

*Santé environnement*

# **Exposition environnementale à l'amiante chez les personnes riveraines d'anciens sites industriels et affleurements naturels**

Étude cas-témoins à partir des données  
du Programme national de surveillance  
du mésothéliome



INSTITUT  
DE VEILLE SANITAIRE

# Sommaire

Abréviations	2
<b>1. Introduction</b>	<b>3</b>
<b>2. Objectif</b>	<b>3</b>
<b>3. Méthodes</b>	<b>4</b>
3.1 Présentation du PNSM et de l'enquête cas-témoins de 1998-2002	4
3.2 Étude préalable de faisabilité	5
3.2.1 Le calcul du nombre de sujets nécessaire	5
3.2.2 Représentativité de la population étudiée	6
3.2.3 Choix de la méthode d'estimation de l'exposition rétrospective	6
3.2.4 Conclusion de l'étude de faisabilité	6
3.3 Sélection des cas et des témoins pour l'étude	6
3.4 Estimation des expositions	7
3.4.1 Méthode d'estimation des expositions	7
3.4.2 Recensement des sites industriels	7
3.4.3 Caractérisations des sites	7
3.4.4 Estimation de l'intensité	8
3.4.5 Estimation de la distance	8
3.4.6 Estimation de la durée	9
3.5 Analyse statistique	9
<b>4. Résultats</b>	<b>9</b>
4.1 La population	9
4.2 L'exposition environnementale	9
4.2.1 Recensement des sites industriels	9
4.2.2 Le score d'exposition environnementale	10
4.3 Les autres types d'exposition non professionnelle à l'amiante	10
4.4 Risque de mésothéliome associé à l'exposition environnementale à l'amiante	10
4.5 Risque de mésothéliome associé à une autre exposition non professionnelle à l'amiante	10
4.6 Analyse de sensibilité	10
4.6.1 Analyse en fonction de la distance	10
4.6.2 Analyse en fonction de l'intensité	11
<b>5. Discussion</b>	<b>11</b>
<b>6. Conclusion et recommandations</b>	<b>12</b>
Références bibliographiques	13
Annexe 1 - Saisine de la Direction générale de la santé	15
Annexe 2 - Saisine de la Direction générale de la santé et réponse du Département santé environnement (mai 2003)	17
Annexe 3 - Utilisation du SIG dans l'étude de la relation entre proximité avec un site industriel et survenue d'un mésothéliome	19

# Exposition environnementale à l'amiante chez les personnes riveraines d'anciens sites industriels et affleurements naturels

## Étude cas-témoins à partir des données du Programme national de surveillance du mésothéliome

### **Institut de veille sanitaire**

Coordination : Stéphanie Vandentorren

Évaluateur de risque : Côme Daniau

Stagiaires Profet/master : Jennifer Cosson, Anne Etchevers et Delphine Lauzeille

Moniteur d'étude : Stéphanie Leng

Statisticienne : Sarah Gorla

Ingénieur SIG : Perrine de Crouy-Chanel et Morgan Stempfelet

Soutien financier et logistique : Karine de Proft et Laurent Rivas

### **Conseil scientifique**

Marie-Annick Billon-Galland (Lepi), Patrick Brochard (Isped), Côme Daniau (InVS), David Dessandier (BRGM), Frédéric Dor (InVS), Daniel Maton (BRGM), Anabelle Gilg Soit Ilg (InVS), Marcel Goldberg (InVS), Delphine Lauzeille (InVS), Martine Ledrans (InVS), Laurent Martinon (Lepi), Joseph Mattei (Ddass de Bastia), Patrick Rolland (InVS), Christopher Spencer (BRGM), Stéphanie Vandentorren (InVS).

### **Rédaction**

Stéphanie Vandentorren

### **Remerciements**

L'équipe remercie Emmanuelle Beaugrand, Marcel Goldberg, Claire Gourier-Fréry, Hubert Isnard et Sorya Som pour leur relecture attentive et toutes les personnes ayant concouru à cette étude et aux discussions qui ont suivi.

L'auteur remercie particulièrement Côme Daniau pour son précieux soutien au cours de ce travail; Frédéric Dor pour son appui constant, notamment lors de la soutenance de DEA de Jennifer Cosson et Caroline Schemoul pour sa disponibilité et son énergie concernant ce dossier.

# Abréviations

<b>Basias</b>	Base des anciens sites industriels et activités de service
<b>Basol</b>	Base de données sur les sites et sols pollués
<b>BRGM</b>	Bureau de recherches géologiques et minières
<b>DGS</b>	Direction générale de la santé
<b>Drire</b>	Direction régionale de l'industrie de la recherche et de l'environnement
<b>DRT</b>	Direction régionale du travail
<b>IC</b>	Indice de confiance
<b>ICPE</b>	Installation classée pour la protection de l'environnement
<b>Ineris</b>	Institut national de l'environnement industriel et des risques
<b>Insee</b>	Institut national de la statistique et des études économiques
<b>InVS</b>	Institut de veille sanitaire
<b>OR</b>	Odds ratio
<b>PNSM</b>	Programme national de surveillance du mésothéliome
<b>SIG</b>	Système d'information géographique

# 1. Introduction

L'amiante est un matériau de silicates fibreux aux multiples qualités dont l'utilisation s'est progressivement accrue de 1900 à 1945, principalement dans les chantiers navals et l'industrie textile. Sa diffusion s'est généralisée avec le développement industriel des années cinquante, soixante et soixante-dix, et a atteint son apogée en 1975 (5 millions de tonnes extraites par an au niveau mondial). Son utilisation a ensuite été progressivement restreinte jusqu'à son interdiction totale en France en 1997. L'interdiction d'utilisation de l'amiante a conduit les sites industriels ayant mis en œuvre ou transformé de l'amiante à revoir en profondeur leur procédé de fabrication ou à cesser une partie de leur activité à compter de cette date. Cette décision est concomitante à la publication du rapport de l'expertise collective Inserm en 1997 [1]. Ce rapport analysait les effets sur la santé des principaux types d'exposition à l'amiante : professionnelles, paraprofessionnelles, domestiques ou environnementales. Dans ce dernier cas, il s'agit d'expositions à proximité des sites géologiques ou industriels, d'exposition passive à l'intérieur de bâtiments floqués à l'amiante ou dans l'environnement urbain.

Il existe à présent des arguments scientifiques assez forts pour considérer comme un fait établi que l'exposition environnementale à l'amiante (c'est-à-dire une exposition non professionnelle et non domestique) entraîne de façon causale une augmentation de risque de développer un mésothéliome pleural [2-5]. Les premières études de Wagner en 1960 rapportaient, en Afrique du Sud, plus de 120 cas de mésothéliomes survenus chez des individus qui, pour plus de la moitié d'entre eux, n'avaient jamais travaillé dans les mines de crocidolite dans la région de la province du Cap [6]. L'étude la plus probante, celle de Magnani *et al.* en 1993, a recensé sur 10 ans environ 60 cas de mésothéliomes dus à l'exposition environnementale autour de l'usine d'amiante ciment de Casale-Monferrato [7]. Cette étude évaluait à 1 km le rayon de la zone la plus contaminée autour de l'usine. Cet ordre de grandeur est retrouvé dans les études de Bohlig et Hain présentées en 1972 lors d'une conférence tenue au Centre international de recherche sur le cancer [8]. Les auteurs y produisaient une carte de Hambourg localisant les résidences de 38 personnes atteintes de mésothéliome, sans exposition professionnelle, dans un rayon d'environ 1,5 km autour d'une usine travaillant l'amiante. Le rapport de l'Organisation mondiale de la santé de 1986 fait état de valeurs de concentrations mesurées (en microscopie électronique) dans divers pays à proximité d'usines d'amiante-ciment [9]. Des valeurs moyennes de 0,5 fibre/litre (F/l) (0 à 2,2 F/l) ont été mesurées en Autriche, de 0,2 F/l en Afrique du sud et en Allemagne, de 2F/l à 300 mètres sous le vent de l'usine, 0,8 F/l à 700 mètres et de 0,6 F/l à 1 000 mètres. Par comparaison, il a été observé à Casale-Monferrato une concentration en fibres longues de chrysotile beaucoup plus élevée, atteignant en certains points proches des usines des valeurs de 10 F/l. Les usines de transformation de l'amiante ont projeté des fibres dans l'atmosphère qui ont contribué à polluer l'environnement immédiat des sites.

Des études réalisées au voisinage d'industries transformant ou produisant de l'amiante ont été publiées dans de nombreux pays tel

que l'Italie [10-12], l'Allemagne [13,14], le Royaume-Uni [15], les États-Unis. Les risques relatifs estimés sont forts : 8,1 (IC=[5,3-12]) pour des expositions domestiques et 7 (IC=[4,7-11]) pour des expositions environnementales de populations riveraines de sites industriels [5]. Des enquêtes dans le voisinage de chantiers navals ont également eu lieu au moins dans cinq pays (Allemagne, Italie, Japon, Pays-Bas et Écosse). En France, en revanche, très peu d'études ont été publiées sur les risques induits par l'amiante environnemental autour des sites industriels, bien que l'existence de victimes environnementales soit désormais connue [16,17].

C'est dans ce contexte que la Direction générale de la santé (DGS) a saisi l'Institut de veille sanitaire (InVS) en mai 2003 afin d'étudier l'impact sanitaire de l'exposition environnementale aux fibres d'amiante des populations riveraines des anciens sites industriels d'exploitation ou de transformation de l'amiante et d'affleurements naturels (annexe 1).

Cette saisine de la DGS devait permettre d'aider à définir des stratégies décisionnelles pour la prise en charge des populations qui ont été exposées à l'amiante (volet 1) et d'orienter la gestion des situations d'exposition persistante par l'information des populations et la mise en place de décisions réglementaires (volet 2).

Deux études ont été mises en place au sein du Département santé environnement de l'InVS pour répondre à ces deux questions distinctes (annexe 2) :

- d'une part, évaluer la proportion de mésothéliomes attribuables à l'exposition environnementale passée de la population riveraine d'anciens sites industriels d'exploitation et de transformation de l'amiante et de sites naturels amiantifères (volet 1). Ce volet est présenté dans le rapport ci-joint, mais les objectifs ont été revus suite à l'étude de faisabilité menée au préalable ;
- d'autre part, évaluer l'exposition actuelle afin de prédire le risque résiduel pour la santé de la population riveraine de sites naturels amiantifères (volet 2). Ce volet a fait l'objet d'un rapport à l'InVS [18].

## 2. Objectif

L'étude cas-témoins avait pour objectif initial d'évaluer l'augmentation de risque de mésothéliome liée aux expositions environnementales à l'amiante subies dans le passé par les populations riveraines des sites industriels d'exploitation ou de transformation de l'amiante. Cet objectif n'étant pas réalisable au vu de l'étude de faisabilité (puissance insuffisante, disponibilité des données), il a été retranscrit dans une perspective plus méthodologique.

