



## Étude SIG de la corrélation entre exposition indirecte à l'amiante et asbestose

**Perrine de Crouy-Chanel**, Ingénieur SIG, Département Santé Environnement / USIS  
INSTITUT DE VEILLE SANITAIRE 12 rue du Val d'Osne 94415 Saint-Maurice Cedex France

### Introduction

L'amiante est classé comme cancérigène chez l'homme depuis 1977 par le CIRC, Centre International de Recherche sur le Cancer ; la principale voie d'exposition à l'amiante connue aujourd'hui est l'exposition professionnelle des anciens travailleurs de l'industrie productrice ou transformatrice de ce produit ainsi que des chantiers navals, qui en font un très gros usage. L'exposition à l'amiante peut provoquer, après un délai de latence important (puisqu'il peut parfois atteindre 30 ans), l'apparition d'un cancer très spécifique, le mésothéliome, tumeur maligne de la plèvre (on parle également d'asbestose). Depuis une dizaine d'années, l'inquiétude des populations riveraines des anciens sites industriels producteurs ou transformateurs d'amiante grandit, suite à l'apparition de cas de mésothéliome chez des personnes pour lesquelles aucune exposition professionnelle n'a pu être documentée, et donc où l'exposition environnementale semble être seule en cause.

C'est dans ce contexte qu'en 2003, l'Institut de Veille Sanitaire (InVS) a reçu de sa tutelle, la Direction Générale de la Santé du Ministère de la Santé et des Solidarités, une saisine pour étudier l'impact sanitaire sur les populations riveraines des anciens sites industriels producteurs ou transformateurs d'amiante, ainsi que des affleurements naturels d'amiante (asbeste). L'objectif était d'analyser la relation entre la seule exposition environnementale aux fibres d'amiante et la survenue de mésothéliomes. Afin d'y répondre, le Département Santé Environnement de l'InVS a lancé deux études, en voie d'achèvement à ce jour, dont une étude « cas-témoin »<sup>1</sup> ayant pour objectif de comparer les expositions environnementales à l'amiante des riverains des anciens sites industriels ou des sites naturels amiantifères, en séparant les individus atteints d'un mésothéliome (les cas) et les individus non atteints (les témoins). Cette étude cas-témoin a nécessité la mise en œuvre d'un SIG afin d'estimer au mieux l'exposition environnementale des sujets, cas et témoins,

aux anciens sites producteurs ou transformateurs d'amiante et aux sites d'affleurements naturels de fibres d'amiante. Différentes méthodologies ont été déployées dans le SIG, afin de construire un score d'exposition qui reflète au mieux ce qu'a pu être l'exposition réelle des sujets.

### Les données utilisées

Plusieurs sources de données ont été utilisées afin de tenter de répondre aux objectifs fixés de cette étude.

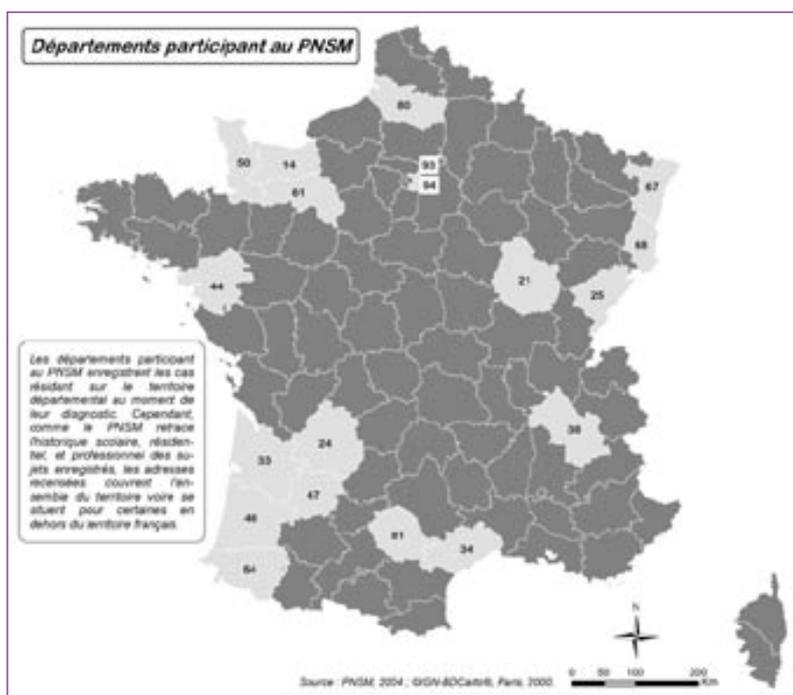
Pour les données sanitaires, on dispose de la base des individus identifiés dans le Programme National de Surveillance du Mésothéliome (le PNSM). Ce programme recense les cas confirmés de mésothéliome dans un certain nombre de départements français, et apparie pour chaque cas deux témoins. C'est une base de données riche pour les épidémiologistes car elle renseigne précisément l'exposition

