

SEPTEMBRE 2026
ÉTUDES ET ENQUÊTES

**Cartographie nationale des sites
potentiellement exposants à
l'amiante : méthodologie et base de
données géoréférencée (France
hexagonale, 2023)**

Résumé

Cartographie nationale des sites potentiellement exposants à l'amiante : méthodologie et base de données géoréférencée (France hexagonale, 2023)

L'évaluation de l'exposition environnementale via le fait de résider à proximité de sites potentiellement exposants à l'amiante (SPEA) doit s'appuyer sur une cartographie historique de ces sites. C'est dans cet objectif qu'a été construite, à l'aide d'un système d'information géographique (SIG) et de croisement de plusieurs sources d'informations, la base de données géoréférencée des SPEA. Celle-ci permet désormais de : 1/ calculer la distance entre les lieux de vie occupés par les sujets atteints de mésothéliome et ces sites et 2/ produire des indicateurs écologiques à une échelle géographique fine comme la densité de sites exposants dans une zone donnée. Ainsi la base de données des SPEA, mise à disposition des équipes de recherche, ainsi que les indicateurs géographiques d'exposition calculables peuvent être utilisés pour de futures études épidémiologiques en exploitant les données du programme national de surveillance du mésothéliome (PNSM) par exemple.

MOTS-CLÉS : AMIANTE, SYSTÈME D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE, SIG, CARTOGRAPHIE, EXPOSITION, ENVIRONNEMENT

Abstract

National mapping of sites potentially lead asbestos exposure : methodology and georeferenced database (mainland France, 2023)

The assessment of environmental exposure through residence near sites with potentially lead asbestos exposure (SPEA) must be based on historical mapping of these sites. To this end, a georeferenced database of SPEA sites has been created using a geographic information system (GIS) and cross-referencing several sources of information. This database now makes it possible to : 1/ calculate the distance between the places of residence of mesothelioma patients and these sites, and 2/ produce ecological indicators on a fine geographical scale, such as the density of exposure sites in a given area. The SPEA database, which is available to research teams, and the calculable geographical exposure indicators can be used for future epidemiological studies, for example by exploiting data from the national mesothelioma surveillance program (PNSM).

KEYWORDS : ASBESTOS, GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM, GIS, CARTOGRAPHY, EXPOSURE, ENVIRONMENT

Citation suggérée : Stempfelet M, Guldner L, Pilorget C, Ducamp S, Jezewski-Serra D, Ben Raies J, Deschamps G. Cartographie nationale des sites potentiellement exposants à l'amiante : méthodologie et base de données géoréférencée (France hexagonale, 2023). Saint-Maurice : Santé publique France, 2026. 37 p. Disponible à partir de l'URL : <https://www.santepubliquefrance.fr>

ISSN : 2609-2174 - ISBN-NET : 978-2-37986-022-5 - RÉALISÉ PAR LA DIRECTION DE LA COMMUNICATION, SANTÉ PUBLIQUE FRANCE - DÉPÔT LÉGAL : SEPTEMBRE 2026

Auteurs

Morgane Stempfelet¹, Laurence Guldner³, Corinne Pilorget¹, Stéphane Ducamp¹, Delphine Jezewski-Serra², Jebrael Ben Raies², Guilhem Deschamps²

¹Direction santé environnement travail, Santé publique France

²Direction appui, traitements et analyses de données

³Direction des maladies non transmissibles et traumatismes

Relectrices externes

Sabyne Audignon (Epicene), Camille Carles (Epicene)

Remerciements

Nous tenons à remercier les équipes de la Caisse régionale d'assurance maladie d'Île-de-France (Cramif), du Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) ainsi que de la Direction générale de la prévention des risques (DGPR) pour le partage des données qui ont permis d'enrichir la base de données exploitée. Nous remercions aussi l'équipe Epicene de Bordeaux *Population Health Research Center*, Unité 1219 de l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm) pour leur expertise dans la compréhension des données. Nous remercions également Marie Gombert de l'Institut géographique national (IGN) pour ses conseils. Enfin, nous remercions nos collègues de la direction santé environnement travail.

Abréviation

APE	Code d'activité principale exercée
Basias	Base de données des anciens sites industriels et activités de services
BRGM	Bureau de recherches géologiques et minières
CIRC	Centre international de recherche sur le cancer
Cramif	Caisse régionale d'assurance maladie d'Île-de-France
DGPR	Direction générale de la prévention des risques
DO	Déclaration obligatoire
Drire	Direction régionale de l'industrie de la recherche et de l'environnement
DROM/COM	Départements, régions et collectivités d'outre-mer
DRT	Direction régionale du travail
Dset	Direction santé environnement travail
Epicene	<i>EPIdemiology of Cancer and ENvironmental Exposure</i> team
IGN	Institut géographique national
INRS	Institut national de recherche et de sécurité
Insee	Institut national de la statistique et des études économiques
InVs	Institut de veille sanitaire (devenu Santé publique France en 2016)
MM	Mésothéliome malin
MP	Mésothéliome pleural
NAF	Nomenclature des activités française
NOA	<i>Naturally occurring asbestos</i> (source naturelle d'amiante)
OR	Odds Ratio
PNSM	Programme national de surveillance du mésothéliome pleural
ReNaM	Registre de surveillance des mésothéliomes en Italie (<i>Registro Nazionale dei Mesoteliomi</i>)
RR	Risque relatif
SIG	Système d'information géographique
Siret/Siren	Système d'identification du répertoire des établissements/Système d'identification du répertoire des entreprises
SMR	<i>Standardized Mortality Ratio</i> (taux de mortalité standardisé)
SPEA	Sites potentiellement exposant à l'amiante
TI	Taux d'incidence

Table des matières

Résumé	2
Abstract	2
Auteurs	3
Relectrices externes	3
Remerciements.....	3
Abréviation.....	4
Table des figures	6
Table des tableaux	6
1. Introduction	7
2. Revue de la littérature.....	9
2.1 Sources d'expositions	9
2.2 Méthodes d'évaluation de l'exposition environnementale à l'amiante	9
2.2.1 Questionnaires et expertises	9
2.2.2 Mesurages environnementaux et simulations de données	10
2.2.3 Prise en compte des distances à des sites potentiellement exposants	10
2.2.4 Prise en compte d'autres indicateurs d'exposition	11
2.2.5 Paramètres pertinents pour estimer l'exposition	11
2.2.6 Quelles sont les distances pertinentes à considérer dans l'évaluation des expositions ?	12
3 Méthode : construction de la base des SPEA	15
3.1 Premier inventaire (2001-2009)	15
3.2 Mise à jour (2019-2023)	16
3.3 Dédoublonnage.....	18
3.4 Obtention d'informations complémentaires pour la caractérisation des sites	19
3.4.1 Directement dans les bases de données sources	19
3.4.2 Par croisement avec la base Sirene de l'Insee	19
3.5 Géocodage des sites	20
3.5.1 Contrôle des coordonnées géographiques prérenseignées dans la base.....	20
3.5.2 Géocodage automatique des sites	21
3.5.3 Homogénéisation de la base : reprojection géographique et estimation de la fiabilité de la source des données géocodées	22
3.5.4 Reprise manuelle des géocodes	22
3.6 Caractérisation des SPEA.....	23
3.7 Indicateur de densité de sites potentiellement exposants à l'amiante.....	24
4 Résultats : description de la base de données (bdd) et indicateurs d'exposition..	25
4.1 Description de la BDD.....	25
4.2 Le géocodage des SPEA	26
4.3 Les données manquantes	27
4.4 Répartition géographique des SPEA	27
4.5 Les champs dates et la prise en compte des durées d'activité pour calculer une densité de sites.....	29
5 Discussion.....	31
5.1 Applications possibles	31
5.1.1 À des fins d'évaluation et de gestion des risques	31
5.1.2 Dans le cadre d'études épidémiologiques	31
5.2 Limites de la base de données	32
5.3 Pistes d'améliorations	33
6 Conclusion et perspectives	34
7 Références.....	35

Table des figures

Figure 1 : Impression écran d'une zone de la carte de susceptibilité de présence d'amiante environnemental 1/1 000 000 (Visualiseur InfoTerre (brgm.fr)).....	18
Figure 2 : Carte de précision du géocodage des SPEA.....	26
Figure 3 : Carte lissée des effectifs de SPEA de l'Hexagone.....	27
Figure 4 : Cartographie des SPEA par grand type d'activité et de la susceptibilité de présence d'amiante dans les sols.....	28
Figure 5: Densité de SPEA par départements de l'Hexagone.....	30

Table des tableaux

Tableau 1 : Odds ratio de mésothéliomes et distances à l'usine d'amiante-ciment (source : Maule <i>et al.</i> , 2007).....	13
Tableau 2 : Typologies et sources de données des SPEA	17
Tableau 3 : champs utilisés pour le géocodage	21
Tableau 4 : variables disponibles dans la version finale de la base de données.....	25
Tableau 5 : Données manquantes par variables présentes dans la bdd des SPEA (les champs non listés présentent un taux de remplissage de 100 %)	27
Tableau 6 : Nombre de SPEA par grand type d'activité (4 classes).....	28

1.INTRODUCTION

L'amiante est une fibre minérale 200 à 500 fois plus fine qu'un cheveu présente à l'état naturel dans les roches. Le matériau fibreux « Amiante » est obtenu après broyage de roches minérales issues de deux familles de silicates (les serpentines et les amphiboles). Six variétés d'amiante ont été exploitées et utilisées industriellement pour leurs propriétés physico-chimiques de résistance thermique et chimique, incombustibilité, résistances mécaniques à la traction et à l'usure, isolation acoustique (la chrysotile, la crocidolite, l'amosite, l'actinolite, la tremolite, l'anthophyllite). Ainsi l'amiante a été massivement utilisé dans les secteurs : automobile, textile, bâtiment, matières plastiques, construction navale et ferroviaire¹.