L'objectif de cette étude cas-témoins a consisté alors à tester la construction d'un indice utilisant le Système d'information géographique (SIG) pour estimer rétrospectivement l'exposition environnementale à l'amiante des populations riveraines de ces sites.

### 3. Méthodes

Cette étude cas-témoins a été réalisée à partir des sujets non exposés professionnellement à l'amiante enregistrés dans la base du Programme national de surveillance du mésothéliome (PNSM) entre 1998 et 2003 : cas de mésothéliomes et témoins. Les données d'exposition ont pris en compte leur histoire résidentielle, scolaire et professionnelle par rapport à la localisation et aux caractéristiques de fonctionnement des sites industriels avoisinants (en particulier : type, volume et durée d'activité).

#### 3.1 PRÉSENTATION DU PNSM ET DE L'ENQUÊTE CAS-TÉMOINS DE 1998-2002

Le PNSM, mis en place en 1998 à la demande des pouvoirs publics et coordonné par le Département santé travail de l'InVS, a pour objectif

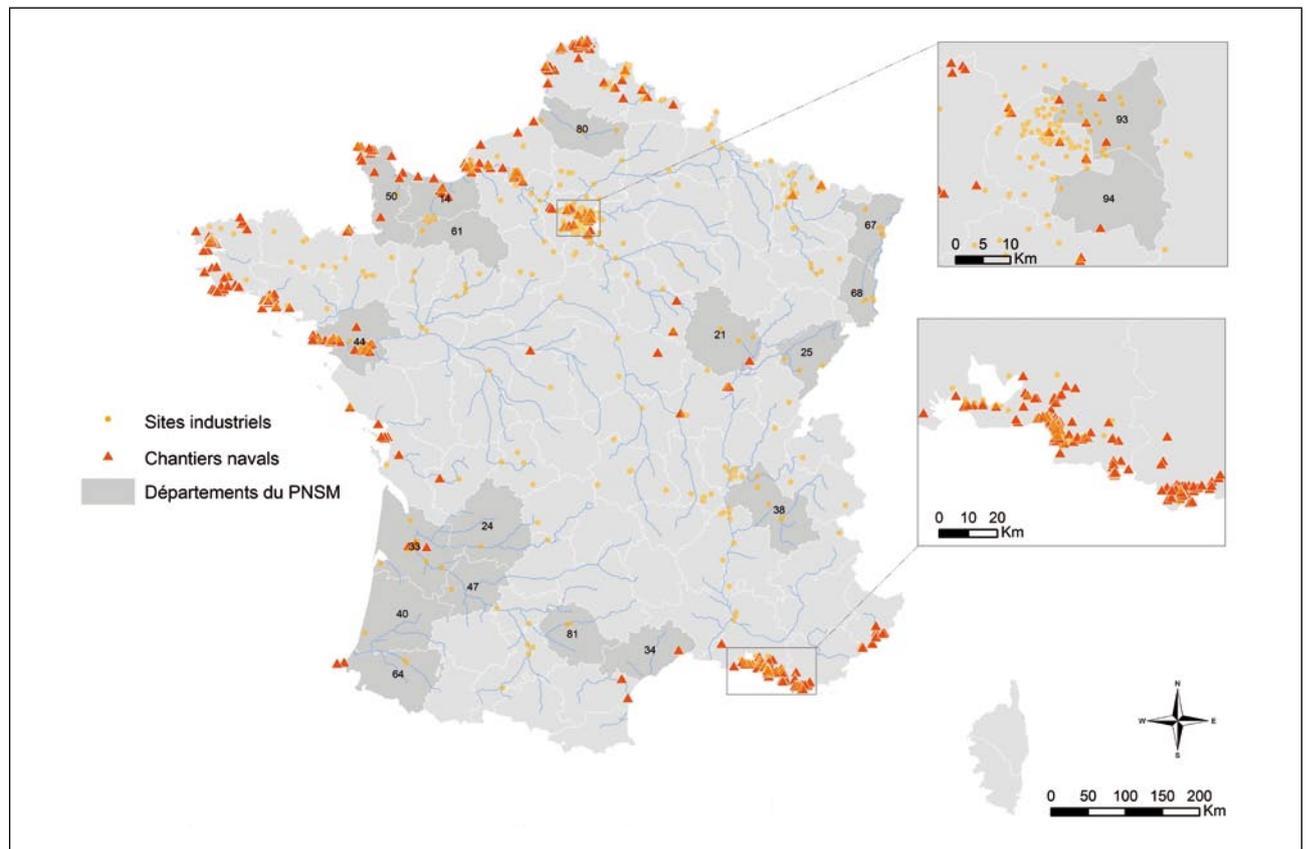
général de constituer un système de surveillance épidémiologique des effets de l'exposition à l'amiante, essentiellement d'origine professionnelle, sur la santé de la population française, à travers le suivi permanent du mésothéliome de la plèvre [19].

Dans le cadre de ce programme, une étude cas-témoins avait été conduite sur la période 1998-2002 dans 19 départements français (figure 1) [20]. Les cas avaient été définis comme des personnes ayant un mésothéliome pleural confirmé histologiquement. Deux témoins avaient été appariés à chaque cas sur le sexe, l'âge (+/-5 ans) et le département de domicile, et sélectionnés en population générale en deux étapes :

- 1) à partir de la pyramide des âges de l'Institut national de la statistique et des études économiques (Insee);
- 2) à partir des listes électorales.

| FIGURE 1 |

#### Industries de transformation de l'amiante en France de 1850 à 2003 et départements du PNSM



Sources : IGN®-geoFLA®, Paris 1999, BRGM, Basias, Basol, Infogreffe, Insee, exploitation InVS, 2008.

L'enquête auprès d'un sujet, cas ou témoin, était réalisée en deux temps, de préférence au domicile du sujet :

- le sujet remplissait un auto-questionnaire dans lequel il listait les emplois occupés au cours de sa carrière, ses domiciles et les établissements scolaires qu'il avait fréquentés. Pour chaque emploi, domicile et école, il était demandé au sujet de renseigner l'adresse complète;

- un enquêteur rencontrait le sujet en entretien en face-à-face au cours duquel l'auto-questionnaire était relu et complété. L'auto-questionnaire était alors complété par un questionnaire spécifique.

L'auto-questionnaire indiquait les activités réalisées au cours de chaque emploi, les activités de bricolage sur les lieux de domicile, ou encore les tâches techniques réalisées lors des formations scolaires.

Le questionnaire spécifique permettait de compléter l'enquête avec des questions portant sur des activités spécifiques liées aux facteurs étudiés, en particulier l'amiante. Des informations complémentaires sur les caractéristiques sociodémographiques et sur les antécédents de santé du sujet avaient été recueillies en fin d'entretien.

L'expertise des questionnaires, réalisée par des experts en hygiène industrielle, déterminait ensuite si le sujet s'était déjà trouvé au cours de sa vie dans une situation spécifique d'exposition à l'amiante. Les experts disposaient d'une grille d'expertise qui permettait de coder les différents types d'exposition à l'amiante, professionnelle ou non, en fonction de différents critères :

- la nuisance évaluée (ici l'amiante). Précisons que d'autres nuisances étaient évaluées, notamment les fibres minérales artificielles et les radiations ionisantes ;
- les circonstances principales d'exposition :
  - professionnelle : contact direct ou indirect, locaux ou installations floquées ou polluées,
  - domestique ou paraprofessionnelle : contact direct ou indirect, locaux ou installations floquées ou polluées ;
- la période d'exposition : année de début et de fin ;
- la probabilité d'exposition (P) : non exposé (P=0), possible (P=0,5), certaine (P=1) ;
- l'intensité d'exposition (en fibres-millilitre) : faible ( $l < 0,1$ ), moyenne ( $0,1 < l < 1$ ), forte ( $1 < l < 10$ ), très forte ( $l > 10$ ) ;
- la fréquence d'exposition (% de temps passé) : sporadique ( $F < 5$ ), intermittente ( $5 < F < 50$ ), fréquente ( $50 < F < 70$ ), permanente ( $F > 70$ ).

Il faut souligner que les expositions d'origine environnementales ne sont pas prises en compte dans le PNSM.

### 3.2 ÉTUDE PRÉALABLE DE FAISABILITÉ

Une étude de faisabilité a été réalisée en 2005. Celle-ci a permis de clarifier différents axes comme le calcul du nombre de sujets nécessaire, la représentativité de la population source étudiée, ou encore la méthode la plus pertinente à prendre en compte pour évaluer rétrospectivement l'exposition à l'amiante.

#### 3.2.1 Le calcul du nombre de sujets nécessaire

L'étude de faisabilité a montré qu'au 1<sup>er</sup> mars 2005, la base du PNSM contenait 111 cas et 468 témoins, non exposés professionnellement à l'amiante. Ces effectifs permettaient de détecter un odds ratio (OR) de 2, avec une puissance statistique de 80 % à la condition d'inclure 2 témoins par cas et en considérant que 30 à 40 % des témoins avaient été exposés de manière environnementale à l'amiante. Dans les mêmes conditions, détecter un OR plus faible (par exemple 1,5) nécessiterait plus de 300 cas. Il est probable qu'en France, l'OR soit moins important que ceux retrouvés dans la littérature où les conditions d'exposition étaient particulières. L'OR attendu devrait être compris entre 1 et 2. Les conditions de puissance n'étaient donc *a priori* pas satisfaisantes pour détecter un risque de mésothéliome associé à l'exposition environnementale à l'amiante (tableau 1).

TABLEAU 1

#### Calcul du nombre de sujets nécessaire

Proportion de témoins exposés	Nombre de cas		
	OR=1,1	OR=1,5	OR=2
30	8 081	424	140
40	7 139	387	132
50	6 919	387	136
60	7 276	420	151
65	7 713	451	165

La répartition des cas non professionnels (si on considère exclus les cas professionnels certains) du PNSM (tableau 2) montre que pour estimer un OR de l'ordre de 1,5 et pour un pourcentage d'exposition de 65 % (comme défini dans cette étude), il faudrait attendre plus de 30 ans pour obtenir la puissance suffisante.