<sup>1</sup> En épidémiologie, une étude cas-témoin part d'une hypothèse sur la cause possible d'apparition d'une pathologie, et cherche à la vérifier ou à la réfuter en appariant des individus atteints de cette pathologie et des individus exempts de cette pathologie sur des critères de ressemblance choisis selon la pathologie étudiée, souvent une ressemblance marquée en termes d'âge, de sexe, de milieu socio-professionnel, de lieu de résidence... En santé environnementale, on cherche le plus souvent à savoir si les individus atteints de la pathologie étudiée sont significativement plus exposés au déterminant environnemental suspecté de leur pathologie que les individus témoins.

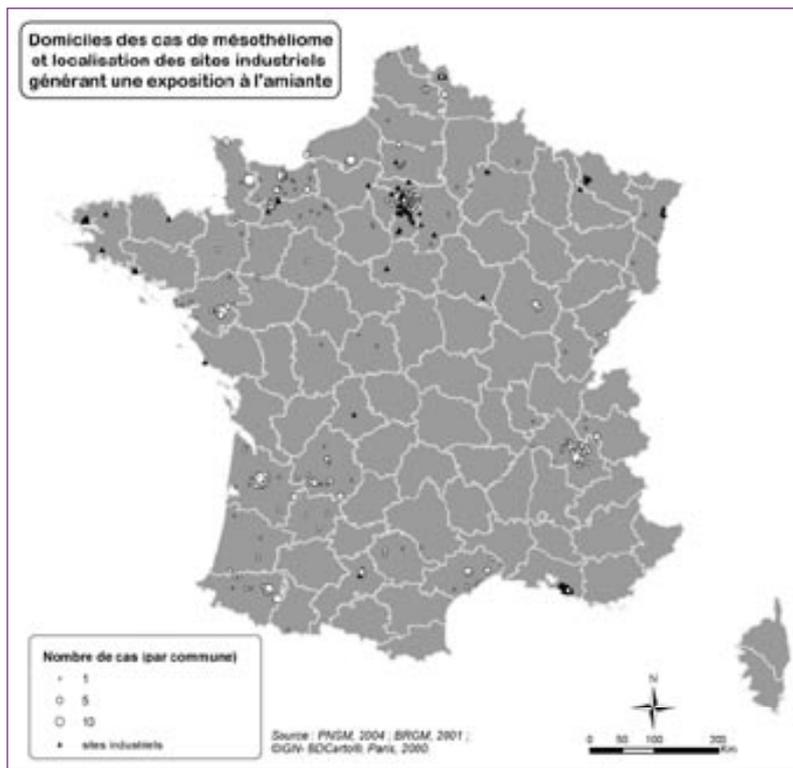
professionnelle ou domestique <sup>2</sup>. Elle a l'avantage de contenir des informations précises sur l'historique des adresses de résidence, de travail et de scolarité des individus recensés. Du fait de la mention des adresses successives des individus, le PNSM permet de reconstituer l'histoire résidentielle/scolaire/professionnelle des sujets et donc leur exposition, de façon relativement précise. Sur la période retenue pour l'étude, le PNSM recense 111 cas et 468 témoins non exposés professionnellement, diagnostiqués ou inclus entre 1998 et 2002.

Pour les données concernant les anciens sites industriels producteurs ou transformateurs d'amiante, l'inventaire mis en place par le BRGM en 2001 a été utilisé, complété par les bases de données BASIAS, BASOL, ainsi que des données Infogreffe afin de recenser le maximum de ces sites et de rassembler des données suffisamment précises pour pouvoir les localiser. L'objectif du recueil de ces données était aussi de disposer d'informations concernant le début et la fin de l'activité de ces sites industriels, afin de pouvoir ne considérer l'exposition des individus que s'ils étaient présents à proximité pendant que ceux-ci étaient en activité. Au total, 553 sites industriels ont ainsi pu être répertoriés. À ces sites industriels se sont ajoutés les 19 sites naturels amiantifères, dont le BRGM possède l'inventaire et une couche SIG.