Les dangers de l'inhalation de poussières d'amiante pour la santé sont connus depuis le début du siècle dernier.

L'exposition à l'amiante est susceptible d'induire plusieurs effets sanitaires, qu'il s'agisse de mésothéliomes ou d'autres pathologies (plaques pleurales, épaississements pleuraux, pleurésies bénignes, exsudatives, asbestose, cancers broncho-pulmonaires, de l'ovaire, du larynx). Le mésothéliome est un cancer au pronostic sombre dont le seul facteur de risque connu est l'amiante. La localisation de loin la plus fréquente (85 à 90 % des cas) est la plèvre (enveloppant les poumons), puis de façon moindre, le péritoine (enveloppant les viscères de la cavité abdominale) dans 8 à 10 % des cas. D'autres localisations sont possibles (péricarde, vaginale, testiculaire) mais très rares. Malgré l'interdiction en France, en 1997, de la fabrication, de l'importation et de la mise en vente de produits contenant de l'amiante, l'incidence du mésothéliome pleural malin continue d'augmenter, particulièrement chez les femmes et avec de fortes disparités géographiques comme le montre la surveillance du mésothéliome pleural en France mise en place en 1998 au travers du Programme national de surveillance du mésothéliome (PNSM) [1]. En effet, la durée de latence entre l'exposition et la survenue d'un mésothéliome pleural étant de trente à quarante ans, une majeure partie des mésothéliomes diagnostiqués jusqu'à aujourd'hui et ceux qui le seront pendant encore près de quinze ans correspondent à des expositions du temps où l'usage d'amiante était autorisé. Par ailleurs, certaines circonstances d'expositions à l'amiante ont pu persister depuis l'interdiction. Bien que la grande majorité de ces cancers des séreuses surviennent chez des sujets exposés professionnellement, pour une partie des malades, on ne retrouve aucune exposition professionnelle. Ainsi, les résultats de l'enquête d'exposition menée auprès des patients suivis dans le cadre du PNSM montrent que, sur la période 1998-2017, une exposition professionnelle à l'amiante est retrouvée pour plus de 90 % des hommes, mais seulement 40 % des femmes [1].

Des matériaux contenant de l'amiante (MCA) sont encore en place dans les bâtis, avec lesquels de nombreux professionnels ou particuliers peuvent être en contact. D'anciens bâtiments accueillant du public ou bâtiments industriels, décharges, ainsi que des affleurements naturels sont également susceptibles de continuer à relarguer des fibres d'amiante dans l'environnement².

L'évaluation et la surveillance des expositions à des fibres d'amiante, à des fins de reconnaissance/indemnisation³ (expositions passées) ou de prévention (expositions actuelles), représentent donc, encore aujourd'hui, un enjeu majeur pour la santé publique.

¹ [Amiante - Tout ce qu'il faut connaître - DEMOLDIAG](#)

² [Rapports d'activité des laboratoires et diagnostiqueurs - Ministère du travail, de la santé, des solidarités et des familles](#)

³ Sur le territoire de la République française, le Fonds d'indemnisation des victimes de l'amiante (FIVA) et de leurs ayants droit permet aux victimes de pathologie en lien avec l'amiante de demander une indemnisation, que la maladie soit d'origine professionnelle (maladie reconnue ou non en tant que maladie professionnelle par un organisme de sécurité sociale) ou environnementale (exposition à l'amiante en dehors du cadre professionnel, par exemple exposition sur le lieu de résidence, liée à l'environnement, liée au contact avec des vêtements contaminés).

Santé publique France a coordonné pendant vingt-six années le Programme national de surveillance du mésothéliome (PNSM) au sein duquel étaient expertisées les expositions à l'amiante [2]. Cela incluait :

- Les expositions professionnelles
- Les expositions extraprofessionnelles
 - Via l'exposition paraprofessionnelle : exposition à des fibres importées du milieu professionnel par l'entourage (bleus de travail par exemple)
 - Via l'exposition domestique : manipulation d'objets ayant contenu de l'amiante (protections de planches à repasser, grille-pain, chauffages...) ou présence dans le logement de matériaux de construction contenant de l'amiante friable
 - Via des activités de bricolage au domicile (rénovations du logement impliquant le retrait d'un toit ou de plaques d'amiante, de dalles de sol, travail sur des garnitures de freins automobiles du temps où elles contenaient de l'amiante...)
 - Via le fait de résider, travailler, ou étudier à proximité ou dans des sites potentiellement exposants à l'amiante (SPEA), qu'ils soient naturels (gisements, sols riches en amiante, mines, carrières...) ou anthropiques (industries ayant manipulé ou transformé de l'amiante, ports, décharges, chantiers navals...), susceptibles de relarguer des fibres dans l'environnement, ou exposition environnementale.

Ainsi les expositions professionnelles, paraprofessionnelles, domestiques, via le bricolage et environnementales ont été évaluées grâce aux informations issues des questionnaires administrés aux sujets atteints de mésothéliomes pleuraux [2] qui renseignent sur les circonstances, sources, probabilité, intensité et fréquence d'exposition à l'amiante pour chaque activité potentiellement exposante.

Par ailleurs, l'évaluation de l'exposition environnementale via le fait de résider à proximité de SPEA était basée sur une cartographie précise des sites potentiellement exposants à l'amiante. Ce travail de cartographie a débuté dans le cadre d'une étude cas-témoins en 2009 [3] et a également été utilisé pour l'exploitation des résultats d'une étude pilote pour l'amélioration du système de surveillance du mésothéliome en France [4, 5].

Le présent travail a pour objectif principal de compléter cette précédente cartographie afin de renseigner la présence, en France hexagonale, de sites potentiellement exposants à l'amiante (toujours susceptibles d'émettre ou qui ont pu émettre par le passé). Cet inventaire est un pré requis pour répondre à un second objectif d'évaluation des expositions environnementales à travers 1/ le calcul de distance entre les lieux de vie occupés par les sujets et ces sites et 2/ la production d'indicateurs écologiques à une échelle géographique fine comme la densité spatiale de sites exposants dans une zone donnée.

Ce document présente la méthode de construction et les applications potentielles de la cartographie des SPEA et les premiers résultats descriptifs obtenus.

Dans un premier temps, une revue de la littérature a été effectuée afin de recenser les outils et les méthodes utilisés pour l'évaluation de l'exposition environnementale à l'amiante à partir de données géoréférencées (sites et lieux de vie). Dans un deuxième temps, un descriptif de la base de données et de la cartographie associée des SPEA produites permet de dégager des perspectives d'utilisation dans l'étude de l'exposition environnementale aux fibres d'amiante.

2. REVUE DE LA LITTÉRATURE

Une revue de la littérature a été effectuée sur la base d'un travail datant de 2019 [6] et complété ensuite avec des références plus récentes afin de :

- Renseigner les différentes sources d'exposition environnementale à l'amiante ;
- Documenter les méthodes d'évaluation de l'exposition environnementale à l'amiante employées dans les autres études, en France et à l'étranger ;
- Lister les paramètres susceptibles d'influencer cette exposition ;
- Documenter la prise en compte des différents potentiels d'émission des sources (de manière qualitative ou quantitative) et leur typologie ;
- Renseigner les distances maximales pertinentes utilisées dans les différentes études entre les sources d'expositions et les lieux de vie des sujets (distances au-delà de laquelle on considère que l'exposition est nulle ou négligeable).

Une recherche sur *medline* et dans la littérature grise avec les mots-clés « *asbestos exposure* » ; « *environmental exposure to asbestos* » ; « *asbestos AND mesothelioma* » ; « *asbestos and meteorology or winds or distance* », en ne gardant que les expositions non professionnelles, a permis de sélectionner 40 articles rédigés dans différents pays.

2.1 Sources d'expositions

Dans les différents articles étudiés, les sources environnementales potentielles d'exposition mentionnées sont les suivantes :

- les sites industriels : usine d'amiante-ciment [7-11], industries de textiles contenant de l'amiante [12], industries du fer et de l'acier [12], raffineries pétrochimiques [7, 12] ;
- les sites naturels : affleurements/gisements de roche amiantifère [9, 13, 14], carrières et mines [15] ;
- les chantiers navals [7, 16] ;
- les sites de construction d'aéronefs et ferroviaires [17] et les gares ferroviaires [18] ;
- les déchetteries et décharges [18] ;
- certains ports, par lesquels l'amiante a été importé/exporté de/à l'étranger, stocké ou affrété [19].

On trouve également dans la littérature l'exemple de sites contaminés par le transport de fibres. L'étude de Ward *et al.* [20] suggère que les arbres de la vallée de Libby aux États-Unis et situés le long des couloirs de transport de vermiculite peuvent servir de réservoirs pour les fibres amphiboles, et qu'il existe un potentiel d'exposition pour ceux qui récoltent du bois contaminé. Nous n'avons pas trouvé d'étude française montrant un type d'exposition similaire.

2.2 Méthodes d'évaluation de l'exposition environnementale à l'amiante

2.2.1 Questionnaires et expertises

L'exposition de personne vie-entière à l'amiante via l'environnement peut être évaluée grâce aux informations rapportées par les sujets, notamment leurs lieux de vie (domiciles, établissements scolaires...). Il peut s'agir d'une autodéclaration des sujets vivant à proximité d'une source industrielle d'amiante, comme dans l'étude de Lacourt *et al.* ou de Mirabelli *et al.* [17, 19]. Dans un second temps un expert statue sur l'exposition environnementale par rapport à ce qui a été déclaré.