TABLEAU 2

#### Répartition des cas selon l'année d'incidence et la probabilité d'exposition à l'amiante la plus élevée rencontrée au cours de la carrière professionnelle

	1998		1999		2000		2001		2002		2003		2004		2005		2006		Total	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
<b>Hommes</b>	n=72		n=75		n=76		n=85		n=63		n=73		n=74		n=67		n=113		n=698	
Non exposé	5	6,9	8	10,7	7	9,2	7	8,2	4	6,4	5	6,9	4	5,4	6	9	15	13,3	61	8,7
Possible	14	18,5	9	12	8	10,5	12	14,1	4	6,4	6	8,2	3	4,1	8	11,9	12	10,6	76	10,9
Certaine	53	73,6	58	77,3	61	80,3	66	77,7	55	87,3	62	84,9	67	90,5	53	79,1	86	76,1	561	80,4
<b>Femmes</b>	n=10		n=16		n=18		n=27		n=21		n=27		n=20		n=11		n=27		n=177	
Non exposé	10	100	12	75	9	50	12	44,5	10	47,6	15	55,6	15	75	7	63,6	14	51,9	104	58,8
Possible	0	0	2	12,5	6	33,3	8	29,6	6	28,6	4	14,8	1	5	0	0	4	14,8	31	17,5
Certaine	0	0	2	12,5	3	16,7	7	25,9	5	23,8	8	29,6	4	20	4	36,4	9	33,3	42	23,7

### 3.2.2 Représentativité de la population étudiée

Les difficultés rencontrées par l'utilisation de la base PNSM venaient essentiellement du fait que le PNSM avait été initialement axé sur les cas professionnels d'exposition à l'amiante et non sur les cas environnementaux. Par ailleurs, le PNSM n'était pas présent dans tous les départements, notamment ceux où existent les gisements naturels, seules les populations riveraines des sites industriels ont donc été analysées dans cette étude.

### 3.2.3 Choix de la méthode d'estimation de l'exposition rétrospective

En parallèle de l'étude de la qualité des données disponibles par l'équipe projet (base du PNSM, sites industriels, etc.), un travail de recherche critique des méthodes d'estimation rétrospective de l'exposition a été réalisé dans le cadre d'un master [21], dont les principales lignes sont retranscrites dans ce paragraphe. La recherche bibliographique a été réalisée sur les méthodes existantes d'évaluation de l'exposition passée par consultation de *Pubmed* et de la Banque de données de santé publique avec les mots clés "*retrospective*", "*exposure*", "*assessment*" ainsi que sur les sites de l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris), de l'*United States Environmental Protection Agency* et de l'*Agency for Toxic Substances and Disease Registry*. Les études épidémiologiques cas-témoins sur les polluants aéro-dispersibles ont été sélectionnées (n=33) après lecture critique des méthodes d'évaluation de reconstruction de l'exposition *a posteriori*. Les méthodes d'estimation utilisées dans ces études étaient de deux types : soit directes (par des mesures chez les personnes participant à l'enquête ou sur un échantillon) ; soit indirectes (estimation de cette exposition sans réalisation de mesures dans la population).

Parmi les méthodes directes, les données environnementales permettent de reconstituer une exposition passée, leur introduction dans des modèles de dispersion permet de recréer une exposition même complexe. Il faut souligner cependant que ces mesures ont, la plupart du temps, été recueillies de façon discontinue et ne sont pas toujours représentatives de l'exposition réelle de la population dans la mesure où les données météorologiques ont une grande influence sur la dispersion des polluants. En outre, ces mesures ont été réalisées en milieu professionnel, les mesures environnementales étant beaucoup plus rares. L'analyse minéralogique du lavage broncho-alvéolaire ou du tissu pulmonaire peut apporter une contribution importante de l'évaluation rétrospective de l'exposition à l'amiante pour un sujet donné, en complément des données de l'interrogatoire (qui reste l'élément majeur de cette évaluation, notamment en milieu professionnel). Toutefois, si la présence de corps asbestosiques dans le tissu pulmonaire peut être considérée comme le signe certain d'une exposition, leur absence n'est pas un signe de non-exposition. Ces méthodes (questionnaires, mesures environnementales et biologiques) permettent d'approcher directement le niveau d'exposition des individus. Cependant la validité des informations obtenues par questionnaire peut être insuffisante et la métrologie ne permet qu'exceptionnellement de refléter les niveaux passés d'exposition.

Parmi les méthodes indirectes, la matrice "emploi-exposition" (table de correspondance entre emplois et expositions professionnelles) permet d'attribuer automatiquement une exposition à un sujet à partir de sa seule histoire professionnelle (emploi, branche d'activité et durée du poste). La matrice offre l'avantage d'être une méthode peu coûteuse, objective et reproductible, qui peut s'enrichir d'une démarche complémentaire d'expertise. La méthode de consensus ou

panel d'expert est souvent utilisée dans les études pour améliorer la performance des matrices. Les indices d'exposition sont utilisés lorsque certaines données d'exposition sont disponibles (durée, volume, fréquence, etc.) et s'appuient sur des mesures environnementales ou sur les matrices pour octroyer un score d'exposition aux sujets, qualitatif ou semi-quantitatif. Ces méthodes présentent également leurs limites : le panel d'expert est dépendant de la qualité de sa constitution, les matrices peuvent entraîner des erreurs de classement non différentielles, sont longues à mettre en place et peu adaptées en milieu environnemental. Ces méthodes manquent globalement de spécificité mais peuvent être utilisées en population générale.

La confrontation des données disponibles pour cette étude avec les méthodes existantes nous a montré que toutes n'étaient pas envisageables. Les mesures directes d'exposition sont rarement employées d'après la littérature. Les mesures environnementales ne sont pas représentatives des données antérieures (changement de réglementation). Nous ne disposions pas de marqueurs biologiques dans notre étude (le prélèvement histologique était réalisé uniquement sur les cas du PNSM et à visée diagnostique), l'utilisation d'une matrice était fastidieuse pour les 1 672 sites. L'utilisation d'un indice semblait donc la méthode la plus pertinente dans notre étude. La construction de cet indice devait reposer sur des critères fiables et bien renseignés.

### 3.2.4 Conclusion de l'étude de faisabilité

Malgré les limites mises en évidence dans l'étude de faisabilité, et notamment par le manque de puissance attendu dans cette étude, il a été décidé de réaliser tout de même l'étude, notamment dans une perspective méthodologique afin d'évaluer la pertinence d'un indice d'exposition et l'utilisation du système d'information géographique (compte tenu de la disponibilité du calendrier résidentiel des sujets du PNSM).

## 3.3 SÉLECTION DES CAS ET DES TÉMOINS POUR L'ÉTUDE

Nous avons sélectionné tous les sujets (111 cas et 468 témoins) du PNSM qui n'ont pas été exposés professionnellement à l'amiante, c'est-à-dire pour lesquels la probabilité d'exposition professionnelle était nulle. Nous avons pris en compte les autres types d'exposition non professionnelle à l'amiante retrouvés par l'expertise du PNSM. Une évaluation complémentaire avait été réalisée pour les femmes afin de mieux préciser les expositions non professionnelles. Ce travail avait concerné :

- les expositions **paraprofessionnelles** : exposition au domicile par l'intermédiaire du conjoint qui, étant exposé professionnellement, ramène ses vêtements souillés par l'amiante au domicile. Cette exposition s'effectue par l'époussetage, le lavage ou le repassage de vêtements souillés ;
- les expositions **domestiques** : exposition par les **objets ménagers** contenant de l'amiante (planche à repasser, gant isolant, grille-pain, appareil de chauffage mobile, etc.) ;
- les expositions **passives intra-murales** liées à la dégradation des bâtiments contenant de l'amiante ;
- les expositions liées aux **activités de bricolage** : exposition par des matériaux contenant de l'amiante utilisés dans le cadre de l'aménagement ou de la rénovation de bâtiments privés (exemple : réfection d'un toit de garage en fibro-ciment).

Les calendriers résidentiels et professionnels "vie entière des cas et des témoins", c'est-à-dire leurs adresses successives de résidence, de scolarité et d'emploi au cours de leur vie, avaient ensuite été saisis.

### 3.4 ESTIMATION DES EXPOSITIONS

#### 3.4.1 Méthode d'estimation des expositions

Un premier travail bibliographique a permis de recenser les méthodes disponibles pour l'estimation de l'exposition par l'établissement d'un score. Il s'agissait des matrices "emplois-expositions", des études spatiales (cercles concentriques autour du site pour délimiter différents niveaux d'exposition) ou encore des méthodes bayésiennes. Compte tenu des données disponibles, la seule méthode possible à développer pour l'établissement d'un score était la matrice "lieux-expositions". On considérait l'effet comme étant additif pour les différentes expositions, c'est-à-dire pour les différentes distances (comme on le ferait pour différents emplois dans des matrices "emplois-expositions"). Les valeurs manquantes ont été prises en compte comme des données censurées à droite ou à gauche (selon qu'il s'agisse de personnes perdues de vue ou de personnes pour lesquelles nous n'avions pas d'information sur les premières expositions).

L'exposition environnementale des cas et des témoins était ainsi estimée par le calcul d'un score d'exposition "vie entière", fondé sur la distance au site et le temps de résidence dans ce lieu. Il combinait l'intensité, la distance entre les adresses des sujets et les sites et la durée passée à chaque adresse. Il a été défini comme la somme des scores d'exposition définis pour chaque adresse. Plus ce score est élevé, plus le sujet a un potentiel d'exposition fort.

$E = \sum_i [(I/d) * D]$ , où "I" représente l'intensité de l'exposition (indice : 1 ou 2), "D" la durée de l'exposition (en années) et "d" la distance entre la résidence ou le lieu professionnel du sujet et les anciens sites industriels (en mètres).

L'exposition environnementale était donc définie dans notre étude, parmi d'autres paramètres, par la proximité géographique du sujet avec un ancien site industriel. Dans un premier temps, il était nécessaire de vérifier que le site existait pendant la période où les individus avaient résidé/étudié/travaillé à proximité. Les expositions les plus anciennes étaient les plus intéressantes à prendre en compte étant donné la grande latence de la survenue d'un mésothéliome (30 à 40 ans).

#### 3.4.2 Recensement des sites industriels

La première étape a consisté à recenser les principaux sites industriels. Le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) avait initié en 2001 un recensement des principaux sites industriels de production et de transformation d'amiante à partir des données existantes sur les sites et sols pollués et d'une recherche bibliographique : Base des anciens sites industriels et activités de service (Basias), Pascal, Bibliothèque nationale de France, mémoire du Réseau national de santé publique. Ce travail a permis d'identifier les principaux sites en France ayant exploité ou transformé de l'amiante. L'ensemble de ces sites a été retenu dans notre étude, aucune exclusion selon les critères de choix proposés par l'étude du BRGM n'étant justifiée dans le cadre de cette étude [22].

La recherche d'éventuels sites supplémentaires a été effectuée auprès :

- des organismes et institutions : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, Fond amiante, Association nationale de

défense des victimes de l'amiante, Bossons Futé (association animée par des médecins du travail), Caisse régionale d'assurance maladie d'Île-de-France, Direction régionale de l'industrie de la recherche et de l'environnement (Drire), Direction régionale du travail (DRT), Fonds d'indemnisation des victimes de l'amiante, Fédération nationale des accidentés du travail et des handicapés, Institut français de l'environnement, Ineris, Institut national de recherche et de sécurité, Insee, Institut technique des gaz et de l'air, ministère de l'Écologie et du Développement durable, Observatoire national de la remédiation amiante, Service des archives du ministère de la Justice et des Libertés, Service des études statistiques industriels ;

- de bases de données : base de données sur les sites et sols pollués (Basol<sup>1</sup>, Basias<sup>2</sup>, Infogreffe<sup>3</sup>) ;
- de sources bibliographiques sur la base de mots-clés : "sites industriels", "exploitation", "transformation", "amiante", "arrêtés ministériels".