L'analyse de l'exposition sous SIG s'est effectuée en deux temps : une première phase plus exploratoire, avant que ne soit réalisé le travail de géocodage précis des adresses des individus du PNSM et des



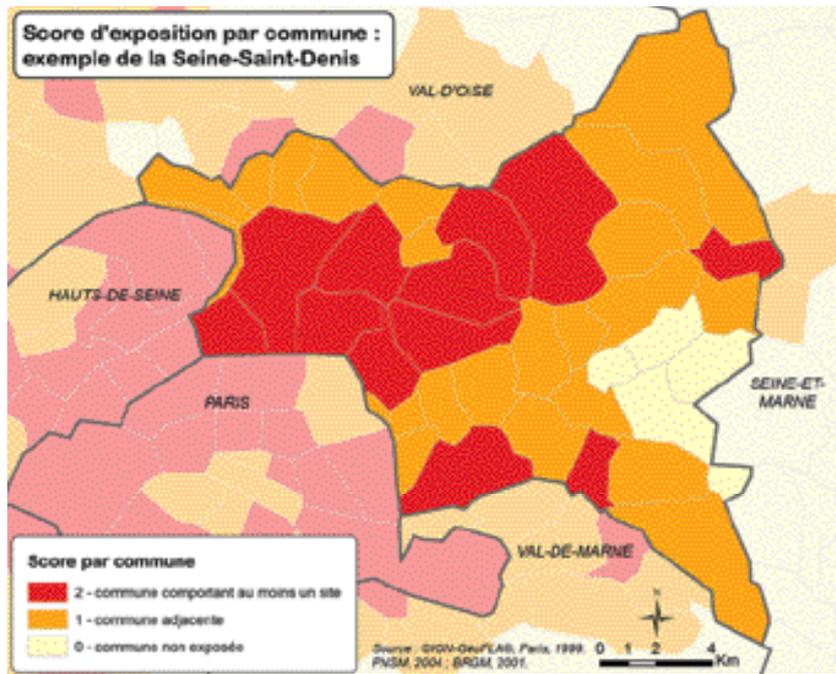
Carte 1 : Les départements couverts par le PNSM.



Carte 2 : Localisation des sites industriels et des sujets.

<sup>2</sup> L'exposition domestique est le contact à l'amiante des conjoints des personnes travaillant dans l'industrie productrice ou utilisatrice d'amiante ; c'est le plus souvent l'exposition des femmes ou compagnes des ouvriers, amenées régulièrement à laver et surtout à repasser les vêtements de travail imprégnés de fibres d'amiante de leur conjoint.

<sup>3</sup> Le code postal, fourni dans le cas de fichiers recensant des adresses, ne permet pas simplement de revenir au code commune : le découpage du territoire selon le code postal est défini pour les besoins des bureaux distributeurs du courrier de La Poste ; il peut y avoir plusieurs codes postaux pour une même commune dans le cas des grandes villes par exemple, et un seul code postal pour de très nombreuses communes dans des zones rurales peu peuplées. Mais quand des bases de données sanitaires recueillent l'information de l'adresse des patients, c'est l'adresse postale et donc le code postal qu'elles récupèrent : qui en effet connaît par cœur le code « Insee » de sa commune de résidence ? Il est possible cependant, mais pas de façon totalement automatisée, de retrouver le code Insee à partir d'une adresse postale, à condition cependant que l'information sur le nom de la commune soit, elle, correctement renseignée. Ce qui n'est pas toujours le cas non plus...



Carte 3 : Score d'exposition par commune en Seine-Saint-Denis (93).

sites industriels ; une deuxième phase, tenant compte de la localisation précise des sujets et des sites. C'est l'enchaînement de ces différentes phases de l'analyse de l'exposition qui va être détaillée ci-après. Du point de vue méthodologique, cette étude présente en effet l'intérêt d'avoir permis d'approcher un problème de différentes façons, l'objectif ayant été d'affiner au maximum la modélisation dans le SIG de cette exposition.