Dans l'étude de Vimercati *et al.* [21], un questionnaire exhaustif a été administré afin de permettre la reconstitution complète de l'histoire de sujets atteints de mésothéliome malin, incluant l'historique des lieux de vie.

De la même façon le Programme national de surveillance du mésothéliome permettait de suivre les expositions à l'amiante et la proportion des mésothéliomes attribuables à une exposition à l'amiante, notamment d'origine professionnelle [22]. Ainsi les questionnaires dispensés aux sujets atteints de mésothéliome ont permis de recueillir leur histoire résidentielle et professionnelle. Ces informations géolocalisées peuvent ainsi être croisées avec la localisation des sites industriels ou naturels potentiellement exposants à l'amiante.

2.2.2 Mesurages environnementaux et simulations de données

Afin d'évaluer l'exposition environnementale à l'amiante, certaines études se sont basées sur des données quantitatives, incluant des mesures de concentrations de fibres d'amiante dans l'air [23] ou dans des échantillons de poussières et de matériaux de construction [24, 25].

Des modèles de simulation de la diffusion des fibres dans l'air ont également été utilisés [26] pour estimer les concentrations relatives d'amiante dans la zone d'étude, prenant en compte les conditions météorologiques comme la vitesse et la direction des vents ou la durée d'ensoleillement relative [14, 15].

2.2.3 Prise en compte des distances à des sites potentiellement exposants

Dans l'étude de Maule *et al.* [10], le risque de mésothéliome a été estimé à partir de la distance en mètre entre le domicile et l'usine tout comme dans l'étude de Vimercati *et al.* [21].

Dans l'étude cas-témoins de Ferrante *et al.* [7], l'évaluation des expositions environnementales était basée sur la distance entre les sources industrielles et naturelles identifiées et les lieux de résidence. En complément, étaient précisées les caractéristiques de la source industrielle pour déterminer son potentiel d'émission de fibres d'amiante dans l'environnement. Les auteurs ont ainsi pris en compte le type et le niveau de production, la consommation d'amiante et la période d'exposition tenant compte des changements de pratiques (volume de production et d'utilisation d'amiante). Ces facteurs ont permis de définir 3 niveaux d'exposition, en champ proche (30–300 F/L) ou en champ lointain (3–30 F/L) par rapport à une source spécifique, ou un niveau correspondant à la présence diffuse de sources individuellement non identifiables (0,3 à 3 F/L), comme dans les grandes zones urbaines.

Dans les études de Kurumatani *et al.* [8] et de Marsh *et al.* [9], l'exposition environnementale à l'amiante a été évaluée via la combinaison de la distance usine-domicile et des concentrations relatives d'amiante obtenues par un modèle de diffusion.

Concernant les sites naturels, dans l'étude cas-témoins de Pan *et al.* [14], la distance entre le domicile et la source naturelle a été mesurée à partir de l'extrémité connue la plus proche des roches ultramafiques (roches magmatiques ou méta-magmatiques très pauvres en silice) à l'aide d'un Système d'information géographique (SIG) en utilisant une carte géologique.

Tarrès *et al.* [27] ont considéré des cercles concentriques de rayons 500, 2 000 et 10 000 m autour du point d'émission, et les cas ont été classés en fonction de leur distance résidentielle par rapport à ce point, et de la situation des individus résidant sous les vents dominants ou non.

En Italie, l'étude de Pasetto *et al.* [18] s'est basée sur les décrets périmétriques (loi italienne) qui définissent le périmètre des terres à bonifier (zones contaminées) pour définir la présence d'un risque amiante sur les sites.

2.2.4 Prise en compte d'autres indicateurs d'exposition

Dans l'étude de Xu *et al.* [28] un score basé sur la probabilité, l'intensité et la durée d'exposition ou la durée de la période vécue dans un quartier exposé à l'amiante ont permis d'évaluer l'exposition.

Pasetto *et al.* [18] ont classé les NAS (sites contaminés d'intérêt national pour l'assainissement) en six groupes de risque d'amiante (GR). Cette catégorisation s'est faite sur la base des risques de mésothéliome associés aux différents secteurs de production, issus de la littérature et des données d'incidence des mésothéliomes du système de surveillance épidémiologique des accidents du registre Italien des mésothéliomes (ReNaM). Les six GR ont été définis sur la base de la présence sur les sites :

- De carrières d'amiante ou avec présence de fibres asbestiformes ;
- D'usines de production de produits en amiante-ciment ;
- De zones portuaires avec chantiers navals ;
- De décharges illégales d'amiante ;
- D'usines et/ou raffineries pétrochimiques et/ou aciéries ;
- D'usines chimiques et/ou décharges sans mention explicite de déchets contenant de l'amiante.

Driee *et al.* [29] ont utilisé une approche par sites (l'indicateur étant le nombre de sites pollués dans une même zone, correspondant à un même code postal et proxy de la probabilité d'exposition à l'amiante), et une approche par ménages (l'indicateur étant le nombre de ménages à proximité immédiate des sites pollués). Chaque site avait été visité, investigué et fait l'objet de rapports, comprenant des informations relatives à (i) l'état de la surface (ouvert ou fermé [béton, asphalte, chaussée]), (ii) la présence et le type de matériau et de fibre à la surface (déchets friables et non friables, teneur en fibres), (iii) l'utilisation du site (actif [= voie, cour] ou inactif [= talus, espace vert]), et (iv) la surface (m²) du site pollué. Chaque zone rattachée à un code postal a été classée comme étant à faible (0 à 1 site pollué), intermédiaire (2 à 5 sites) ou forte (6 sites et plus) probabilité d'exposition à l'amiante.

2.2.5 Paramètres pertinents pour estimer l'exposition

Plusieurs paramètres à prendre en compte dans l'évaluation des expositions environnementales à l'amiante ressortent de la littérature :

- La concentration de fibres d'amiante en suspension dans l'air extérieur [26, 28, 30] : Kurumatani *et al.* ont notamment mis en évidence une relation dose réponse linéaire entre la concentration d'amiante dans l'air et le risque de décès par mésothéliome [31] ;
- La distance entre les lieux de vie et les sources d'amiante [7, 27, 28, 31], inversement proportionnelle au taux d'incidence, comme dans l'étude de Tarrès *et al.* basée sur des cercles concentriques de rayon <500 m, 500 à 2 000 m et >2 000 à 10 000 m [27] ;
- Les conditions météorologiques (direction du vent prédominant, vitesse/force du vent, précipitations) : plusieurs études suggèrent que les zones présentant les plus forts taux d'incidence des mésothéliomes pleuraux se situent sous les vents dominants [8, 13, 14, 27, 32, 33] ;
- Le type de fibres (chrysotile ou amphibole) [9], avec un risque de mésothéliome associé à une exposition aux amphiboles plus élevé que celui associé aux fibres de chrysotile ;
- La taille des fibres [25], les fibres de taille inférieure à 20 µm se retrouvant plus facilement dans l'air (les fibres de plus grande taille ne restant pas dans l'air pendant longtemps), les fibres de 5 à 20 µm de longueur étant par ailleurs facilement inhalées dans le système respiratoire humain ;
- Le type de matériau manipulé au niveau des sources : Singh *et al.* [34] suggèrent, s'agissant de l'exposition provenant des chantiers navals, que le potentiel d'émission serait lié aux propriétés intrinsèques des matériaux manipulés (par ex. le caractère poussiéreux dépend du type et de la proportion d'amiante présent et du degré de

liaison dans le produit). Dans l'étude de Ferrante *et al.*, les niveaux d'exposition ont été évalués en fonction du type de matériau manipulé dans les sources industrielles considérées, de leur niveau de production, de la consommation d'amiante et de la période civile d'exposition [7] ;

- La perturbation mécanique des sols (par l'homme) [35] notamment en lien avec la construction de bâtiments sur des sols concentrés en amiante, entraînant la mise en suspension des fibres dans l'air [36].

2.2.6 Quelles sont les distances pertinentes à considérer dans l'évaluation des expositions ?

Dans le cadre de l'évaluation de l'exposition environnementale à l'amiante à partir d'une source donnée, la question de la distance jusqu'à laquelle on peut considérer qu'une exposition à des fibres d'amiante est plausible et au-delà de laquelle on considère que l'exposition est négligeable doit être considérée. Cette distance est susceptible de varier en fonction de certains des paramètres vus plus hauts (type de source à l'origine des émissions, disponibilité, type et taille des fibres, conditions météorologiques...). Des différences s'observent dans la littérature notamment selon que la source est naturelle ou industrielle.

Dans l'étude cas-témoins de Howel *et al.*, l'exposition a été considérée comme possible si l'un des lieux de résidence des sujets était situé à moins de 500 m d'une ou plusieurs sources industrielles [37] et peu probable au-delà de 500 mètres. Chez les sujets non exposés professionnellement ou paraprofessionnellement, l'odd ratio (OR) associé au fait de résider à moins de 500 m en comparaison à ceux vivant à plus de 500 m des sites les plus exposants était de 6,6 bien que non significativement différent de 1 faute de puissance statistique.

En 2016, Tarrés *et al.* [27] ont considéré des cercles concentriques de 500, 2 000 et 10 000 m autour du point d'émission d'une usine de fibrociment, et considéré la présence de deux autres usines (de freins et d'isolation thermique et de matériel électrique) dans les 500 m autour du lieu de résidence des sujets. Aucune augmentation d'incidence n'a été mise en évidence chez les sujets vivant à moins de 500 m des deux autres usines. En revanche, par rapport aux sujets vivant entre 2 000 et 10 000 m de l'usine de fibrociment, l'incidence de mésothéliomes pleuraux était 3 fois plus élevée chez ceux vivant entre 500 et 2 000 m et 56 fois plus élevée chez ceux vivant à moins de 500 m de l'usine de fibrociment (160 fois plus élevé dans les cadrans du périmètre de 500 m sous les vents prédominants).