Cette recherche a été étendue aux chantiers navals, non pris en compte par le BRGM.

La recherche des adresses des sites industriels existants a été effectuée sur Internet à partir de l'annuaire des Pages jaunes, ainsi que sur les sites Basol et Basias.

#### 3.4.3 Caractérisations des sites

Les informations sur les expositions issues des études épidémiologiques indiquent la très grande variété géologique et morphologique des fibres et mélanges de fibres auxquelles peuvent être exposées les populations humaines en fonction des procédés de transformation industriels. Ainsi, la revue d'Esmen *et al.* [23], même si elle ne concerne qu'une partie limitée des fibres d'amiante qu'on peut rencontrer en milieu industriel, donne des informations essentielles sur les niveaux d'exposition respectivement rencontrés lors d'expositions environnementales. Ces expositions environnementales varient de quelques dix millièmes à quelques dixièmes de fibres par millilitre (tableau 3).

TABLEAU 3 |

#### Expositions environnementales

900 à 4 700 ng/m <sup>3</sup> (0,03 à 0,16 f/ml)	Sous le vent d'une décharge, amosite
500 à 2 000 ng/m <sup>3</sup> (0,017 à 0,067 f/ml)	Sous le vent d'une usine, amosite
12 à 800 ng/m <sup>3</sup> (0,0004 à 0,027 f/ml)	Sous le vent d'une décharge, chrysotile
10 à 50 ng/m <sup>3</sup> (0,0003 à 0,0017 f/ml)	Air ambiant, chrysotile
3 à 5 ng/m <sup>3</sup> (0,00010 à 0,00017 f/ml)	Bruit de fond rural, chrysotile
1 à 8 ng/m <sup>3</sup> (0,00003 à 0,00027 f/ml)	Bruit de fond urbain, chrysotile
0,3 à 5,3 ng/m <sup>3</sup> (0,00001 à 0,00018 f/ml)	Dans une aire de loisirs, amiante

Mesurées en ng/m<sup>3</sup> et converties en f/ml en utilisant un facteur de conversion de 30 000 ng/m<sup>3</sup> pour 1 f/ml.

<sup>1</sup> <http://basol.ecologie.gouv.fr/>

<sup>2</sup> <http://basias.brgm.fr/>

<sup>3</sup> [www.infogreffe.fr](http://www.infogreffe.fr)

La qualification ou la quantification de l'intensité de l'exposition des populations nécessite de disposer d'un certain nombre d'informations et notamment d'étudier les données concernant les caractéristiques particulières des sites industriels. Chaque site peut émettre une quantité spécifique de fibres dans l'environnement, en fonction de son type d'activité. Pour approcher ces informations, il est nécessaire de disposer de la liste des sites industriels et d'avoir accès aux dossiers concernant ces sites (type d'activité, volume produit, etc.).

### 3.4.4 Estimation de l'intensité

L'estimation de l'intensité passée de l'exposition à l'amiante des cas et des témoins au voisinage des sites industriels a fait également l'objet du mémoire d'un master [21]. Pour définir les critères pertinents à prendre en compte dans l'estimation de l'intensité, le choix s'est porté sur le consensus d'experts inspiré du processus Delphi. L'objectif de cette expertise était, après avoir élaboré une liste de critères retrouvés dans la littérature et/ou disponibles dans notre étude, de pondérer et de hiérarchiser ces critères au regard de leur pertinence en terme d'évaluation rétrospective. Les critères les plus importants retenus par les experts pour l'estimation de l'intensité de la production environnementale de fibres d'amiante autour des sites industriels sont :

- la durée d'activité comme déterminant probable de la quantité totale produite;
- la quantité annuelle d'amiante produite (rejets classiquement liés à des facteurs d'émission rapportés à la tonne utilisée);
- le type de fibres utilisées (toxicité et biopersistance différente) et les caractéristiques physiques (longueur, largeur) influençant la dispersion;
- le type de fabrication : le type de procédé utilisé (humide, sec, etc.) est un bon reflet de l'émission. Il est fortement lié à la quantité d'amiante utilisée ainsi qu'au type de fibres.

Les autres critères discutés étaient :

- la période d'exploitation du site (évolution des réglementations et des procédés);
- les niveaux de concentration dans les locaux des sites industriels (émissions diffuses souvent proportionnelles aux concentrations dans les bâtiments industriels);
- les niveaux de concentration au voisinage des sites;
- les vents dominants aux environs du site;
- la ventilation des locaux;
- le type de stockage de l'amiante (remblai);
- la typologie des habitats environnants;
- les changements d'activité du site;
- le changement de propriétaire (peut-être lié aux changements de pratiques). La durée d'activité et le type de fabrication sont des données renseignées pour 64 % des sites alors que la quantité d'amiante produite était très peu renseignée (3 % des sites seulement). Concernant le type de fibres, la majorité des fibres d'amiante utilisées en France dans les usines de transformation de l'amiante était du chrysotile [1].

L'étude de faisabilité préalablement menée a montré que les données concernant les caractéristiques passées des anciens sites industriels étaient peu disponibles. La plupart des données sur les sites industriels

étaient disparates, incomplètes, peu disponibles et peu accessibles. Nous avons donc réalisé l'analyse en tenant compte d'une première estimation globale de l'intensité, en faisant l'hypothèse que si les sites figuraient sur la liste des arrêtés de la DRT comptant les établissements susceptibles d'ouvrir droit à l'allocation de cessation anticipée des travailleurs de l'amiante, alors ils avaient risqué d'avoir pollué l'environnement (et le critère d'intensité était égale à 2 dans le calcul du score). À l'inverse, si les sites ne figuraient pas sur cette liste, ils étaient considérés "non à risque de pollution environnementale" (et le critère d'intensité était égal à 1 dans le calcul du score). La liste des arrêtés de la DRT est la suivante : arrêtés du 3 juillet 2000, du 12 octobre 2000, du 19 mars 2001, du 1<sup>er</sup> août 2001, du 24 avril 2002, du 12 août 2002, du 25 mars 2003, du 30 juin 2003, du 6 février 2004. Ces arrêtés s'appliquent à la "Liste des établissements ayant fabriqué des matériaux contenant de l'amiante et des établissements de flocage et de calorifugeage à l'amiante, susceptibles d'ouvrir droit à l'allocation de cessation anticipée d'activité des travailleurs de l'amiante".

### 3.4.5 Estimation de la distance

Pour calculer la distance au site le plus proche, et ainsi déterminer si les cas étaient plus souvent proches d'un site que les témoins, il fallait respecter les critères suivants : une distance inférieure à 2 000 m entre l'adresse d'un sujet et celle du site [24], la date de début d'activité du site antérieure ou équivalente à celle du séjour du sujet (adresse résidentielle, professionnelle, scolaire). Un programme informatique développé sous Arc View® a permis d'automatiser ce rapprochement.

L'ensemble des données récupérées pour construire le score d'exposition a été intégré dans un SIG. Ce système permet de localiser des adresses sur une carte grâce à des coordonnées géographiques X et Y et ensuite de calculer des distances entre différentes adresses. Une analyse spatiale confrontant la localisation des cas de mésothéliome et celle des anciens sites industriels ayant été à l'origine d'une exposition environnementale à l'amiante a ainsi été conduite (annexe 3).

Les adresses des sites industriels présents dans les communes de l'ensemble du territoire de la France métropolitaine, ainsi que les adresses des domiciles, écoles et lieux de travail des sujets ont été saisies, complétées et géocodées.

Les adresses manquantes ou incomplètes ont été complétées par recherche sur Internet à partir de l'annuaire des Pages blanches<sup>4</sup> et des Pages jaunes<sup>5</sup> puis auprès des mairies des communes concernées, des inspections académiques pour les écoles, sur le site Internet de l'Insee et de Infogreffe<sup>6</sup> (interrogation par raison sociale + commune + département, ou par numéro d'identification) pour les adresses des sites industriels, et auprès des Archives de Paris pour les emplois et les sites industriels.

Les adresses ont été géocodées par la société Géocible par une recherche automatique puis une recherche manuelle quand cela était nécessaire. En effet, à l'issue de la recherche automatique, Géocible procède à l'étape manuelle qui consiste à vérifier les adresses non

<sup>4</sup> [www.pagesblanches.fr](http://www.pagesblanches.fr)

<sup>5</sup> [www.pagesjaunes.fr](http://www.pagesjaunes.fr)

<sup>6</sup> [www.insee.fr](http://www.insee.fr)

reconnues dans le traitement automatique, en effectuant une recherche sur des cartes pour des voies non reconnues ou nouvelles, complétée par une recherche auprès du service des archives des mairies.

L'ensemble de la méthodologie SIG employée est détaillée dans l'Arrêté du 3 juillet 2000 [31].

### 3.4.6 Estimation de la durée

Il s'agissait de déterminer le plus précisément possible le temps passé à l'école, au domicile et au travail, par année, en tenant compte des spécificités de l'époque. Le temps passé pour chaque sujet dans une zone à risque a été calculé à partir de l'analyse des calendriers scolaires, résidentiels et professionnels. Des hypothèses ont été faites sur le temps global passé à l'école, au domicile et au travail. Le score d'exposition est alors construit en reliant les estimations du temps passé aux adresses relevées dans le PNSM, en fonction de la localisation d'un site et de sa durée d'activité.

Une recherche sur l'historique du temps de travail en France ainsi que sur le temps passé à l'école [25,26] a permis de faire les hypothèses suivantes pour la période qui nous concerne :

- le temps passé au **travail** est en moyenne de 40 heures/semaine et de 3 semaines de congés payés par an, soit **1 960 heures/an** ;
- les enfants sont à l'école de 8h30 à 16h30 pendant 4 jours et de 8h30 à 12h30 une journée, soit 30 heures par semaine, 10 mois sur 12. Donc en moyenne, le temps passé à l'école est de **1 320 heures/an** ;
- le temps passé au **domicile** peut être déduit des temps précédents. Il correspond au temps restant en dehors du travail ou de l'école. Les loisirs n'ont pas été pris en compte.

Avec ces hypothèses, le temps passé à domicile est :

- $(24 \times 7 \times 52) - 1\,960 = \mathbf{6\,776 \text{ heures/an}}$  pour les personnes qui travaillent ;
- $(24 \times 7 \times 52) - 1\,320 = \mathbf{7\,416 \text{ heures/an}}$  pour les enfants qui vont à l'école ;
- $24 \times 7 \times 52 = \mathbf{8\,736 \text{ heures/an}}$  pour les autres.