## Définition de l'exposition

Dans un premier temps, et ce avant d'avoir fait effectuer le travail de géocodage des sites et des sujets issus du PNSM, une première tentative exploratoire a été conduite afin de savoir s'il était possible de mieux connaître l'exposition des individus sans les localiser de façon très précise. Les sites et les sujets ont donc été intégrés au SIG par le biais du code de commune (dit « code Insee »), retrouvé grâce à une double recherche sur le code postal **3** et le nom de commune des adresses répertoriées dans le

PNSM et dans les bases recensant les sites industriels. Les communes de résidence/scolarité/vie professionnelle ou bien les communes où se trouvent les sites ont pu être identifiées. Un premier indicateur d'exposition assez grossier a donc pu être construit grâce au SIG, indicateur qui se déclinait selon trois modalités :

- score à 0 : le sujet se trouve dans une commune qui ne comporte pas de site industriel ou naturel susceptible de générer une exposition à l'amiante, et aucune des communes adjacentes à sa commune de résidence/scolarité ou vie professionnelle ne comporte un tel site ;
- score à 1 : le sujet se trouve dans une commune adjacente à une ou plusieurs communes comportant un ou plusieurs sites susceptibles de générer une exposition à l'amiante ;
- score à 2 : il y a un ou plusieurs sites dans la commune même où se trouve l'individu.

Ce score, assez grossier, est défini à l'échelle de la commune. Il ne tient compte aucunement des dates de validité des adresses ou de fonctionnement des sites, et ne fait pas de différence entre des expositions très importantes

dans les communes concentrant de nombreux sites susceptibles de générer une exposition à l'amiante et les communes ne comportant qu'un seul site. Les multi-expositions sont donc complètement gommées. Enfin, puisque les données sont agrégées au centre de la commune, et que toute l'information individuelle disparaît, la durée d'exposition, qui a sans doute une influence elle aussi, ne peut être prise en compte. Il s'agit donc vraiment d'une première approche, insuffisante dans le cadre d'une étude à l'échelle individuelle comme une étude cas-témoin.

## Score d'exposition en fonction de la distance

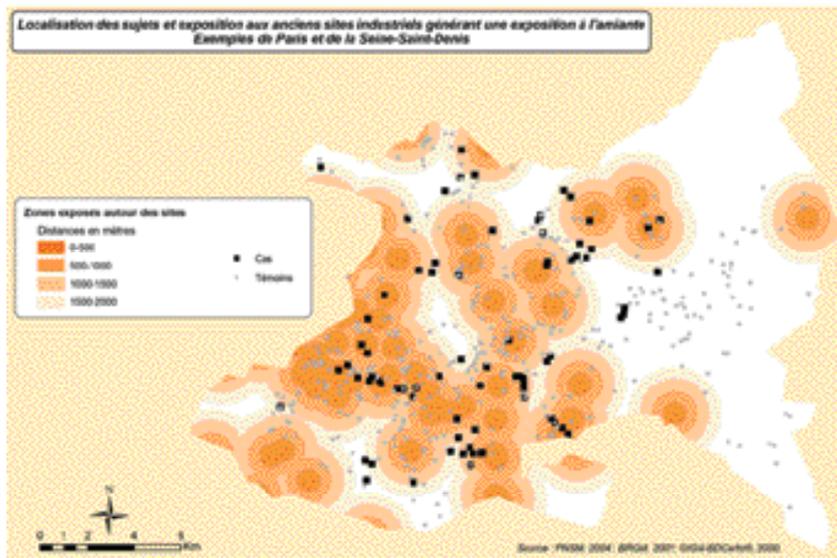
Seule la localisation précise des individus et des sites permettant de prendre en compte les informations individuelles sur les sujets et les données sur les périodes de fonctionnement des sites et le type d'activité, une prestation de géocodage a été commandée pour l'ensemble des adresses des sujets issus du PNSM et des adresses des sites industriels. La société retenue pour ce travail a renvoyé, quand elle le pouvait, les coordonnées X et Y des individus et des sites. A partir de ces données localisées plus précisément, l'exposition allait pouvoir être définie de façon plus fine, en tenant compte des distances de dispersion des fibres d'amiante décrites par la littérature. En effet, une étude a montré qu'au-delà de 2000 m de la source, le risque de dispersion des fibres d'amiante est trop faible pour que l'on puisse considérer qu'il existe une exposition environnementale. Dans la mesure où l'on ne pouvait pas, en travaillant sur des sites très nombreux, divers et répandus sur l'ensemble du territoire national, effectuer de modélisations de la dispersion des fibres pour chaque site, il fallait s'en tenir à cette hypothèse de distance limite

pour estimer l'exposition des individus.