Vimercati *et al.* ont considéré les distances entre une usine de fibrociment Italienne et les lieux de résidence des sujets (parmi l'ensemble de l'historique résidentiel, sélection du lieu le plus proche et de celui dans lesquels les sujets ont vécu le plus longtemps) selon 3 intervalles : de 0 à 550 m ; de 550 à 1 000 m ; et de 1 000 à 3 000 m. L'OR de mésothéliome ajusté sur la durée d'exposition était de 1,5 et 1,9 respectivement chez les sujets vivant dans les deux rayons les plus proches, par rapport à ceux vivant à plus de 1 000 m [21]. Ces ORs n'étaient pas significativement différents de 1 en raison d'un manque de puissance de l'étude.

Magnani *et al.* [38] dans une étude multicentrique (Italie, Espagne et Suisse), ont utilisé deux indicateurs, à savoir la probabilité et l'intensité d'exposition selon la distance source-domicile. La probabilité a été considérée comme forte pour les personnes vivant à moins de 2 000 m de mines ou d'industries d'amiante (fibrociment, textile amianté, freins, chantiers navals), comme faible pour les sujets vivant entre 2 000 et 5 000 m de mines ou d'industries d'amiante ou à moins de 500 m d'autres industries (fonderies d'acier, centrales énergétiques, grosses industries chimiques ou pétrolières), et comme nulle ou équivalente au bruit de fond pour les autres. L'intensité a été considérée comme forte pour des mines et industries d'amiante à moins de 500 m du domicile, moyenne pour des mines et industries d'amiante entre 500 et 2 000 m du domicile, et faible pour des mines et industries d'amiante entre 2 000 et 5 000 m ou d'autres industries à moins de 500 m du domicile, nulle ou équivalente au bruit de fond pour les autres. Les risques étaient augmentés de manière statistiquement significative pour les sujets dans les catégories de probabilité faible (OR = 2,05), élevée (OR=11,5) et inconnue

(OR=3,5) ou d'intensité moyenne (OR=9,5) élevée (OR=45) ou inconnue (OR=3,4), comparativement aux sujets les moins exposés ou non exposés.

Dans leur étude de mortalité autour d'une usine de tuyaux en fibrociment au Japon, Kurumatani *et al.* [8] ont catégorisé la distance des lieux de résidence des sujets à l'usine en 5 catégories (0 à < 300 m, 300 à < 600 m, 600 à < 900 m, 900 à < 1 200 m et 1 200 à < 1 500 m) et montré une augmentation statistiquement significative de la mortalité pour les femmes résidant jusqu'à 1 500 m de l'usine et pour les hommes jusqu'à 600 m, avec des SMR (taux de mortalité standardisé) dans les 300 premiers mètres de l'ordre de 14 pour les hommes et de 41 pour les femmes. Une autre analyse basée sur la modélisation des concentrations de fibres dans l'air en tenant compte des conditions météorologiques a montré une association linéaire inverse entre les SMR et la distance à l'usine, avec une augmentation statistiquement significative des SMR jusqu'à 2 200 m de l'usine pour les zones sous le vent dominant.

Dans une étude cas-témoins menée à Londres, la proportion de sujets sans exposition professionnelle ou domestique évidente et vivant à moins d'1 mile (1 600 m) d'une usine de fibrociment, était significativement plus élevée chez les sujets atteints de mésothéliome que chez ceux atteints d'autres pathologies [39].

L'InVS (Institut de veille sanitaire, devenu Santé publique France en 2016), dans son rapport de 2009 [3], considère l'exposition comme possible jusqu'à 2 000 m entre le lieu de vie et le SPEA.

Certaines études considèrent le risque d'exposition au-delà de 5 000 m :

En 2007, Maule *et al.* ont mis en évidence une décroissance du risque de mésothéliome avec la distance des lieux de résidence des sujets à une usine d'amiante-ciment à Casale Monferrato en Italie. Après ajustement sur les expositions professionnelles et domestiques, le risque de mésothéliome était maximal dans une bande de 3 à 5 km de l'usine [10].

Une étude cas-témoins menée à Casale Monferrato en 2007 met en lumière des ORs particulièrement élevés de mésothéliome malin pleural dans les 5 km autour d'une usine d'amiante-ciment [10]. Les ORs diminuaient ensuite avec l'augmentation de la distance de l'usine comme suit (tableau 1). Le regroupement spatial des cas était statistiquement significatif.

Tableau 1 : Odds ratio de mésothéliomes et distances à l'usine d'amiante-ciment (source : Maule *et al.*, 2007)

Distance	Odds ratio
<3 km	6,8
3-5 km	12,5
5-7 km	3,9
7-9 km	4,2
9-11 km	5,6
11-13 km	1,6
13-15 km	1,0

La revue de littérature conduite par Bourdès *et al.* (2000) cite notamment l'étude de Mc Donald *et al.* (1980), selon laquelle il n'y aurait pas d'exposition environnementale significative retrouvée au-delà d'une distance de 20 miles (32 km) d'une mine de chrysotile [30].

L'étude de Abakay *et al.* (2016) en Turquie, indique une distance moyenne des cas de mésothéliome malin aux NOA (sources d'expositions naturelles) de 6,3 km. Le risque de développer un mésothéliome malin ou des plaques pleurales était réduit de moitié à chaque distance supplémentaire de 5 km du lieu de naissance aux NOA) [13].

L'étude cas-témoins de Pan *et al.* (USA, 2005) montre une décroissance du risque de mésothéliome malin avec la distance à des roches amiantifères d'environ 6 % tous les 10 km [32].

Fazzo *et al.* (Italie, 2012) ont, quant à eux, fixé un rayon maximum de 11 km [57] autour de l'installation d'amiante-ciment dans la ville de Casale Monferrato [19], pour définir la zone d'exposition potentielle des riverains.

En définitive, malgré des limites en termes de puissance statistique, de différences liées aux sites (typologie, conditions météorologiques), le risque de mésothéliome lié à la proximité entre lieux de vie et sources potentielles d'émission d'amiante semble élevé, même au-delà de 2 km.

3 MÉTHODE : CONSTRUCTION DE LA BASE DES SPEA

La revue de littérature précédente a montré l'importance de disposer d'une base de données complète des SPEA (incluant la nature des sites, un géoréférencement précis, des informations relatives aux vents, etc.) pour mener des études épidémiologiques qui analyseront le lien entre pathologies, notamment le mésothéliome, et proximité des lieux de vie à un site. Cette liste a été construite pas à pas à partir de sources diverses permettant une reconstitution historique et un géoréférencement.

La liste des SPEA a été construite sur la base des premiers travaux menés à l'InVS (devenu Santé publique France en 2016) en 2009 dans le cadre de l'étude cas-témoins [3], complétée ensuite depuis 2019 en vue d'une mise à jour des informations et d'une extension du nombre de sites considérés [5].

Nous sommes donc partis de ce premier inventaire réalisé en 2009 pour étoffer la base et consolider les informations renseignées.

3.1 Premier inventaire (2001-2009)

Les premiers sites inclus dans la base ont été identifiés par le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM), dans le cadre de son travail commencé en 2001 de recensement des principaux sites industriels de production et de transformation d'amiante [40].

Ces sites (n=423) ont été identifiés à partir :

- de la base de données de publications scientifiques PASCAL ;
- du catalogue de la Bibliothèque nationale de France ;
- de différents mémoires d'étudiants ;
- de la base de données des sites et sols pollués (Basol 1998) ;
- de la banque de données des anciens sites industriels et activités de service (Basias)⁴ ;
- de textes législatifs (décret du 20 mars 1999 modifié par différents arrêtés pour fixer la liste des établissements susceptibles d'ouvrir droit à l'allocation de cessation anticipée d'activité des travailleurs de l'amiante) ;
- de rapports du BRGM ;
- du guide de l'Institut national de recherche et sécurité (INRS) « Amiante, les produits, les fournisseurs » ;
- d'annuaires de professionnels permettant d'identifier les fournisseurs ou fabricants de produits amiantifères ;
- de la presse générale et professionnelle ;
- de contacts avec différents organismes (ministères de l'emploi, de l'industrie, INRS, Insee).

Pour la mise en œuvre d'une étude cas-témoins, menée en 2009, sur l'exposition environnementale à l'amiante chez les personnes riveraines d'anciens sites industriels et affleurements naturels [3], l'InVS (devenu Santé publique France en 2016) a complété ces sites et a étendu la recherche aux chantiers navals et à des affleurements de roches amiantifères (gisements naturels) d'après :

- différents organismes et institutions : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, Association nationale de défense des victimes de l'amiante, Bossons Futé

⁴ <https://www.georisques.gouv.fr/consulter-les-dossiers-thematiques/pollutions-sols-sis-anciens-sites-industriels>

(association animée par des médecins du travail), Caisse régionale d'assurance maladie d'Île-de-France (Cramif), 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 ;

- différentes bases de données : base de données sur les sites et sols pollués mise à jour (Basol, Basias), Infogreffe ;
- des recherches bibliographiques sur la base de mots-clés : "sites industriels", "exploitation", "transformation", "amiante", "arrêtés ministériels" ;
- de deux rapports du BRGM [41, 42] concernant le recensement et le classement des sites naturels amiantifères et des formations géologiques potentiellement amiantifères en France.

