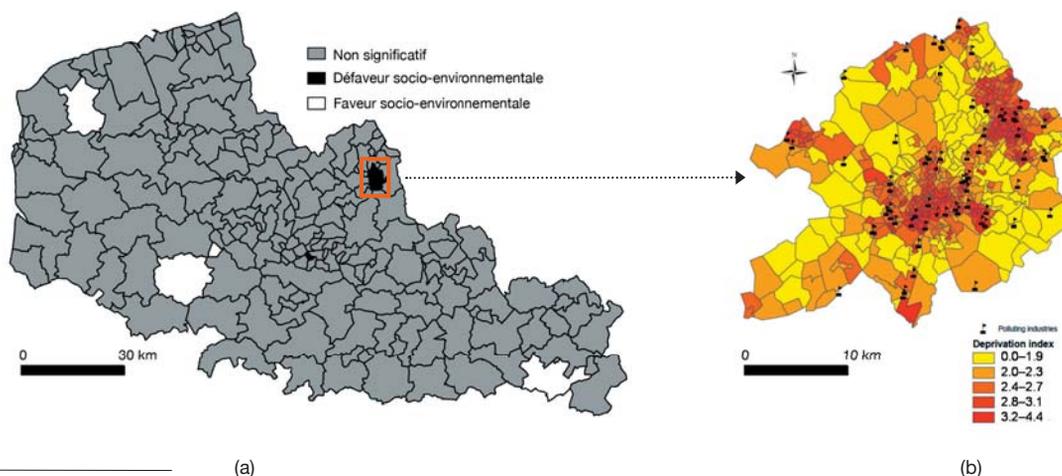


figure 13.

Extrait du rapport de l'OMS (2012) : identification des zones de défaveur sociale associées à des populations vivant à proximité d'industries polluantes sur la région Nord-Pas-de-Calais avec l'outil PLAINE (a) et sur l'agglomération Lilloise dans le cadre du projet Equit'Area (b)

(source : WHO Regional Office for Europe, 2012)

PROJETS DE RECHERCHE EN COURS OU RÉCENTS IMPLIQUANT PLAINE

CIRCE: CANCER, INÉGALITÉS, RÉGION ET CANTON, ENVIRONNEMENT

- ◆ **Objectif:** étudier les liens au niveau (infra) régional entre environnements de vie (extérieur, intérieur, professionnel) et la mortalité ou la morbidité liée à certains cancers, et analyser les disparités au niveau national.
- ◆ **Partenariats:** Inserm, Observatoires régionaux de santé (ORS).
- ◆ **Financement:** MEDDE, Conseils régionaux sous convention.
- ◆ **Apport de PLAINE:** fourniture des cartes d'exposition environnementale, couplage des données environnement, défaveur sociale, santé (CépiDc, registres des cancers).

DICER: DÉFINITION D'INDICATEURS POUR LA CARACTÉRISATION DES EXPOSITIONS AUX CHAMPS RADIOFRÉQUENCES

- ◆ **Objectif:** définir des indicateurs spatialisés pour caractériser les expositions aux champs radiofréquences.
- ◆ **Partenariats:** CSTB, Telecom-orange, INRS.
- ◆ **Financement:** APR Anses 2011.
- ◆ **Apport de PLAINE:** traitement des données spatiales et temporelles, développement d'outil de modélisation de l'exposition, construction d'indicateurs spatialisés couplant exposition, budgets espace-temps et mobilité des populations.

MECO-EXPO: IMPRÉGNATION IN UTERO DES NOUVEAU-NÉS À CERTAINS PESTICIDES ET ÉVALUATION DES IMPACTS SUR LE DÉVELOPPEMENT FŒTAL

- ◆ **Objectif:** utiliser le méconium pour étudier les niveaux d'imprégnation *in utero* aux pesticides et le lien avec certains événements cliniques à la naissance.

- ◆ **Partenariats:** UFR de médecine d'Amiens, PériTox (unité mixte entre l'Université Picardie-Jules-Verne et l'INERIS).
- ◆ **Financement:** programme de recherche post-Grenelle, région Picardie.
- ◆ **Apport de PLAINE:** géoréférencement des données d'imprégnation, analyse de la variabilité locale et régionale de l'imprégnation aux pesticides.

SPAMOPEX: DE LA SPATIALISATION DE L'EXPOSITION AUX PESTICIDES DES NOUVEAU-NÉS À LA MODÉLISATION PBPK

- ◆ **Objectif:** évaluation de l'exposition aux pesticides des nouveau-nés au cours de la grossesse (suite de MECO-Expo).
- ◆ **Partenariats:** UFR de médecine d'Amiens, PériTox (unité mixte entre l'Université Picardie-Jules-Verne et l'INERIS).
- ◆ **Financement:** programme de recherche post-grenelle, région Picardie.
- ◆ **Apport de PLAINE:** construction d'un indicateur composite d'exposition aux pesticides, examen des relations entre événements cliniques, données d'imprégnation, défaveur sociale, indicateur d'exposition.