## 3.5 ANALYSE STATISTIQUE

L'association entre la survenue d'un mésothéliome pleural et l'exposition environnementale à l'amiante a été analysée par un modèle de régression logistique. La variable âge était inclus dans le modèle. Les autres types d'exposition non professionnelle à l'amiante ont été pris en compte dans le modèle. Ils ont été regroupés dans une variable "exposé/non exposé".

Les analyses ont été conduites pour les femmes et pour les hommes séparément.

Les OR et leurs intervalles de confiance à 95 % sont présentés.

Une analyse de sensibilité a été réalisée :

- d'une part en faisant varier la distance à proximité d'un site industriel (exposition définie alors pour les personnes ayant été scolarisées, ayant habité ou travaillé au moins un moment à moins de 1 km d'un site vs à moins de 2 km) ;
- d'autre part en faisant varier l'intensité du score (exposition définie uniquement pour les personnes à proximité d'un site sur la liste de la DRT vs exposition à proximité de tout site industriel).

## 4. Résultats

### 4.1 LA POPULATION

On a 111 cas et 468 témoins (tableau 4).

| TABLEAU 4 |

#### Cas et témoins inclus dans l'étude

	Cas (%)	Témoins (%)	Total (%)
Hommes	36 (32)	323 (69)	359 (62)
Femmes	75 (68)	145 (31)	220 (38)
<b>Total</b>	<b>111 (100)</b>	<b>468 (100)</b>	<b>579 (100)</b>

L'âge des sujets variait de 41 à 92 ans. La moyenne était de 69 ans (écart-type=9 ans) et la médiane de 70 ans. Il n'y avait pas de différence entre les hommes et les femmes et entre les cas et les témoins.

La majorité des cas étaient des femmes (68 %) alors que la majorité des témoins étaient des hommes (69 %). On notait 71 cas exposés (23 hommes et 48 femmes) et 281 témoins (189 hommes et 92 femmes), c'est-à-dire ayant un score différent de 0.

### 4.2 L'EXPOSITION ENVIRONNEMENTALE

#### 4.2.1 Recensement des sites industriels

La plupart des sites recensés n'étaient pas des Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et une majeure partie était d'anciens chantiers navals qui utilisaient de l'amiante (tableau 5).

Après une recherche auprès du BRGM, complétée par la consultation des bases de données Basias, Basol, Infogreffe et de l'Insee et vérification manuelle des adresses (exclusion des sièges sociaux) des sites, 553 sites industriels et 1 119 chantiers navals ont été finalement recensés (près des côtes ou sur les trajets fluviaux).

Au total, 1 672 sites ont été recensés dont 553 sites industriels et 1 119 chantiers navals. Sur ces 1 672 sites, seuls 697 sont des ICPE et sont donc recensés par la Drire.

| TABLEAU 5 |

#### Répartition des sites ayant exploité ou transformé de l'amiante en France

	Sites industriels (hors chantiers navals)	Chantiers navals	Total
Sites ICPE	385	312	697
Sites non ICPE	168	807	975
<b>Total</b>	<b>553</b>	<b>1 119</b>	<b>1 672</b>

## 4.2.2 Le score d'exposition environnementale

Le score d'exposition environnementale variait de 0 à 13 383 avec une moyenne de 381 et une médiane de 50 (tableau 6).

On notait 33 valeurs manquantes – 4 cas et 29 témoins (5,7 % des sujets). Il n'était pas possible de calculer le score pour 2 cas

et 25 témoins pour les hommes, et pour 2 cas et 4 témoins pour les femmes.

Pour les hommes, 23 cas (68 %) et 189 témoins (63 %) avaient un score différent de 0 et pour les femmes : 48 cas (66 %) et 92 témoins (65 %) avaient un score différent de 0.

| TABLEAU 6 |

### Distribution du score d'exposition environnementale

	Moyenne (écart-type)	Minimum	P <sub>5</sub>	Médiane	P <sub>95</sub>	Maximum
Total	381 (960)	0	0	50	1765	13383
Hommes	346 (971)	0	0	46	1573	13383
Femmes	436 (948)	0	0	68	2036	6113
Score>0	592 (1 146)	2	8	190	2714	13383

## 4.3 LES AUTRES TYPES D'EXPOSITION NON PROFESSIONNELLE À L'AMIANTE

On notait l'existence d'une exposition non professionnelle à l'amiante de type paraprofessionnel, domestique ou de bricolage pour 24 cas (67 %) et 190 témoins (59 %) chez les hommes, et pour 42 cas (56 %) et 50 témoins (34 %) chez les femmes. Pour les hommes, cette exposition concernait les activités de bricolage (n=214, dont 24 cas). Pour les femmes, il s'agissait d'exposition paraprofessionnelle (n=49, dont 23 cas), domestique (n=46, dont 23 cas) ou de bricolage (n=6, dont 2 cas).

## 4.4 RISQUE DE MÉSOTHÉLIOME ASSOCIÉ À L'EXPOSITION ENVIRONNEMENTALE À L'AMIANTE

L'augmentation du risque de mésothéliome pour les personnes ayant un score d'exposition environnementale élevé (95<sup>e</sup> percentile de la distribution) n'était pas significatif chez les femmes, avec un OR=1,2 (IC 95%=[0,7-2,3]). Pour les hommes, il n'a pas été observé d'augmentation du risque, l'OR était de 0,9 (IC 95%=[0,4-1,9]). Pour rappel, ces OR étaient ajustés sur les autres types d'exposition non professionnels et sur l'âge des sujets. L'interaction entre le score d'exposition environnementale et les autres types d'exposition non professionnelle à l'amiante a été testée et n'était pas significative.

## 4.5 RISQUE DE MÉSOTHÉLIOME ASSOCIÉ À UNE AUTRE EXPOSITION NON PROFESSIONNELLE À L'AMIANTE

Chez les femmes, l'augmentation du risque de mésothéliome était significatif, avec un OR=2,5 (IC 95%=[1,4-4,5]), p=0,002. Pour les hommes, l'OR était de 1,4 (IC 95%=[0,7-2,9]), p=0,4.

## 4.6 ANALYSE DE SENSIBILITÉ

### 4.6.1 Analyse en fonction de la distance

Des analyses complémentaires ont été réalisées en prenant en compte une distance de proximité d'un site industriel de 1 km au lieu de 2 km.

Les résultats sont globalement inchangés. On observe néanmoins un OR légèrement plus élevé chez les femmes associé à un intervalle de confiance réduit (tableau 7).

L'analyse portait, pour les femmes, sur 31 cas et 63 témoins qui étaient exposés, c'est-à-dire ayant été scolarisés, ayant habité ou travaillé au moins un moment à moins de 1 km d'un site industriel. Pour les hommes, on notait 14 cas et 118 témoins exposés.

| TABLEAU 7 |

### Analyse de sensibilité en fonction de la distance

	Femmes			Hommes		
	OR	IC 95%	p	OR	IC 95%	p
<b>Analyse pour les sites &lt;1 km</b>						
Score exposition environnementale	1,4	0,8-2,2	0,2	0,9	0,5-1,8	0,8
<b>Analyse pour les sites &lt;2 km</b>						
Score exposition environnementale	1,2	0,7-2,3	0,5	0,9	0,4-1,9	0,7

## 4.6.2 Analyse en fonction de l'intensité

En ne prenant en compte que la proximité avec les sites étant classés dans la liste de la DRT, sous l'hypothèse qu'ils sont plus susceptibles d'avoir pollué l'environnement alentour, plutôt que de prendre en compte l'ensemble des sites industriels, l'OR est identique chez les

femmes mais l'intervalle de confiance est rétréci, bien que toujours non significatif (tableau 8).

Le fait de ne prendre en compte que la proximité avec les sites de la liste de la DRT nous faisait perdre 2 cas et 1 témoin chez les femmes, et 8 témoins chez les hommes.

| TABLEAU 8 |

### Analyse de sensibilité en fonction de l'intensité

	Femmes			Hommes		
	OR	IC 95%	p	OR	IC 95%	p
<b>Analyse uniquement pour les sites de la DRT</b>						
Score exposition environnementale	1,2	0,7-0,9		0,8	0,3-2	
Autres expositions non professionnelles	2,5	1,4-4,6	0,002	1,4	0,7-2,9	0,4
<b>Analyse pour l'ensemble des sites</b>						
Score exposition environnementale	1,2	0,7-2,3	0,5	0,9	0,4-1,9	0,7
Autres expositions non professionnelles	2,5	1,4-4,5	0,002	1,4	0,7-2,9	0,4

## 5. Discussion

Ce travail a permis d'étudier la relation entre une exposition environnementale d'origine industrielle à l'amiante et la survenue de mésothéliome, à partir des données du PNSM, en prenant en compte la localisation des sujets par rapport aux sites industriels *via* un SIG. L'augmentation du risque observée chez les femmes n'était pas significative et de niveau plus faible que celui trouvé dans la littérature [27,28]. Les études publiées étaient cependant souvent focalisées autour d'un site polluant unique ou qui correspondait à une situation particulière [29,30]. Ainsi, la plus célèbre des études, déjà citée plus haut, s'est déroulée dans la région de Casale-Monferrato, dans des conditions optimales de réalisation épidémiologique dans la mesure où l'usine d'amiante ciment était la plus importante d'Italie et située à moins de 1 000 mètres du centre ville, dans une région peu industrialisée où n'existent pas d'autres industries d'amiante et dont la mobilité géographique des habitants est négligeable. Dans notre étude, il est possible que nous ayons dilué le risque en travaillant au niveau national (et donc avec des caractéristiques d'exposition environnementale à l'amiante potentiellement hétérogènes) et que le risque observé ait été sous-estimé en raison des données manquantes.

Cette étude a nécessité un long et fastidieux travail préalable pour améliorer la qualité des données en vue d'utiliser un SIG. En effet, ce dernier requiert un travail de vérification des adresses, que ce soit pour les domiciles, écoles et lieux de travail des sujets ou les sites industriels. Le problème des adresses manquantes concernait peu les sites industriels (avec 0,2 % de valeurs manquantes et moins de 10 % des adresses géocodées à la commune) mais était plus marqué pour les adresses des sujets. On notait ainsi plusieurs types de données manquantes : les adresses à l'étranger (seules les adresses sur le territoire national français ont été exploitées) ; les adresses qui n'ont pas pu être géocodées (soit par manque d'information, soit parce qu'elles étaient introuvables) et les périodes non renseignées des cas et des témoins. Ce problème de données manquantes était aussi important chez les cas que chez les témoins et *a priori* non lié à la

localisation par rapport au site. On peut donc considérer qu'il n'a pas été à l'origine d'un biais différentiel intervenant dans la mesure du risque. Les conséquences potentielles sont donc vraisemblablement une dilution du risque.