Au total, la base constituée en 2009 et utilisée dans l'étude cas-témoins comprenait 1 709 chantiers navals et sites industriels ayant manipulé ou transformé de l'amiante et 30 sites d'affleurement naturel d'amiante.

3.2 Mise à jour (2019-2023)

En 2019, ont été ajoutés à la base initiale les sites de type carrières et mines à partir des données issues des rapports du BRGM (2013-2014-2016) et des extractions Basias réalisées par la Direction générale de la prévention des risques (DGPR) concernant les sites avec activités recensées comme "extraction d'amiante" (17 sites) ou "fabrication, utilisation, et stockage d'amiante et produits amiantés" (225 sites) et les sites dont l'un des champs de la fiche Basias comprend un terme référant à l'amiante (amiante, fibrociment, fibres-ciment, fibre-ciment, asbeste, chrysotile, crocidolite, amosite, grunérite, trémolite, actinolite, anthophylle, amphibole) ou à chantier naval.

Ont ensuite été ajoutés, par saisie manuelle, les ports et les chantiers navals récupérés dans les arrêtés de la DGT relatifs au repérage de l'amiante avant certaines opérations réalisées dans les navires, bateaux, engins flottants et autres constructions flottantes en 2019⁵.

Puis, en 2022, la Cramif, qui tient à jour la liste des établissements reconnus comme ayant été exposants professionnellement à l'amiante et dont les employés exposés sont éligibles à une indemnisation comme victimes de l'amiante auprès du fonds d'indemnisation des victimes de l'amiante (Fiva), nous a transmis les données relatives aux autres industries hors chantiers, construction et réparation navals, ports, mines et carrières (cf. tableau 2).

⁵ [Arrêté du 19 juin 2019 relatif au repérage de l'amiante avant certaines opérations réalisées dans les navires, bateaux, engins flottants et autres constructions flottantes - Légifrance](#)

Tableau 2 : Typologies et sources de données des SPEA

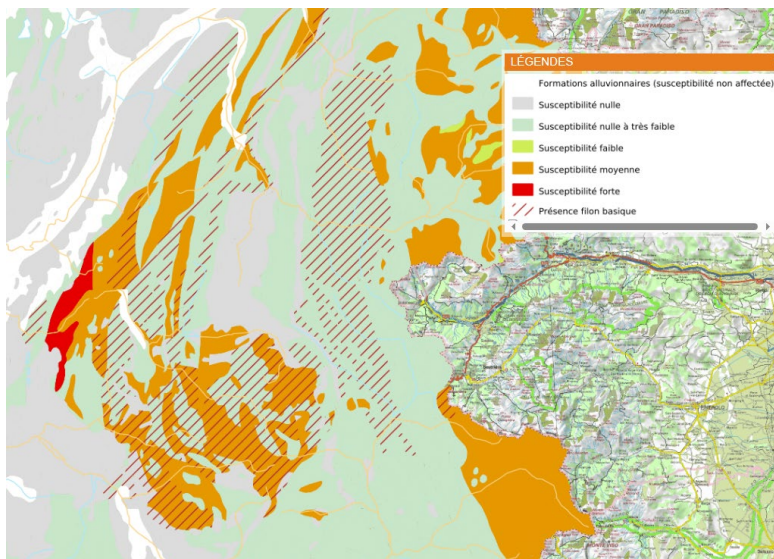
Typologies	Source	Descriptif du document source
1. sites naturels	BRGM	Recensement ponctuel d'affleurements naturels qui sont en réalité des zones (polygones) > retirés de la bdd
2. mines et carrières	Rapport BRGM IE 2016	Exposition aux fibres asbestiformes dans les industries extractives : Expertise de sites potentiellement concernés
3. ports	Cramif	Arrêtés modifiant la liste des ports susceptibles d'ouvrir droit à l'allocation de cessation anticipée d'activité des travailleurs de l'amiante en faveur des ouvriers dockers professionnels et personnels portuaires assurant la manutention
4. construction et réparations navales	Cramif	Arrêtés modifiant et complétant la liste des établissements et des métiers de la construction et de la réparation navales susceptibles d'ouvrir droit à l'allocation de cessation anticipée d'activité des travailleurs de l'amiante
		Arrêtés modifiant la liste des établissements susceptibles d'ouvrir droit à l'allocation de cessation anticipée d'activité des travailleurs de l'amiante (établissements ayant fabriqué des matériaux contenant de l'amiante et établissements de flocage et de calorifugeage à l'amiante)
5. autres industries	Cramif	Arrêtés modifiant la liste des établissements susceptibles d'ouvrir droit à l'allocation de cessation anticipée d'activité des travailleurs de l'amiante (établissements ayant fabriqué des matériaux contenant de l'amiante et établissements de flocage et de calorifugeage à l'amiante)
	Basias 1	Extraction Basias rapport BRGM 2001 (restreint à une quinzaine de départements) et extraction 2006 (68 départements) des sites d'extraction, fabrication, utilisation, stockage d'amiante et produits amiantés
	Basias 2	Extraction Basias 2019 - sites avec activités recensées dans basias comme "extraction d'amiante" (17 sites) ou "fabrication, utilisation, et stockage d'amiante et produits amiantés" (225 sites) - sites dont l'un des champs de la fiche basias comprend un terme référant à l'amiante : (amiante, fibrociment, fibres-ciment, fibre-ciment, asbeste, chrysotile, crocidolite, amosite, grunérite, trémolite, actinolite, anthophyle, amphibole) ou à un chantier naval
	Rapport BRGM 2001	Recensement général des sites ayant exploité l'amiante (exploitation ou transformation)

En complément de la base de données spatialisées des SPEA, nous avons exploité la carte de susceptibilité de présence d'amiante dans les sols et sous-sols réalisée par le BRGM (extraction de 2023) à partir de données d'observations géologiques⁶ (figure 1). Ces prospections régulières couvrent pratiquement l'ensemble du territoire hexagonal et décrivent la susceptibilité de présence d'amiante dans les sols et sous-sols.

Cette cartographie a été utilisée pour donner des informations sur contexte naturel amiantifère, en revanche, suite aux recommandations du BRGM de ne pas considérer des sites naturels de façon ponctuelle, nous avons supprimé de la base les sites naturels codés 1 (cf. tableau 2) initialement. En effet les affleurements naturels sont des zones et non des points (cf. figure 1) comme le montrent les cartes de susceptibilité fournies par le BRGM en avril 2024 (consultables dans la visionneuse Infoterre : <https://infoterre.brgm.fr/viewer/MainTileForward.do>).

⁶ [Visualiseur InfoTerre \(brgm.fr\)](https://infoterre.brgm.fr)

Figure 1 : Impression écran d'une zone de la carte de susceptibilité de présence d'amiante environnementale 1/1 000 000 (Visualiseur InfoTerre (brgm.fr))



Le fichier transmis, sous forme de couche géographique, par le BRGM, contient les informations relatives aux géométries (polygones) de la carte (figure 1). Les informations de la table attributaire sont relatives à l'identifiant du polygone (surface géologique considérée), à l'identifiant de la zone géographique de rattachement du polygone et au niveau de susceptibilité de présence d'amiante affecté à polygone, décliné en 4 classes (1 : Nulle à très faible, 2 : Faible, 3 : Moyen, 4 : Fort à très fort).

Les cartes de susceptibilité de présence d'amiante réalisées par le BRGM constituent des produits dérivés des cartes géologiques à l'échelle 1/50 000 préalablement établies et couvrant pratiquement l'intégralité du territoire métropolitain⁷. Les travaux relatifs à l'établissement des cartes de susceptibilité de présence d'amiante ne sont pas encore achevés et les données transmises n'intègrent pas les informations concernant la révision engagée sur douze départements couvrant le Massif armoricain. Ces données devraient être prochainement publiées sur InfoTerre⁸. Par ailleurs, des travaux sont également en cours actuellement dans les DROM/COM.

3.3 Dédoublonnage

La concaténation des différentes sources a introduit la multiplication des lignes dans la base de données SPEA. Les doublons peuvent être « parfaits » (même nom, même adresse) ou « imparfaits » lorsque les noms des établissements ne sont pas orthographiés de manière identique dans les bases sources (exemple : Établissement vs Etb).

Afin de permettre le travail ultérieur, il est nécessaire que la base des SPEA présente une ligne par site et par période d'activité. Ainsi, un site qui aurait été fermé puis rouvert correspond à plusieurs lignes dans le fichier pour chacune des périodes d'activité.

- Première étape de dédoublonnage menée à partir des informations concaténées issues des arrêtés de la DGT et de Basias
- Deuxième opération de dédoublonnage après la récupération des entreprises identifiées pour l'indemnisation des victimes de l'amiante par la Cramif (Caisse régionale d'assurance maladie d'Île-de-France).

⁷ <http://ficheinfoterre.brgm.fr/document/RP-70343-FR>

⁸ [Amiante environnemental | InfoTerre](#)

Le dédoublonnage a été réalisé en partie à l'aide d'un logiciel statistique (SAS) et également visuellement, par lecture, en réalisant un tri sur le nom de l'entreprise (puis comparaison des informations annexes) et ensuite par commune afin de retrouver des noms identiques mais renseignés différemment dans les bases sources (par exemple IDENT SARL vs SARL IDENT).

À l'issue de cette étape cruciale qui s'est faite au fur et à mesure des explorations de la base mise à jour, nous obtenons la base de référence des SPEA (2023) utilisée pour les autres étapes du travail d'estimation de l'exposition environnementale à l'amiante (Sirénage, géocodage, typologie des sites).

3.4 Obtention d'informations complémentaires pour la caractérisation des sites

3.4.1 Directement dans les bases de données sources

Les adresses ont été complétées grâce aux informations des arrêtés de la DGT et de la base Basias notamment. Un travail important a consisté à rechercher les adresses manquantes lorsqu'il n'y avait dans la base ni commune, ni code postal.