À partir des coordonnées précises des sites et des individus, quand les données d'adresse étaient suffisamment précises pour que la société retenue pour effectuer la prestation de géocodage ait pu renvoyer des coordonnées X et Y, on définit quatre zones d'exposition décroissante autour des sites sources : une première zone d'exposition considérée comme la plus forte, entre 0 et 500 m de la source, une seconde zone entre 500 et 1000 m de la source, une troisième entre 1000 et 1500 m et une quatrième entre 1500 et 2000 m. En fonction de la zone où se trouve l'adresse du sujet, un score d'exposition lui est attribué :

- score à 4 pour les adresses localisées dans une ou plusieurs zones ainsi définies dont au moins une se trouvant à moins de 500 m d'un site source ;
- score à 3 pour les adresses localisées dans une ou plusieurs de ces zones dont aucune ne se trouve à moins de 500 m d'un site source, mais dont au moins une se trouve entre 500 et 1000 m d'un site source ;
- score à 2 pour les adresses localisées dans une ou plusieurs de ces zones dont aucune ne se trouve à moins de 1000 m d'un site source mais dont au moins une se trouve à moins de 1500 m ;
- score à 1 pour les adresses localisées dans une ou plusieurs de ces zones dont aucune ne se trouve à moins de 1500 m mais dont au moins une se trouve à moins de 2000 m ;
- score de 0 pour toutes les autres adresses.

Ce score est établi en construisant sous SIG des anneaux concentriques autour des sites. L'espacement de ces anneaux a été fixé arbitrairement à 500 m. Le choix de 2000 m comme limite pour la zone la moins exposée est lié aux indications trouvées dans la littérature sur la distance de dispersion des fibres d'amiante.



Carte 4 : Exposition des sujets aux sites industriels.

Ce score, s'il est plus fin que le précédent, possède encore de nombreuses limites. D'une part, il ne permet pas de connaître précisément la distance entre le sujet et le site ; d'autre part, là encore, les multi-expositions ne sont pas prises en compte. Ce score reste assez grossier par rapport aux besoins de précision de l'analyse de l'exposition pour une étude cas-témoin. Une méthode permettant de connaître la distance précise au site est donc envisagée.

### Troisième approche de l'exposition

Dans un troisième temps donc, disposant des coordonnées précises des sites industriels et des sujets, il nous a été demandé de pouvoir connaître, pour chaque sujet, le site le plus proche, en s'assurant que les dates d'activité du site soient cohérentes avec les dates de validité des adresses des sujets. Un outil a donc pour cela été développé dans ArcGIS, pour associer à chaque sujet le site le plus proche en vérifiant la condition de validité des dates. En sortie de ce traitement on obtenait, pour chaque adresse de sujet, l'ensemble des informations disponibles

sur le site le plus proche en fonctionnement pendant la période de validité de l'adresse, ainsi que la distance entre le site et l'adresse. Cependant, là encore, les limites demeuraient importantes : pour chaque sujet, on ne récupérerait qu'un seul site, ce qui éliminait totalement les multi-expositions. Même si on pouvait, en disposant d'informations plus précises sur le site, tenter d'affiner la quantification de l'exposition en identifiant par exemple le type d'activité pratiqué sur le site, le risque était élevé de mésestimer totalement l'exposition réelle des sujets. Ainsi, par exemple, pour un sujet exposé à deux sites industriels très proches de lui, dont le plus éloigné des deux générait l'exposition la plus importante, on aurait attribué uniquement l'exposition générée par le site le plus proche des deux, à savoir la moins forte des deux. L'exposition du sujet aurait été sous-estimée. Cette option a donc été écartée.