Le recensement des sites industriels a nécessité des recherches approfondies dans plusieurs bases de données et un travail minutieux de vérification. La difficulté majeure rencontrée au cours des différentes étapes de notre démarche était le manque de données. Certaines adresses étaient incomplètes ou inexploitable, la date d'activité des sites n'était pas toujours précisée et n'a pas toujours permis de calculer la durée d'activité du site. Ces données manquantes nous ont conduit à sous-estimer l'exposition de ces sujets. Les données concernant les caractéristiques des sites étaient tellement disparates et peu renseignées que nous n'avons pas pu construire un score d'exposition aussi précis que nous l'aurions voulu. L'analyse tient compte de la distance, de la durée de résidence des populations riveraines des anciens sites industriels et naturels et d'une première estimation de l'intensité (sites industriels non retrouvés dans la liste de la DRT vs sites industriels retrouvés dans la liste de la DRT). Cet indicateur, bien que grossier, a néanmoins permis de renforcer la différence du score d'exposition entre cas et témoins. Le consensus d'experts a également permis de dégager les principaux critères qu'il serait pertinent de prendre en compte – si les données étaient disponibles – pour estimer cette intensité d'exposition de façon plus fine, en prenant en compte la durée de l'activité de l'industrie, le volume produit, le type de fibres et le processus industriel utilisé. Les sites industriels pourraient être ainsi hiérarchisés en fonction du risque lié au *process* industriel et au type d'activité. Il faudrait toutefois affiner la recherche sur l'historique des sites pour déterminer si l'activité ou le procédé de fabrication a changé. La hiérarchisation des critères n'a pas permis d'achever la construction de l'indice d'intensité de l'exposition car il faudrait encore déterminer si la pondération primaire de chacun de ces critères est suffisante ou s'il est nécessaire de leur octroyer des poids différents. À cette fin, un travail supplémentaire d'experts ayant une bonne connaissance industrielle serait nécessaire pour aller plus loin dans l'expertise.

En effet, un critère tel que le type de fabrication doit être approfondi pour hiérarchiser et pondérer les différents procédés entre eux. Par ailleurs, l'information n'étant disponible que pour 60 % des sites, il est probable que cela affecte la puissance de l'étude.

Malgré ces difficultés liées au manque d'information concernant les anciens sites industriels ou au manque de précision des adresses des sujets, nous disposons, par le PNSM, de toute l'histoire résidentielle et professionnelle des sujets. De plus, les autres types d'exposition non professionnelle à l'amianté étaient renseignés et ont été validés par expertise à partir des questionnaires. Le codage des différents types d'exposition extraprofessionnelle a permis de distinguer le bricolage, le paraprofessionnel et le domestique. Il a cependant été impossible de prendre en compte les expositions passives intramurales dans la mesure où il n'existait pas de liste des bâtiments (écoles ou entreprises) contenant de l'amianté pour les établissements publics à cette période.

Notre étude présentait quelques particularités dues à l'utilisation des données du PNSM. Ainsi, notre population était essentiellement féminine. La prédominance de femmes parmi les cas s'explique par le fait que les cas sélectionnés à partir de la base du PNSM pour notre étude étaient ceux n'ayant pas d'antécédent d'exposition professionnelle à l'amianté. Effectivement, dans la base PNSM, les cas non exposés professionnellement représentaient 60 % des femmes atteintes de mésothéliome mais seulement 10 % des hommes. Chez les témoins, le sexe ratio est inversé car il existait davantage de témoins hommes que de témoins femmes enregistrés dans la base du PNSM (venant du fait qu'il y avait plus de cas hommes dans le PNSM que de cas femmes et du fait que la fréquence d'antécédents professionnels d'exposition à l'amianté était plus importante chez les hommes que chez les femmes).

Enfin, il faut noter que l'enregistrement des cas de mésothéliome était exhaustif dans les départements du PNSM, et que ces cas ont bénéficié d'une certification diagnostique spécifiquement mise en place. Toutefois, cette étude n'a pu prendre en compte que la proximité des riverains avec les sites industriels car les sites naturels recensés par la BRGM ont été identifiés la plupart du temps dans des départements où le PNSM n'existe pas. Il a donc été impossible d'étudier la relation entre mésothéliome et l'exposition à l'amianté des populations riveraines autour de sites amiantifères. Il serait utile d'étendre le PNSM à ces départements, et notamment la Corse (via la région Provence-Alpes-Côte d'Azur), où se trouvent le plus grand nombre de gisements naturels.

Cette étude propose une méthode alternative intéressante aux outils plus classiques que sont les études de surincidence ou de surmortalité dans une zone géographique déterminée autour d'un site industriel. Elle a permis d'aborder la problématique de l'exposition sous divers angles, en fonction de la précision et de la disponibilité des données, et a servi de support à des développements méthodologiques intéressants concernant la démarche géographique du SIG.

Cette étude a utilisé une démarche utilisant à la fois un SIG, un budget "espace temps" et un critère d'intensité pour une meilleure estimation de l'exposition environnementale à l'amianté des sujets. Elle a souligné la difficulté d'avoir des données précises pour estimer

l'exposition environnementale des sujets et a permis d'émettre des recommandations sur les données pertinentes à prendre en compte pour mieux définir cette exposition, comme la durée de l'activité de l'industrie, le type de fibre utilisée, le processus industriel et le volume d'amianté produit.

## 6. Conclusion et recommandations

Cette étude, bien qu'intéressante sur le plan méthodologique, s'est heurtée au manque de puissance statistique habituellement requise pour mettre en évidence des risques relatifs environnementaux. Ce manque de puissance aurait pu être en partie compensé par une évaluation fine de l'exposition. Or, la principale difficulté dans cette étude était la recherche d'information pour caractériser de façon précise les anciens sites industriels et les adresses manquantes des sujets. Ces difficultés soulignent la nécessité de disposer des adresses exactes des sujets et des archives industrielles concernant les *process* pour améliorer les systèmes de surveillance en santé environnement. Il serait également souhaitable d'étendre le PNSM dans les départements où existent d'anciens sites industriels d'exploitation et de transformation de l'amianté, des chantiers navales ou des gisements naturels. Les nouveaux cas enregistrés dans le cadre du PNSM pourraient permettre d'obtenir la puissance suffisante dans le futur et d'utiliser la méthodologie décrite dans cette étude pour étudier la relation entre le fait d'avoir vécu ou travaillé à proximité d'un site industriel de production ou de transformation de l'amianté et la survenue d'un mésothéliome. Il est à noter que ces recommandations ont été suivies et que les départements de la Seine-Maritime, des Alpes-Maritimes et de la Corse ont été intégrés au PNSM en 2006.

Il est possible que l'étude au niveau national ait "dilué" le risque des industries les plus polluantes, contribuant ainsi à l'absence d'observation d'un impact sanitaire statistiquement significatif dans cette étude. Néanmoins, il existe suffisamment d'éléments probants à ce jour pour affirmer qu'il existe bien des cas de mésothéliome ou de pathologies dus à l'amianté parmi les populations riveraines d'anciens sites industriels ayant particulièrement pollué l'environnement (que ces éléments soient apportés par la littérature ou par les études de cas autour d'une usine en particulier). L'analyse de sensibilité a montré l'importance du critère d'intensité dans la précision de la relation entre l'exposition et la survenue de mésothéliome. Il serait donc souhaitable de pouvoir hiérarchiser les sites industriels (notamment mines d'extraction ou de broyage d'amianté) selon le risque environnemental et, pour cela, obtenir des données fiables sur les critères définis comme pertinents dans cette étude, à savoir : la durée de l'activité de l'industrie, le type de fibre utilisée, le processus industriel et le volume d'amianté produit. Les populations ayant résidé autour de certains sites particuliers seraient exposées de façon plus conséquente à un risque de survenue de mésothéliome. En ce sens, une proposition d'action de sensibilisation des médecins des populations avoisinantes des anciens sites industriels est en cours d'élaboration entre les pouvoirs publics, les professionnels de santé et les associations de victimes.

# Références bibliographiques

- [1] Inserm. Effets sur la santé des principaux types d'exposition à l'amiante. Éditions Inserm expertises collectives. Paris. 1997.
- [2] Goldberg M, Luce D. Can exposure to very low levels of asbestos induce pleural mesothelioma? *Am J Respir Crit Care Med* 2005;172:939-40.
- [3] Berry M. Mesothelioma incidence and community asbestos exposure. *Environ Res* 1997;75:34-40.
- [4] Camus M, Siemiatycki J, Meek B. Non-occupational exposure to chrysotile asbestos and the risk of lung cancer. *N Engl J Med* 1998;338:1565-71.
- [5] Bourdes V, Boffetta P, Pisani P. Environmental exposure to asbestos and risk of pleural mesothelioma: review and meta-analysis. *Eur J Epidemiol* 2000;16:411-7.
- [6] Wagner JC, Sleggs CA, Marchand P. Diffuse pleural mesothelioma and asbestos exposure in the North Western Cape Province. *Br J Ind Med* 1960;17:260-71.
- [7] Magnani C, Terracini B, Ivaldi C, Botta M, Mancini A, Andrion A. Pleural malignant mesothelioma and non-occupational exposure to asbestos in Casale Monferrato, Italy. *Occup Environ Med* 1995;52:362-7.
- [8] Bohlig and Hain. Biological Effects of Asbestos. IARC Scient. Publ. [8], 1973;217-21.
- [9] WHO. Asbestos and other natural mineral fibres: environmental health criteria. International Programme on Chemical Safety, 53. 1986. Ref Type: Generic.
- [10] Magnani C, Agudo A, Gonzalez CA, Andrion A, Calleja A, Chellini E, Dalmaso P, Escolar A, Hernandez S, Ivaldi C, Mirabelli D, Ramirez J, Turuguet D, Usel M, Terracini B. Multicentric study on malignant pleural mesothelioma and non-occupational exposure to asbestos. *Br J Cancer* 2000;83:104-11.
- [11] Magnani C, Dalmaso P, Biggeri A, Ivaldi C, Mirabelli D, Terracini B. Increased risk of malignant mesothelioma of the pleura after residential or domestic exposure to asbestos: a case-control study in Casale-Monferrato, Italy. *Environ Health Perspect* 2001;109:915-9.
- [12] Pasetto R, Comba P, Marconi A. Mesothelioma associated with environmental exposures. *Med Lav* 2005;96:330-7.
- [13] Hain E, Dalquen P, Bohlig H, Dabbert A, Hinz I. [Retrospective study of 150 cases of mesothelioma in Hamburg area (author's transl)]. *Int Arch Arbeitsmed* 1974;33:15-37.
- [14] Burdorf A, Dahhan M, Swuste PH. Pleural mesothelioma in women is associated with environmental exposure to asbestos. *Ned Tijdschr Geneesk* 2004;148:1727-31.
- [15] Newhouse ML, Thompson H. Mesothelioma of pleura and peritoneum following exposure to asbestos in the London area. *Br J Ind Med* 1965;22:261-9.
- [16] Gloennec P, Riviere D, Tessier G, *et al.* Détermination d'une exposition environnementale à l'amiante dans le cadre d'une démarche d'évaluation des risques sanitaires à Andouillé, Mayenne. *Bull Epidemiol Hebd* 2000;35.
- [17] Counil E DCIH. Étude de santé publique autour d'une ancienne usine de broyage d'amiante: le Comptoir des minéraux et matières premières à Aulnay-sous-Bois (Seine-Saint-Denis). Pollution environnementale entre 1938 et 1975 : impacts sanitaires et recommandations. Rapport final. Institut de veille sanitaire, 1-256. 2007.
- [18] Daniau C, Cosson J, Dor F. Exposition environnementale à l'amiante chez les personnes riveraines d'affleurements de roches amiantifères en France continentale – Rapport final. Saint-Maurice (Fra): Institut de veille sanitaire, décembre 2008, 73 p. Disponible sur : [www.invs.sante.fr](http://www.invs.sante.fr)
- [19] Estimation provisoire de l'incidence nationale du mésothéliome pleural à partir du Programme national de surveillance du mésothéliome. *Bull Epidemiol Hebd* 2003.