Une typologie en 4 classes a été appliquée à l'ensemble des sites de la base : ports, chantiers navals, mines et carrières et autres industries. L'assignation du type a été réalisée à partir du nom de l'entreprise, de sa localisation et des informations partielles sur le type d'activité parfois renseignée dans la base.

3.4.2 Par croisement avec la base Sirene de l'Insee

Le Système national d'Identification et de Répertoire des entreprises et de leurs établissements (Sirene), géré par l'Insee, centralise l'ensemble des sociétés, organismes publics, associations, commerçants, artisans, professions libérales et micro-entrepreneurs, localisés en France, qu'ils soient actifs ou en cessation d'activité. Cette base de données consultable en ligne (<http://www.sirene.fr>) ou téléchargeable, fournit la carte d'identité d'une entreprise et notamment les informations sur son nom, sa localisation (adresse), le nom de son dirigeant, son activité (code NAF/APE), sa catégorie juridique, sa tranche d'effectifs, ses dates de création et de fermeture, etc.

Afin de compléter les informations relatives aux activités des sites, la taille de l'entreprise à travers le nombre de salariés, les dates d'activité, qui sont nécessaires à la réalisation d'une typologie détaillée des SPEA et à la caractérisation de leur potentiel d'émission, il est nécessaire de récupérer les numéros Siren ou Siret et les codes d'activité NAF. Ainsi, un travail important de croisement semi-automatique de la base des SPEA (2023) et de la base Sirene de l'Insee a été mené en 2023. Ce croisement permet aussi de vérifier un certain nombre d'informations historiques telles que les dates d'activité et les adresses.

Le sirénage consistait à retrouver les établissements de la base de référence des SPEA 2023 dans les fichiers Sirene de l'Insee sur la base du nom et de l'adresse de l'établissement. L'appariement de la base SPEA 2023 avec la base Sirene s'est fait sur des informations textuelles qui pouvaient varier plus ou moins fortement pour diverses raisons : niveaux de détails différents selon les tables, consigne de saisie différente, erreur lors de la saisie... Ainsi, et contrairement à une jointure classique entre deux tables qui renvoie un résultat lorsque la correspondance entre les identifiants de chaque table est strictement identique, cet appariement doit quant à lui permettre de joindre des champs non identiques mais proches : on parle ici d'appariement de données individuelles, « d'appariement flou », de « *record linkage* » ou de « *fuzzy string matching* » en anglais.

Cette approche contient plusieurs étapes : préparation des données pour optimiser l'appariement (data-management, passage en majuscule et normalisation des champs...), indexation et réduction du nombre de paires, comparaison des paires et classification. Pour comparer les paires obtenues par appariement de deux tables, on utilise des mesures de distance entre chaînes de caractères telles que la distance de Levenshtein ou la distance de Jaro–Winkler. Pour plus de détails sur la méthode d'appariement de données individuelles, voir le document de travail « Méthodologie statistique de l'insee, N° M2023-03 – juin 2023 ».

L'appariement entre les tables a été effectué en prenant comme clé de blocage le code officiel géographique de la commune. Les similarités entre les noms des entreprises et entre les adresses ont été calculées avec la distance de Levenshtein. Un examen visuel des paires a permis de déterminer quelles paires ont été acceptées. La base des SPEA mise à jour contenait 12 % de codes Siren déjà renseignés.

3.5 Géocodage des sites

Le géocodage des sites, c'est-à-dire l'attribution de coordonnées géographiques (de type X, Y) à une adresse postale a été réalisé en plusieurs étapes. Celles-ci reposaient sur :

- Un contrôle de la cohérence des coordonnées géographiques déjà renseignées dans la version 2019 de la base ;
- Un géocodage automatique par système d'information géographique (SIG) et son contrôle qualité ;
- L'homogénéisation vers un unique système de coordonnées géographiques et la création d'un champ de fiabilité du géocodage ;
- Une reprise manuelle des géocodes aberrants ou trop imprécis (situés au centroïde des communes).

3.5.1 Contrôle des coordonnées géographiques prérenseignées dans la base

Les sites issus de la base Basias disposaient pour certains, de coordonnées géographiques déjà renseignées. Celles-ci provenaient de deux sources distinctes : la base de données Basias directement ou une précédente étape de géocodage automatique réalisée par Santé publique France.

Une première visualisation par SIG à partir des coordonnées renseignées a révélé des erreurs de positionnement. Certains sites étaient projetés en Afrique, en Amérique du Nord ou dans l'océan Atlantique.

Ces erreurs de projection⁹ sont courantes et directement liées au système de coordonnées, c'est-à-dire au référentiel géographique utilisé. Ainsi, à chaque lot de coordonnées correspondait un système de coordonnées inscrit dans la base. Celui-ci pouvait être :

- « Correct » : Les sites étaient projetés au bon endroit sur la carte. Aucune action de correction n'était nécessaire ;
- « Absent » : Les sites étaient mal projetés, car le SIG leur attribuait un système de coordonnées par défaut. Il était donc nécessaire de rechercher le référentiel correspondant ;
- « Imprécis » : Le système mentionné était trop vague ou faux. Par exemple le système « Lambert 2E » faisait référence au système « Euro Lambert ».

Dès lors, chaque lot de coordonnées géographiques a été affecté au bon système de coordonnées grâce au SIG par un test de correspondance avec tous les référentiels de type Lambert existants.

⁹ Projection : représentation sur une surface plane de n'importe quel point du globe grâce à des calculs géodésiques.

3.5.2 Géocodage automatique des sites

Tous les sites ont été géocodés ou re-géocodés afin de (1) vérifier la pertinence des coordonnées géographiques déjà renseignées et (2) attribuer des coordonnées à tous les autres sites qui n'en disposaient pas. Ceux-ci ont été géocodés à partir des champs disponibles dans la base faisant référence à une localisation géographique (tableau 3) :

Tableau 3 : Champs utilisés pour le géocodage

Champs	Description
Adresse	Adresse principale récupérée dans les bases sources et complétée avec les recherches internet
Adresse 2	Adresse complémentaire pouvant correspondre à une dénomination plus récente suite à changement de nom de rue
Commune	Nom de la commune
CP	Code postal
CodeInsee	Code de la commune
CodeDep	Code du département

Le géocodage dépend de deux facteurs : la qualité de l'adresse renseignée dans la base source, et du localisateur d'adresses proposé par l'outil de géocodage. Le géocodage suit une logique d'attribution et de correspondance (ou *matching*) entre l'adresse soumise et le localisateur d'adresse.

Trois géocodages automatiques ont été réalisés par le SIG ArcGIS Pro :

- Un premier géocodage à partir du localisateur « World » fourni par ESRI (éditeur du logiciel ArcGIS) ;
- Un second à la réception des SPEA communiqués par la Cramif via le référentiel de l'IGN : la Base adresse nationale (BAN) ;
- Un dernier géocodage de toute la base avec le localisateur d'ESRI.

Le fichier de sortie du géocodage propose plusieurs champs indicateurs de la qualité du géocodage. Le champ 'score' (compris entre 0 et 100) est un indicateur de la qualité de correspondance entre l'adresse et le localisateur. Un score de 100 signifie une correspondance parfaite alors que le 0, un géocodage impossible.

Le champ '*Précision*' indique, quant à lui, la précision avec laquelle le géocodage a pu être effectué : au numéro exact de la rue, au centroïde du tronçon de la rue, au centroïde de la commune, au code postal, etc. À partir de ces indications, certaines adresses sont contrôlées individuellement dans le but d'affiner le géocodage. Par exemple, les chantiers navals ont été déplacés au port de la commune de référence lorsque le niveau de précision était le centroïde de la commune.

De plus, une analyse de sensibilité a été effectuée, par SIG, sur un échantillon d'adresses afin de comparer la qualité du géocodage réalisé par le localisateur d'ESRI et celui de l'IGN (la BAN). Le géocodage réalisé avec le localisateur d'ESRI obtient un meilleur score de correspondance des adresses qu'avec le localisateur de l'IGN (86,5 contre 75,8). Bien qu'assez proche en termes de score, le géocodage tiré du localisateur d'ESRI a prévalu.

Afin d'évaluer la qualité du géocodage en termes de précision et pouvoir effectuer une reprise manuelle le cas échéant, un indicateur de précision a été créé à partir du champ 'Précision' produit par le géocodeur ESRI World :

- **Précision à l'adresse ou à la rue** : valeurs 'StreetAddress', 'StreetName', ou 'Pointaddress'
- **Précision à la commune** : valeurs 'Postal', 'PostalLoc'. Y sont également associés les sites à la localité ou lieu peuplé 'Locality', 'POI' ainsi que ceux qui n'ont pas pu être géocodés par le géocodeur ESRI world (ici complété avec la BAN 2018).

3.5.3 Homogénéisation de la base : reprojection géographique¹⁰ et estimation de la fiabilité de la source des données géocodées

Faire coexister plusieurs systèmes de coordonnées dans un même fichier géographique rend son utilisation complexe (nécessité de le diviser autant de fois que de systèmes de coordonnées présents).

Dans l'objectif de nettoyer et faciliter l'utilisation de la base, les six systèmes de coordonnées présents initialement dans la base de données ont été reprojétés vers un même et unique système de projection. Le système cible est le Lambert 93¹¹, actuellement le standard français des systèmes de coordonnées pour l'Hexagone. Pour les sites situés en Martinique, Guyane et à La Réunion, les coordonnées sont exprimées dans le système WGS84¹².