### Approche la plus fine possible

Face à l'insuffisance des différentes options explorées précédemment à la demande de l'équipe en charge du projet, il a été proposé de rechercher une solution qui, via le SIG, permettrait de récupérer,

pour chacun des sujets, tous les sites ayant fonctionné pendant la période de validité des adresses, et situés dans un rayon inférieur à 2 km, puisque telle est la distance limite au-delà de laquelle on peut considérer que les fibres d'amiante ont une probabilité quasi nulle de se disperser. Il n'existe pas en standard dans ArcGIS de fonctionnalité permettant de récupérer cette information. Cependant, la boîte à outils Hawth's Tools Analysis, développée par un consultant américain en écologie spatiale, permet, entre autres nombreuses fonctions, de générer une matrice des distances entre les points d'une même couche ou entre les points de deux couches distinctes. La procédure proposée au chargé du projet a donc été :

- de générer une matrice de distance sous ArcGIS pour connaître, pour tout sujet, la distance à tous les sites ;
- sous Access, de traiter le fichier de sortie (très volumineux au vu du nombre de points dans chacune des deux couches sites et sujets), en sélectionnant, d'abord, les seules couples site/sujet distants de 2 km ou moins, puis en effectuant une seconde requête sur le critère des dates pour ne retenir, pour chacun des sujets, que les sites ayant fonctionné pendant la période de validité des adresses.

Cette dernière solution, qui a finalement été retenue, a permis, par rapport aux autres pistes explorées, de prendre en compte les multi-expositions des sujets, ce qu'aucune autre option ne permettait. Elle présente en outre l'avantage d'être très ouverte, puisque en connaissant les informations relatives aux différents sites et à leurs activités, on a en parallèle

tenté de construire un indicateur d'intensité de l'exposition sur les caractéristiques des sites industriels. Ces différentes informations sur l'intensité de l'exposition aux différents sites, ainsi que la durée d'exposition et la distance entre site et sujet ont été combinées dans un score d'exposition, ainsi construit :

- le score d'exposition est calculé pour chaque adresse des différents sujets selon la formule suivante :  $(\text{intensité}/\text{distance}) \times \text{durée}$
- quand une adresse est exposée à plusieurs sites, on somme ces scores d'exposition calculés pour chaque site situé à moins de 2 km ;
- enfin, on somme l'ensemble des scores d'exposition de toutes les adresses d'un même sujet afin de reconstituer un score qui reflète le plus fidèlement possible son exposition aux sites industriels susceptibles de générer une exposition environnementale à l'amiante, tout au long de sa vie.

On a donc au final un score d'exposition E sur toute l'histoire de l'individu calculé comme suit :

$$E = \sum [(I/d) \times D]$$

où I est l'intensité de l'exposition, D, la durée de l'exposition, et de la distance entre l'adresse du logement, de l'école ou du travail de l'individu et le site industriel.

C'est donc en modélisant ainsi l'exposition des sujets aux anciens sites industriels susceptibles d'avoir généré une exposition environnementale à l'amiante que l'on a au mieux approché ce que fut la réalité, au vu des données disponibles et de l'étendue géographique de l'étude qui rendait totalement inenvisageable des modélisations de dispersion des

fibres pour chacun des sites. Cela dit, si cette dernière méthode a semblé la plus appropriée, elle ne demeure pas sans limite, la principale étant quand même le manque relativement fréquent de l'information sur les dates d'activité des industries, qui nous a conduit à écarter un certain nombre de sites de l'étude.

## Résultats et conclusion

Le manque de puissance statistique de l'étude – on disposait d'un nombre insuffisant de cas de mésothéliomes non liés à une exposition professionnelle pour pouvoir conclure – a fait que l'on n'a pu aboutir à des résultats significatifs sur le plan statistique pour conclure à une exposition plus importante des cas que des témoins.

L'étude fait néanmoins apparaître une tendance qui pourrait devenir significative avec de plus nombreux sujets. Le délai d'apparition de cette pathologie est long et il est probable que l'on ne disposera d'une population suffisante pour mener pareil travail que dans quelques années. Cependant, si elle n'a pas permis de conclure en infirmant ou en confirmant l'hypothèse de départ, cette étude cas-témoin a néanmoins été l'occasion d'aborder la problématique de l'exposition sous des angles divers, en fonction de la précision des données disponibles, et elle a été l'occasion de développements méthodologiques tout à fait intéressants, et tout spécialement dans l'apport de la démarche géographique et du SIG à un tel travail. ■

**Cette étude a été réalisée au Département Santé-Environnement de l'Institut de Veille sanitaire par :** Stéphanie Vandentorren (Médecin épidémiologiste, chargée du projet), Sarah Gorla (Statisticienne), Stéphanie Leng (Monitrice d'étude), Delphine Lauzeille (Épidémiologiste), et Perrine de Crouy-Chanel (Ingénieur SIG).