POPEYE: EXPOSITION AUX PESTICIDES DANS LA COHORTE MÈRE-ENFANT ELFE ET ISSUES DE GROSSESSE

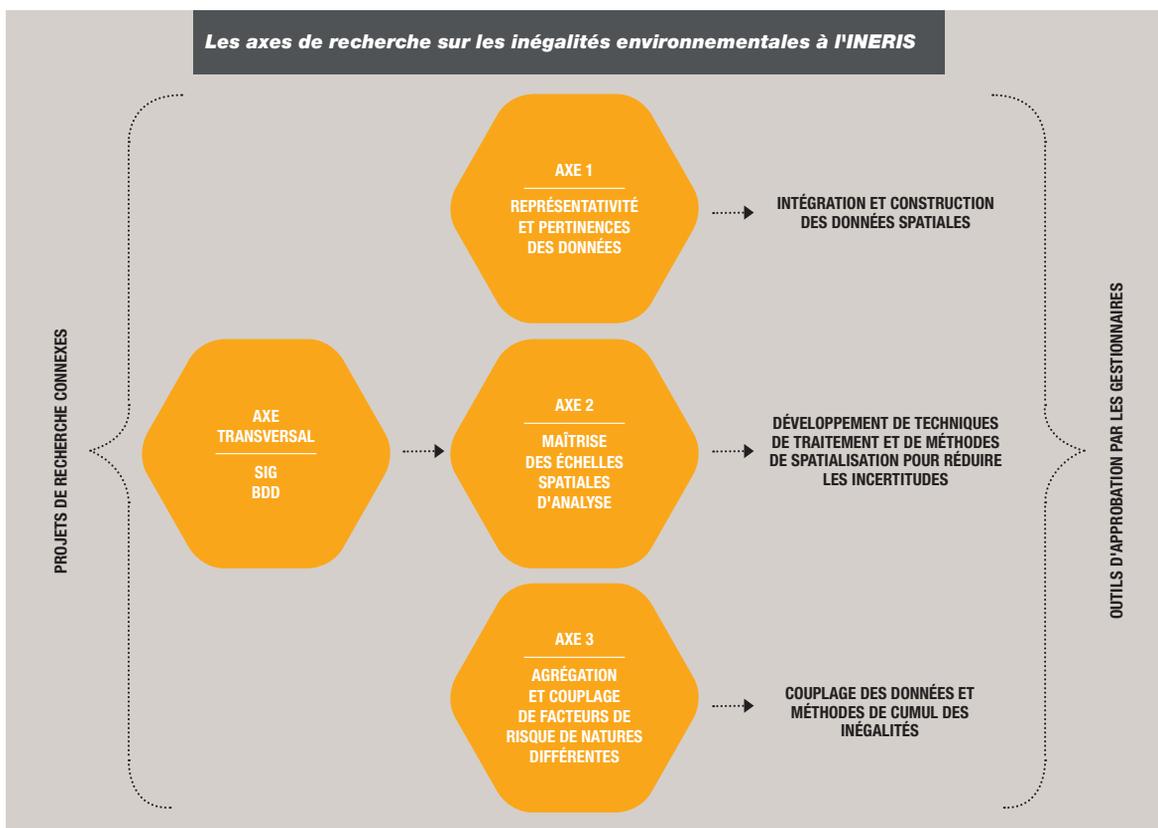
- ◆ **Objectif:** décrire l'exposition aux pesticides pendant la grossesse des mères de la cohorte nationale ELFE et évaluer l'impact possible d'une exposition pendant la grossesse sur son issue.
- ◆ **Partenariats:** Inserm, InVS, PériTox, ANSES, Université du Luxembourg.
- ◆ **Financement:** APR Anses 2013.
- ◆ **Apport de PLAINE:** traitement de la base de données de vente des phytosanitaires et spatialisation d'un indicateur de source-pesticide.

FEUILLE DE ROUTE DE LA RECHERCHE SUR LES INÉGALITÉS ENVIRONNEMENTALES À L'INERIS À L'HORIZON 2020

L'objectif de PLAINE est de contribuer à la caractérisation, la réduction et la gestion des inégalités environnementales. Les spécificités techniques de la démarche continueront à être développées en lien avec une meilleure accessibilité aux données et l'amélioration des connaissances sur les techniques de spatialisation. En amont, PLAINE a vocation à contribuer à des programmes de recherche connexes en santé-environnement fondés sur des partenariats. En aval, l'effort sera mis sur la construction d'une interface permettant une appropriation plus efficace des outils par les gestionnaires. Tout cela ne pourra prendre place que dans le cadre d'un renforcement de la coordination nationale et locale dans l'organisation de la réduction des risques ainsi que d'une meilleure lisibilité des mécanismes de recherche en santé-environnement.