Comme évoqué précédemment, certains sites ont pu être géocodés au centroïde de la commune, qui représente la précision de géocodage minimum. Or, lors des géocodages précédents, cette information sur la précision n'a pas été conservée. De ce fait, un contrôle a été réalisé dans le SIG en croisant tous les sites (points) avec une zone de 50 m et de 200 m autour des centroïdes de chaque commune afin d'identifier les géocodes avec une précision minimale et le renseigner dans la base de données.

Enfin, le géoréférencement de chaque site pouvant provenir de plusieurs sources (directement depuis Basias, par géocodage automatique (BAN ou ESRI World), etc.), un champ de fiabilité du géocodage a été créé afin d'identifier les sites présentant une géolocalisation satisfaisante et ceux à reprendre manuellement.

Ce champ de fiabilité propose trois modalités :

- 0 : Si le géocodage du site n'est pas fiable. C'est-à-dire qu'il est uniquement issu du géocodage de la BAN (IGN) avec un score de géocodage inférieur à 85 ;
- 1 : Le géocodage du site est fiable car il est issu de la base source Basias (géocodage précédemment effectué) ou présente un score de géocodage par le localisateur ESRI world strictement supérieur à 85. Le site n'est pas à l'intérieur d'une zone de 50 ou 200 m autour des centroïdes des communes ;
- 2 : Le géocodage peut être imprécis car il présente un score de géocodage inférieur à 85 par le localisateur ESRI ou supérieur à 85 dans la BAN ou se situe dans une zone de 200 m autour d'un centroïde de commune, ce qui laisse penser qu'il est géocodé au centroïde de la commune.

3.5.4 Reprise manuelle des géocodes

À partir du champ de fiabilité décrit précédemment, les sites présentant une fiabilité de 0 ou de 2 ont été contrôlés manuellement. Ce contrôle a permis de mettre en avant des incohérences dans la table qui a pu induire une erreur à l'étape de géocodage :

- Le code postal et le code Insee ne coïncidaient pas pour certains sites ;
- Certains sites ne présentaient aucune adresse (ni adresse, ni adresse 2) mais uniquement un nom de lieu ou d'établissement.

De fait, les codes postaux, le nom de la commune et le code Insee ont été standardisés en balayant tous les sites qui n'avaient pas un code département similaire (comparaison des deux premières valeurs des champs code Insee et code postal).

¹⁰ Projection dans un autre système géodésique.

¹¹ Lambert 93 EPSG : 2154.

¹² <https://fr.geoconcept.com/wgs84>

Les sites sans adresses renseignées dans la base de données ont été géocodés manuellement en fonction de leur typologie (Mines, Ports, construction navale, autres industries), dans le SIG en affichant les centroïdes des communes et un référentiel visuel d'*Open Street Map*.

En complément une dernière opération de géocodage automatique a été réalisée pour les adresses et noms de communes corrigées lors des étapes précédentes.

Enfin, un dernier travail sur la base de données a été réalisé pour attribuer à chaque site les coordonnées géographiques disponibles les plus précises (celles issues de la reprise manuelle décrite, du géocodage automatique ESRI, du géocodage automatique de la BAN, etc.). À nouveau, toutes les coordonnées ont été homogénéisées et reprojetées en Lambert 93 (cf. 2.4.3).

3.6 Caractérisation des SPEA

En parallèle du géocodage des SPEA, nécessaire à leur cartographie et ensuite pour le croisement avec la localisation des cas de mésothéliome, les autres informations récupérées dans la base de données ont permis de construire une typologie des SPEA.

Nous avons initialement envisagé 4 étapes de caractérisation des sites. Mais aux vues des difficultés rencontrées pour croiser la base de données des sites avec la base Sirene de l'Insee à partir des variables renseignées, il n'a pas été possible d'aller au-delà de l'étape 1 décrite ci-dessous :

- Étape 1 : une typologie en 4 classes a été réalisée à partir des noms des sites. Il s'agit des grandes typologies de sites (cf. Tableau 1) : 1/Mines et carrières ; 2/ Ports ; 3/ Construction et réparations navales et 4/ Autres industries amiante. Ainsi, sur la base des intitulés des noms des entreprises et d'informations (plus ou moins parcellaires) sur l'activité réelle des sites, la typologie d'activité a été renseignée pour les SPEA pour lesquelles elle était manquante. Certaines typologies déjà renseignées ont aussi été corrigées lorsqu'elles n'étaient pas cohérentes avec les informations « nom des établissements » et/ou « activités du site » renseignées par ailleurs.

Les 3 étapes suivantes n'ont donc pas pu être réalisées :

- Étape 2 : précision des secteurs d'activité à partir des codes NAF. Très peu de codes NAF étaient déjà renseignés dans la base (10 %), et pour un grand nombre d'entre eux ils n'étaient pas en adéquation avec le « nom des établissements » ou l'« activité du site » renseignés. La recherche d'informations (codes NAF et adresses) via Internet sur un échantillon test de 240 établissements s'est avérée extrêmement chronophage et peu concluante. En effet, malgré le temps passé, sur 240 sites testés dans les départements du 44 (Loire Atlantique) et du 64 (Pyrénées Atlantiques), moins d'un tiers a été retrouvé sur internet (Sirene.fr, Sirene V3, societe.com, Google). Par ailleurs, lorsque les entreprises étaient retrouvées, leurs adresses pouvaient être imprécises voire fausses. Par conséquent il était de toute façon très difficile d'attribuer aux sites trouvés un code Siren ou un code NAF avec certitude.
- Étape 3 : définition d'un potentiel d'émission des fibres d'amiante dans l'environnement (à partir du croisement avec Evalutil¹³ et avis d'experts).

¹³ Evalutil : base de données sur les expositions professionnelles à l'amiante et aux fibres minérales artificielles (FMA) qui peut être consultée directement sur Internet. Son objectif est d'apporter une aide aux acteurs de la prévention et de la santé publique : médecins du travail, ingénieurs sécurité, membres des CHSCT, chercheurs, etc. Trois bases de données composent Evalutil : deux bases documentaires, une concernant les fibres d'amiante et l'autre les FMA, et une matrice emplois-exposition concernant l'amiante uniquement. La matrice emplois-exposition fournit, pour un emploi donné, des informations sur l'exposition à l'amiante évaluée par des experts. [Base de données Ev@lutil. Évaluation des expositions professionnelles aux fibres \(santepubliquefrance.fr\)](http://Base%20de%20donn%C3%A9es%20Ev%40lutil.%20%C3%89valuation%20des%20expositions%20professionnelles%20aux%20fibres%20(santepubliquefrance.fr))

- Étape 4 : potentiel de dispersion dans l'environnement (via croisement avec rose des vents et conditions hygrométriques) : pour croisement avec les lieux de vie des sujets et caractérisation de l'exposition sur ces lieux en regard de la proximité aux sites. Sans caractérisation des activités des entreprises via le « sirénage » et les codes NAF, il n'est pas pertinent de considérer la rose des vents. Tant qu'il n'est pas possible de caractériser les émissions il ne sera pas opportun de caractériser la dispersion des fibres d'amiante.

3.7 Indicateur de densité de sites potentiellement exposants à l'amiante

Compléter la base de données des sites potentiellement exposants à l'amiante avec les informations permettant de les géolocaliser notamment était une étape majeure pour être en mesure de décrire leur répartition spatiale mais également pour pouvoir approcher une exposition et ainsi construire des indicateurs géographiques à mettre en regard des cas de mésothéliome.

À ce stade, les informations collectées permettront de construire des indicateurs de densité de SPEA à différentes échelles géographiques, en fonction des objectifs des études envisagées. Il sera néanmoins important de réfléchir à la prise en compte des périodes d'activités de ces sites. En effet, la problématique de l'amiante implique des activités anciennes, ayant pour certaines cessées il y a plusieurs décennies. Par conséquent, les sites ayant cessé leurs activités liées à l'amiante ne peuvent pas être sommés avec des sites en activité et qui peuvent donc avoir un impact plus important sur le potentiel d'émission des fibres d'amiante.

Pour autant, les dates de début et de fin d'activité restent parcellaires dans la base de données actuelles rendant les périodes d'activités difficilement reconstituables. Il sera donc nécessaire d'appliquer des règles d'imputation pour compléter les dates manquantes et calculer des périodes d'activité.

4 RÉSULTATS : DESCRIPTION DE LA BASE DE DONNÉES (BDD) ET INDICATEURS D'EXPOSITION

4.1 Description de la BDD

À l'issue des étapes d'enrichissement de la base avec notamment les données de la Cramif en 2022, de dédoublonnage et de suppression des sites naturels (30 sites initialement codés 1. dans le champ typologie cf. tableau 4), la base de données des SPEA mise à jour compte aujourd'hui (2024) **3 538 sites** répartis en quatre classes représentant les grands types d'activités (cf. tableau 6).