- [20] Estimation provisoire de l'incidence nationale du mésothéliome pleural à partir du Programme national de surveillance du mésothéliome. Bull Epidemiol Hebd 2002;3.
- [21] Cosson J. Évaluation de l'intensité de l'exposition passée à l'amiante au voisinage des sites industriels. Mémoire de Master "Sciences de la vie et de la santé" mention santé publique "évaluation et gestion des risques environnementaux". 2008. Université Paris V.
- [22] BRGM. Évaluation de l'exposition aux fibres d'amiante des populations riveraines d'anciens sites industriels d'exploitation ou de transformation de l'amiante. Rapport BRGM/RP-51089-FR. 2001. France.
- [23] Esmen NA, Erdal S. Human occupational and non-occupational exposure to fibers. Environ Health Perspect 1990;88:277-86.
- [24] Magnani C, Terracini B, Ivaldi C, Botta M, Mancini A, Andron A. Pleural malignant mesothelioma and non-occupational exposure to asbestos in Casale Monferrato, Italy. Occup Environ Med 1995;52:362-7.
- [25] Freyssinet J, Belier G, Masson JR, Tellier D. L'évolution du temps de travail : le déplacement des enjeux économiques et sociaux. Droit social n° 9-10, 752-63. 1998.
- [26] Samuel N. Les congés payés : rappel historique. Autrement 111, 45-6. 1990.
- [27] Siemiatycki J, Camus M, Parent ME, Désy M, Case B. Risque de cancer chez les résidentes des villes de l'amiante au Québec : évaluation du risque attribuable à des faibles niveaux d'exposition et validation de la méthode d'évaluation de risque de l'EPA. 2008. Laval : Institut Armand-Frappier, Université du Québec.
- [28] Musti M, Pollice A, Cavone D, Dragonieri S, Bilancia M. The relationship between malignant mesothelioma and an asbestos cement plant environmental risk: a spatial case-control study in the city of Bari (Italy). Int Arch Occup Environ Health 2008.
- [29] Hansen J, de Klerk NH, Musk AW, Hobbs MS. Environmental exposure to crocidolite and mesothelioma: exposure-response relationships. Am J Respir Crit Care Med 1998;157:69-75.
- [30] Maule MM, Magnani C, Dalmaso P, Mirabelli D, Merletti F, Biggeri A. Modeling mesothelioma risk associated with environmental asbestos exposure. Environ Health Perspect 2007;115:1066-71.
- [31] Arrêté du 3 juillet 2000 modifié, modifiant la liste des établissements susceptibles d'ouvrir droit à l'allocation de cessation anticipée d'activité des travailleurs de l'amiante. Disponible sur : [www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/Pdf%20AllocAmianteEtsFabricationListe/\\$File/AllocAmianteEtsFabricationListe.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/Pdf%20AllocAmianteEtsFabricationListe/$File/AllocAmianteEtsFabricationListe.pdf)

# Annexe 1 - Saisine de la Direction générale de la santé

*S: pual*  
*↳ Cuyri*  
*DSE*  
*Repon o'jevi*

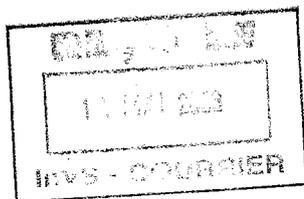
  
Liberté • Égalité • Fraternité  
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
MINISTÈRE DE LA SANTÉ, DE LA FAMILLE  
ET DES PERSONNES HANDICAPÉES

Paris, le 12 MAI 2003

DIRECTION GÉNÉRALE DE LA SANTÉ

Sous-direction de la gestion des risques des milieux  
Bureau des bâtiments, du bruit et du milieu de travail  
DGS/SD7C/N° 236

Personne chargée du dossier :  
Gilles ESNAULT  
Tél : 01-40-56-46-33  
gilles.esnault@sante.gouv.fr

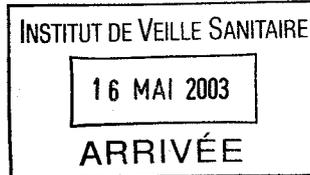


Le Directeur Général de la Santé

à

Monsieur le Directeur de l'Institut de  
Veille Sanitaire

**OBJET** : Expositions environnementales à l'amiante



Monsieur le Directeur,

Le dispositif réglementaire relatif à la protection de la population contre les risques liés à l'amiante dans les immeubles bâtis a fait l'objet, depuis 1996, de trois décrets permettant de traiter les problèmes liés à une exposition intra-murale.

Ma direction est régulièrement sollicitée au sujet des risques liés aux expositions environnementales à l'amiante, qu'elles soient dues aux anciens sites d'exploitation ou de transformation de l'amiante ou aux sites amiantifères naturels. En effet, les départements de la Mayenne, avec le site d'Andouillé, de la Seine Saint Denis, avec le Comptoir des Minéraux et Matières Premières, et de la Haute Corse, avec les affleurements naturels de roches amiantifères, ont fait ou font actuellement l'objet d'études auxquelles votre Département Santé-Environnement (DSE) est associé.

Par ailleurs, le BRGM a réalisé le recensement des anciens sites industriels d'exploitation ou de transformation de l'amiante, dans le cadre d'une convention avec le ministère chargé de la santé, pour lequel le DSE a participé au comité de pilotage.

Des contacts pris avec vos services, il ressort que l'on puisse envisager de réaliser une étude sur l'impact sanitaire de l'exposition aux fibres d'amiante des populations riveraines des anciens sites industriels d'exploitation ou de transformation de l'amiante et d'affleurements naturels.

IVS\_env.DOC

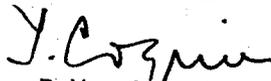
8, avenue de Ségur - 75530 PARIS 07 SP - Téléphone : 01 40 56 60 00 - Télécopie 01 40 56 40 56  
www.sante.gouv.fr - www.social.gouv.fr - www.ville.gouv.fr - www.travail.gouv.fr

Aussi, je souhaite que vous puissiez me faire part de la méthodologie que vous pourriez développer afin de mener à bien une telle étude.

Mes services se tiennent à votre disposition pour vous fournir les précisions que vous jugerez nécessaires pour mener à bien ce travail.

Je vous prie d'agréer, Monsieur le Directeur, l'expression de mes salutations distinguées.

Le Chef de Service

  
~~Dr Yves COQUIN~~

IVS\_env.DOC

8, avenue de Ségur - 75530 PARIS 07 SP - Téléphone : 01 40 56 60 00 - Télécopie 01 40 56 40 56  
[www.sante.gouv.fr](http://www.sante.gouv.fr) - [www.social.gouv.fr](http://www.social.gouv.fr) - [www.ville.gouv.fr](http://www.ville.gouv.fr) - [www.travail.gouv.fr](http://www.travail.gouv.fr)

# Annexe 2 - Saisine de la Direction générale de la santé et réponse du Département santé environnement (mai 2003)



INSTITUT DE  
VEILLE SANITAIRE

Département Santé Environnement  
DIR/GD/468.03/DSE/ML/CGF/289.03

Affaire suivie par :

Claire Gourier-Fréry puis Stéphanie Vandentorren  
Département Santé Environnement

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Saint-Maurice, le 12 août 2003

Monsieur le  
Directeur de l'Institut de Veille Sanitaire

à

Monsieur le Directeur Général de la Santé  
Sous-direction de la gestion des risques des  
milieux  
Bureau des bâtiments, du bruit et du milieu  
de travail  
8 avenue de Ségur  
755350 PARIS 07 SP

A l'attention de Gilles ESNAULT

Objet : Expositions environnementales à l'amiante

Réf : Courrier DGS/SD7C/ n°230 du 12 mai 2003

En réponse à votre courrier en date du 12 mai 2003, je vous informe que le département santé environnement propose d'inscrire à son programme d'activités pour l'année 2004 un projet d'étude des mésothéliomes d'origine environnementale. L'étude que nous vous proposons de mener a pour objectifs principaux :

- D'améliorer les connaissances sur les cas de mésothéliome non professionnels en France,
- D'analyser l'excès de risque de mésothéliome lié à l'habitat à proximité d'anciens sites industriels d'exploitation ou de traitement de l'amiante et si possible de sites géologiques, et que les pathologies non cancéreuses à type de fibrose peuvent être observées de façon excessive.
- D'apporter des éléments épidémiologiques sur la pertinence de proposer des mesures spécifiques de dépistage ou de prise en charge des populations riveraines des anciens sites industriels.

Ce projet, axé sur les mésothéliomes, ne peut répondre complètement à la question de « l'impact sanitaire » général de l'exposition à l'amiante des populations riveraines des sites industriels et géologiques ; la littérature nous montre que les effets attendus de tels expositions sont plus larges et que les pathologies non cancéreuses à type de fibrose peuvent être observées de façon excessive. Cependant, l'étude épidémiologique de ces pathologies généralement peu symptomatiques et ne faisant pas l'objet de programmes de surveillance, nécessite de recourir à des études directes en population, avec prescription d'examen diagnostics (radiologie, scanner). Comme vous le savez, une telle étude avait été proposée pour étudier l'impact sanitaire de l'exposition aux fibres d'amiante provenant des affleurements naturels de roches amiantifères dans la population Corse. Cette étude a été réfutée par les autorités sanitaires locales, notamment pour des raisons d'acceptabilité des mesures diagnostiques.