LES OBJECTIFS DE RECHERCHE :

- ◆ Améliorer le recueil et le traitement des données qui contribuent à la caractérisation des inégalités environnementales aux différentes échelles : locale, régionale et nationale.
- ◆ Construire une méthodologie de référence pouvant alimenter une plate-forme méthodologique.
- ◆ Utiliser les outils pour mieux orienter les futures campagnes de collecte des données et coupler les facteurs de risque de natures différentes présents sur un territoire. Développer les méthodes d'agrégation permettant de coupler les facteurs de risque.



QUELQUES PUBLICATIONS

► Saib M.S., Caudeville J., Carré F., Ganry O., Trugeon A., Cicolella A. (2014)

Spatial relationship quantification between environmental, socioeconomic and health data at different geographic levels. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 11, 3765-3786. Doi : 10.3390/ijerph110403765.

► Caudeville J, Bonnard R., Boudet C., Denys S., Govaert G., Cicolella A. (2014)

Development of a spatial stochastic multimedia model to assess population exposure at a regional scale. *Journal of Total Environment*. 432, 297-308.

► Caudeville J, Goovaerts P, Carré F, Bonnard R, Arrouays D, Cicolella A, Jolivet C, Saby NPA, Boudet C. (2012)

Spatial modeling of human exposure to soil contamination- an example of Digital Soil Assessment. Chapter in "Digital Soil Assessments and beyond". Eds. Minasny B, Malone BP, McBratney AB. Published CRC Press.

► Caudeville J, Boudet C, Denys S, Bonnard R, Govaert G, Cicolella A. (2011)

Caractérisation des inégalités environnementales en Picardie fondée sur l'utilisation couplée d'un modèle multimédia et d'un système d'information géographique. *Environnement, risques et santé*. 10 (6), 239-242. Doi : 10.1684/ers.2011.0492.

► Caudeville J, Goovaerts P, Carré F, Bonnard R, Arrouays D, Cicolella A, Jolivet C, Saby NPA, Boudet C. (2011)

Construction d'une plate-forme intégrée pour la cartographie de l'exposition des populations aux substances chimiques de l'environnement. *Environnement, risques et santé*. 10 (3), 239-242.

► Caudeville J., Govaert G., Bonnard R., Blanchard O., Ung A., Bessagnet B., Cicolella A. (2009)

Construction d'un indicateur d'exposition spatialisé de l'environnement : application au Nord-Pas-de-Calais. *Air Pur* 76, 49-55.

LIENS UTILES

► États-Unis :

National Environmental Public Health Tracking Network (EPHT) : <http://ephtracking.cdc.gov/showHome.action>

► Europe :

Environment and Health Information System (EHIS) :
Système d'information européen sur la santé environnementale :
<http://www.euro.who.int/en/data-and-evidence/environment-and-health-information-system-ehis>

► France :

Equit'Area : Expositions environnementales et inégalités sociales de santé (EHESP – IRSET) :
<http://www.equitarea.org/index.php/fr/>

Atlas régional d'inégalités environnementales (INERIS)
<http://www.ineris.fr/dossiers-thematiques-ineris/143912>



Ce document est imprimé sur un papier > 70 % PEFC blanchi sans chlore et issu de forêts gérées durablement.

Le label Imprim'Vert garantit des travaux d'impression propres et respectueux de l'environnement.

INERIS Références octobre 2014

Inégalités territoriales

Parc technologique Alata - B.P. 2 - 60550 Verneuil-en-Halatte

Tél. : 03 44 55 66 77 - fax : 03 44 55 66 99

e-mail : ineris@ineris.fr - www.ineris.fr

A contribué à ce dossier :

La Direction des Risques Chroniques,
en particulier Philippe Hubert, Martine Ramel et Julien Caudeville

Rédaction :

Céline Boudet - INERIS

Conception & réalisation graphique :

Corporate Fiction - 01 43 14 99 99

Infographies : Sally Bornot

Impression :

Calligraphy

Crédits photographiques :

INERIS, Michel Chantrelle

À PROPOS DE L'INERIS

L'Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS) a pour mission de contribuer à la prévention des risques que les activités économiques font peser sur la santé, la sécurité des personnes et des biens, et sur l'environnement. Il mène des programmes de recherche visant à mieux comprendre les phénomènes susceptibles de conduire aux situations de risques ou d'atteintes à l'environnement et à la santé, et à développer sa capacité d'expertise en matière de prévention. Ses compétences scientifiques et techniques sont mises à la disposition des pouvoirs publics, des entreprises et des collectivités locales afin de les aider à prendre les décisions les plus appropriées à une amélioration de la sécurité environnementale.

Créé en 1990, l'INERIS est un établissement public à caractère industriel et commercial, placé sous la tutelle du ministère chargé de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie. Il emploie 589 personnes, basées principalement à Verneuil-en-Halatte, dans l'Oise.

Parc technologique Alata - B.P.2
60550 Verneuil-en-Halatte
Tél.: 03 44 55 66 77
Fax: 03 44 55 66 99
e-mail: ineris@ineris.fr
www.ineris.fr

INERIS
maîtriser le risque |
pour un développement durable