C'est pourquoi l'approche que le Département Santé Environnement propose de développer en lien avec le Département santé travail, l'ISPED et le BRGM est dans un premier temps axée sur des données de surveillance existantes : d'une part celles du Programme National de Surveillance du Mésothéliome (PNSM) et d'autre part les données de recensement des sites « amiante » effectué par le BRGM. L'étude proposée est une étude cas-témoins basée sur les cas de mésothéliome et témoins non malades inclus dans le PNSM. La démarche s'effectuera en trois temps :

1. Une analyse descriptive des cas de mésothéliomes non professionnels du PNSM ainsi que des données disponibles du BRGM sera effectuée ;

.../...

12 rue du Val d'Osne - 94415 Saint-Maurice cedex - France  
Tél. : 33 (0)1 41 79 67 00 - Fax : 33 (0)1 41 79 67 67  
<http://www.invs.sante.fr>

2. Une évaluation de l'exposition « environnementale » de l'ensemble des cas et des témoins sera réalisée. Pour cela un travail de modélisation de l'exposition individuelle sera conduit en utilisant les données d'historique résidentiel des sujets, et en effectuant une analyse par système d'information géographique (SIG). La définition des zones à potentiel d'exposition autour des sites sera réalisée en lien avec le groupe de travail inter-CIREs dans le cadre du programme sites et sols pollués ;
3. Enfin, le dernier temps de cette démarche sera l'analyse cas témoins à proprement dite qui visera à analyser les différents facteurs de risque non professionnels de la survenue des mésothéliomes dans la population française et estimer la part attribuable de l'exposition résidentielle autour des sites.

Ce projet s'étendra sur deux ans avec en 2004 le recueil, la mise en forme et l'analyse descriptive des données du PNSM et du BRGM ainsi que l'exploitation descriptive du SIG et la modélisation de l'exposition. L'année 2005 sera consacrée à la poursuite de la modélisation de l'exposition et à l'analyse cas témoins.

Nous restons à votre disposition pour de plus amples informations et pour présenter de vive voix ce projet à vos services, si vous le souhaitez.



Gilles BRÜCKER

Copie : Ellen IMBERNON, InVS - Département Santé Travail



## RECHERCHE

# 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 » / 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.

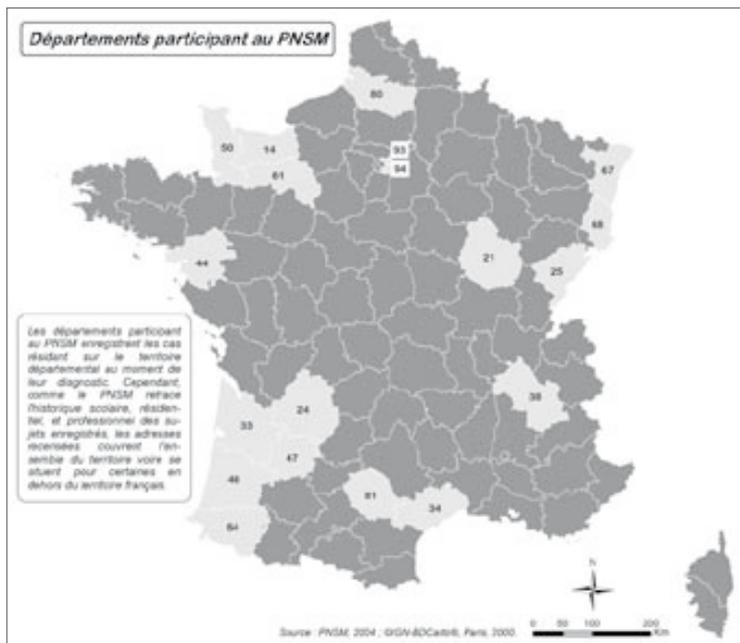
Pour les données sanitaires, on dispose de la base des individus identifiés dans le Programme National de Surveillance du Mésothéliome (le PNSM). Ce programme recense les cas confirmés de mésothéliome dans un certain nombre de départements français, et apparie pour chaque cas deux témoins. C'est une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

I 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.

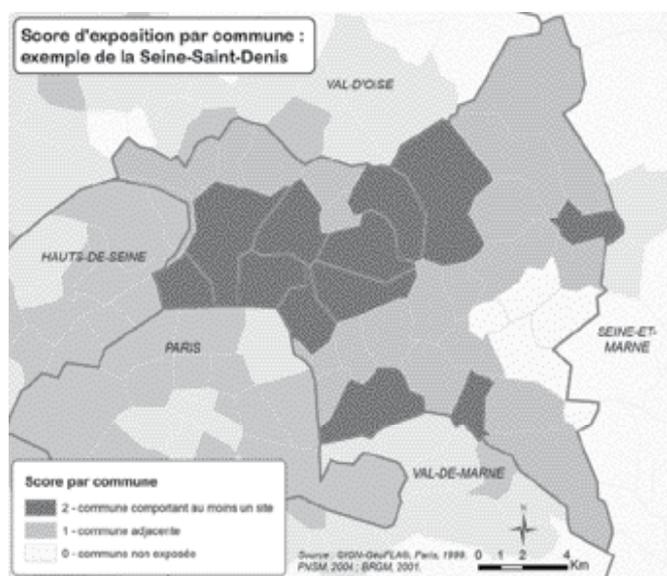


Carte 2 : Localisation des sites industriels et des sujets.

<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...

# RECHERCHE



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

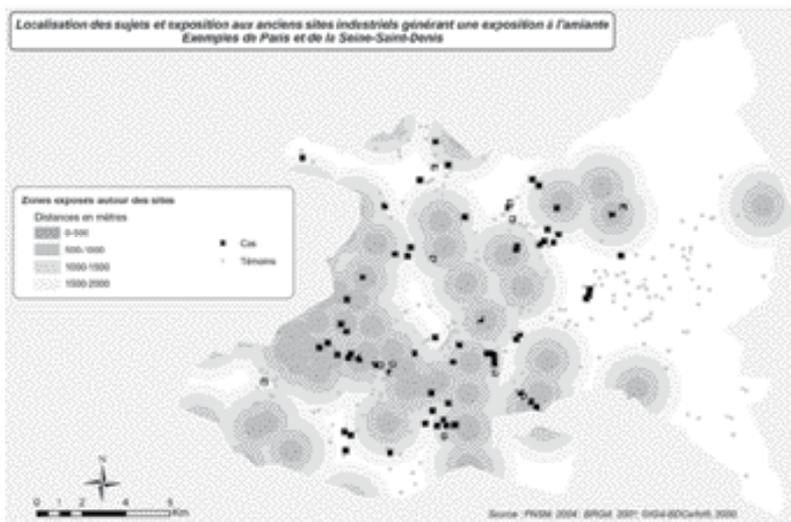
Seule la localisation précise des individus et des sites permettant de prendre en compte les informations individuelles sur les sujets et les données sur les périodes de fonctionnement des sites et le type d'activité, une prestation de géocodage a été commandée pour l'ensemble des adresses des sujets 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'espace 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 générerait 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,

# RECHERCHE

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 :  $(\text{intensité}/\text{distance})^* \text{durée}$
- 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 :

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

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 (Epidémiologiste), et Perrine de Crouy-Chanel (Ingénieur SIG).

## Exposition environnementale à l'amiante chez les personnes riveraines d'anciens sites industriels et affleurements naturels

Étude cas-témoins à partir des données du Programme national de surveillance du mésothéliome

Une étude cas-témoins a été envisagée pour évaluer l'augmentation de risque de mésothéliome pleural liée à l'exposition environnementale à l'amiante des riverains des anciens sites industriels. Suite aux résultats de l'étude de faisabilité, l'objectif de l'étude a été révisé dans une perspective méthodologique d'estimation rétrospective de l'exposition. L'étude a été réalisée à partir des cas de mésothéliomes non professionnels et de témoins, enregistrés dans la base du PNSM. L'exposition environnementale des cas et des témoins a été estimée par le calcul d'un score d'exposition vie entière. Il combinait l'intensité, la distance entre les adresses des sujets et les sites et la durée passée à chaque adresse. Au total, 553 sites industriels et 1 119 chantiers navals ont été recensés et localisés. Pour les hommes, 24 cas (69 %) et 193 témoins (64 %) avaient un score d'exposition environnementale différent de 0, et pour les femmes, 48 cas (66 %) et 94 témoins (66 %) avaient un score différent de 0. Chez les femmes, l'augmentation du risque de mésothéliome n'était pas significative, avec un OR=1,2 (IC 95% [0,7-2,3]). Pour les hommes, l'OR était de 0,9 (IC 95% [0,4-1,8]). Malgré les difficultés des données manquantes, cette étude a permis de construire un indicateur d'exposition reposant à la fois sur un Système d'information géographique, le budget "espace-temps" des personnes et adjoignant un critère d'intensité d'exposition. Elle a permis d'émettre des recommandations sur les données pertinentes, comme la durée de l'activité de l'industrie, le type de fibre utilisé, le processus industriel et le volume d'amiante produit.

**Mots clés :** amiante, exposition environnementale, site industriel, enquête cas-témoins, système d'information géographique

## Environmental exposure to asbestos in persons living in the vicinity of former industrial sites and in natural occurrences

Case-control study based on data from the National Mesothelioma Surveillance Program

*A case-control study was planned to assess the increased risk of pleural mesothelioma related to environmental exposure to asbestos in residents living near former industrial sites. Following the results of the feasibility study, the objective of the study was revised into a methodological context allowing to retrospectively assess exposure. The study was conducted on non-occupational mesothelioma cases and controls recorded through the National Mesothelioma Surveillance Program (PNSM) database. Environmental exposure of cases and controls was estimated by calculating a score of lifetime exposure. It combined the intensity, the distance between the subjects' residence and the sites, and the time spent on each location. In all, 553 industrial sites and 1,119 shipyards were identified and localized. The environmental exposure score was different from zero in men: 24 cases (69%) and 193 controls (64%); and in women: 48 cases (66%) and 94 controls (66%). Among women, the increased risk of mesothelioma was not significant with an OR=1.2 (95% CI [0.7-2.3]). For men, the OR was 0.9 (95% CI: 0.4-1.8). Despite the difficulties due to missing data, this study contributed to generate an exposure indicator based on both a geographic information system and a space-time budget of people, while adding a criterion for exposure intensity. It helped the issuance of recommendations on relevant data, such as the duration of the activity of industry, the type of fiber used, the industrial process, and the volume of asbestos produced.*

Citation suggérée :

Vandentorren S. Exposition environnementale à l'amiante chez les personnes riveraines d'anciens sites industriels et affleurements naturels. Étude cas-témoins à partir des données du Programme national de surveillance du mésothéliome. Saint-Maurice (Fra) : Institut de veille sanitaire, août 2009, 23 p. Disponible sur : [www.invs.sante.fr](http://www.invs.sante.fr)