Les variables disponibles dans la version finale de la bdd sont les suivants (cf. tableau 4) :

Tableau 4 : variables disponibles dans la version finale de la base de données

Variable	Libellé de la variable
id_spea	Identifiant unique maison des sites
nr	Nom d'établissement sans caractères spéciaux
nom_recup	Nom d'établissement tel que récupéré dans les différentes bdd
adresse	Adresse (numéro et nom de rue)
adresse_2	Adresse complémentaire pouvant correspondre à une dénomination plus récente suite à changement de nom de rue
commune	Nom de la commune
cp	Code postal
CodeInsee	Code insee de la commune
CodeDep	Code département
source	Nom de la base d'origine d'où est issue l'information
typologie	Grande typologie des activités des sites en 4 classes 2. mines et carrières 3. ports 4. construction et réparation navales 5. autres industries amiante
activite_recup	Informations hétérogènes sur l'activité principale issue des différentes sources de données
siren	Numéro unique d'identification attribué à chaque entreprise à 9 chiffres
code_naf	Code de la nomenclature d'activité française
Commentaires	Précisions relatives à la recherche d'informations ou d'erreurs
debut	Date de début d'activité
date_fin_activite	Date de fin d'activité
effectif	Tranche d'effectifs renseignées dans la base Sirene
x_L93	coordonnées x (Lambert 93)
y_L93	coordonnées y (Lambert 93)
lat	latitude (WGS84)
long	longitude (WGS84)
score_esri	Score de correspondance des adresses entre la base des sites et la base du référentiel d'adresses d'Esri
source_geoc	Base de données de provenance du géocodage
fiabilité	Score construit en fonction de la source de donnée d'où est issu le géocodage
précision	Précision du géocodage (adresse exacte, rue, centroïde de la commune, etc.)
reprise	Vérification du géocodage manuellement (0/1)

4.2 Le géocodage des SPEA

On dénombre 294 sites sans adresse renseignée (champ 'adresse', et champ 'adresse_2' vides). Parmi eux :

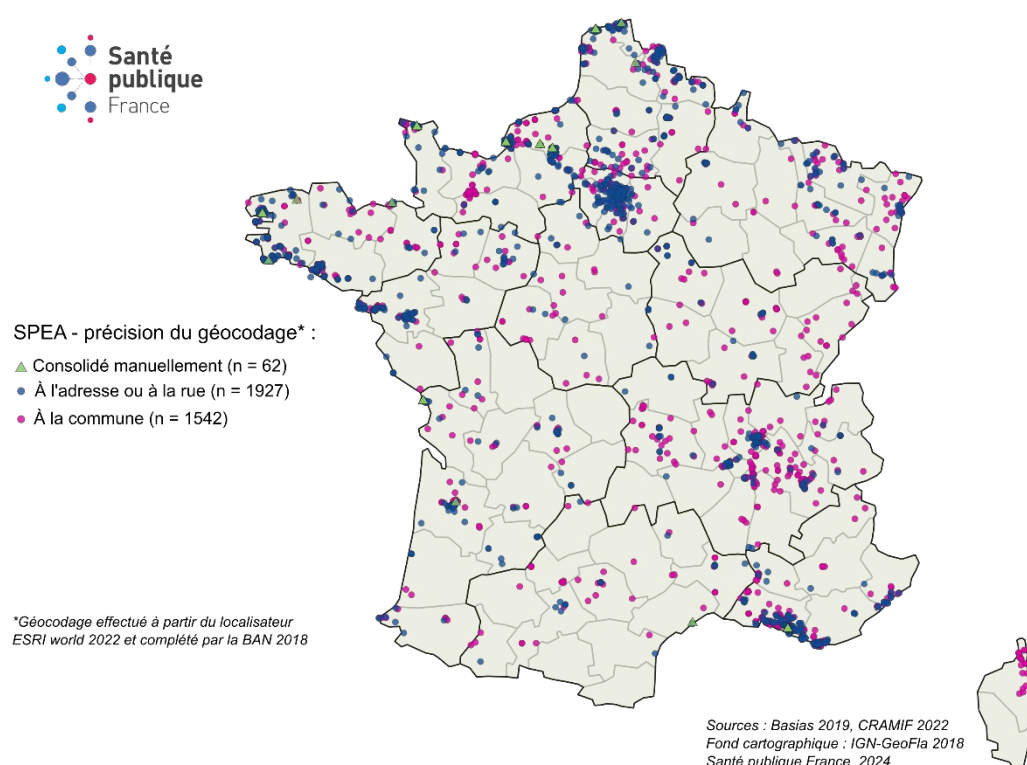
- 170 avaient bénéficié d'une reprise manuelle au préalable à partir des informations issues de Basias ;
- 124 points non identifiés jusqu'alors ont nécessité une reprise manuelle.

Cette reprise a été réalisée en fonction de la typologie des SPEA, dans le SIG en affichant les centroïdes des communes et un référentiel visuel (fond cartographique) d'*Open Street Map* :

- Les ports (n = 16) ont été repositionnés dans la zone portuaire associée au lieu du centroïde de la commune parfois très éloigné ;
- Pour les sites de « construction et réparation navale » (n = 24) plusieurs éléments ont été pris en compte pour améliorer le positionnement géographique. Si l'adresse du site était récupérable sur le web, il était repositionné à l'adresse précise ; sinon au plus près de la zone portuaire ou des sites déjà présents et regroupés dans la commune ;
- Pour les autres types d'industries (n = 82), la reprise a consisté dans le fait de vérifier que le point était bien situé au centroïde de la bonne commune, de vérifier l'orthographe ou le code géographique de la commune également.

Au total 62 SPEA de l'hexagone ont été déplacés manuellement pour corriger des erreurs visibles de positionnement géographique (cf. Figure 2).

Figure 2 : carte de précision du géocodage des SPEA



Le géocodage à la commune (n=1 542) ne permettra pas de faire des calculs de distance précis à l'adresse du cas de mésothéliome mais permet en revanche d'être exploité dans un indicateur écologique proxy de l'exposition environnementale aux SPEA comme la densité de sites à la commune ou au département.

4.3 Les données manquantes

Malgré un important travail de recherche de données, il demeure un certain nombre d'informations manquantes dans la base de données finale des SPEA mise à jour (cf. tableau 5).

La base des SPEA mise à jour contenait 12 % de codes Siren déjà renseignés. À l'issue de l'appariement avec la base Sirene, la base des SPEA contient 21 % de codes Siren. Le faible taux d'appariement avec la base Sirene peut s'expliquer par une faible précision dans le renseignement du nom et de l'adresse des établissements dans la base des SPEA, ce qui rend difficile la réalisation d'un appariement automatique de qualité.

Ces résultats d'appariement ne nous ont pas permis de poursuivre les travaux de caractérisation du potentiel d'émission des fibres d'amiante des sites en fonction des activités notamment.

Tableau 5: Données manquantes par variables présentes dans la bdd des SPEA (les champs non listés présentent un taux de remplissage de 100 %)

	Nom_recup	Adresse	Adresse_2	Commune	CP	Source	Activite_recup	N_siren	Code_naf	Début	Date_fin_activite
Données manquantes	1	290	1 941	3	404	153	563	2 781	2 939	706	1 260
%	0,03	8,22	54,86	0,08	12,18	4,32	15,91	78,6	83,07	19,95	35,61
Nb total de lignes	3 538										

Les codages d'activité identifiés par les codes Siren et NAF sont particulièrement mal renseignés puisqu'il manque 80 % des informations pour les deux champs.

4.4 Répartition géographique des SPEA

Les SPEA sont localisées principalement sur le pourtour littoral et les zones fluviales majeures (Figures 2 et 3). En effet, la majeure partie des activités utilisant de l'amiante est liée au transport maritime et aux chantiers navals (tableau 6, figure 3). L'amiante était par ailleurs, très utilisée aussi dans le bâtiment et les travaux publics, la mécanique automobile et industrielle.

Figure 3 : carte lissée des effectifs de SPEA de l'Hexagone

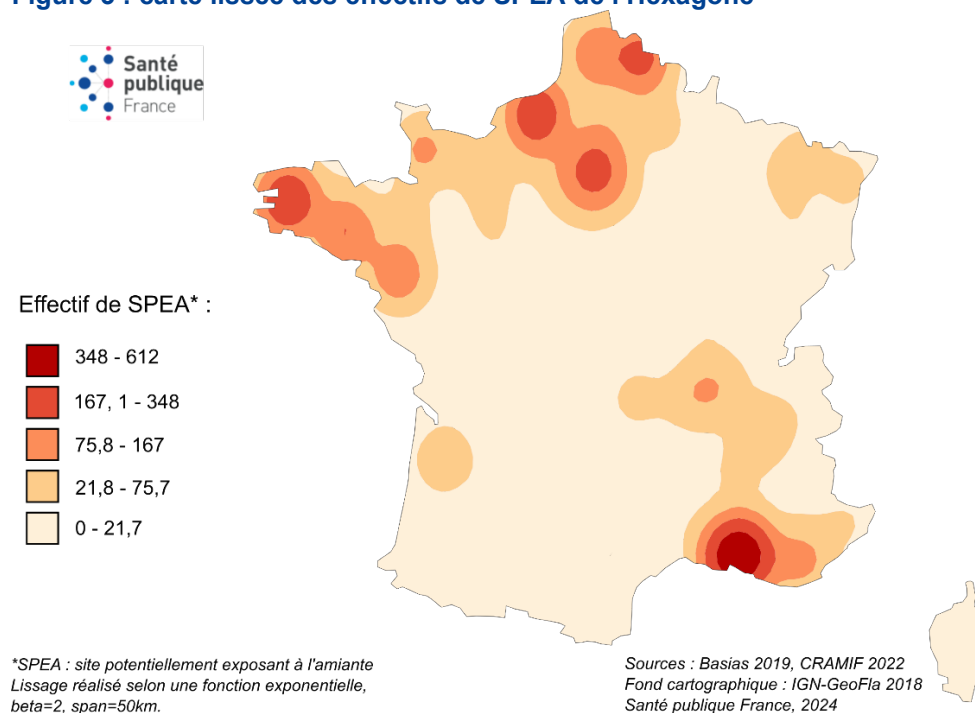


Tableau 6: Nombre de SPEA par grand type d'activité (4 classes)

Typologie de sites	Nombre de SPEA
2. mines et carrières	21
3. ports	29
4. construction et réparation navales	1 798
5. autres industries amiante	1 690
Effectif total	3 538

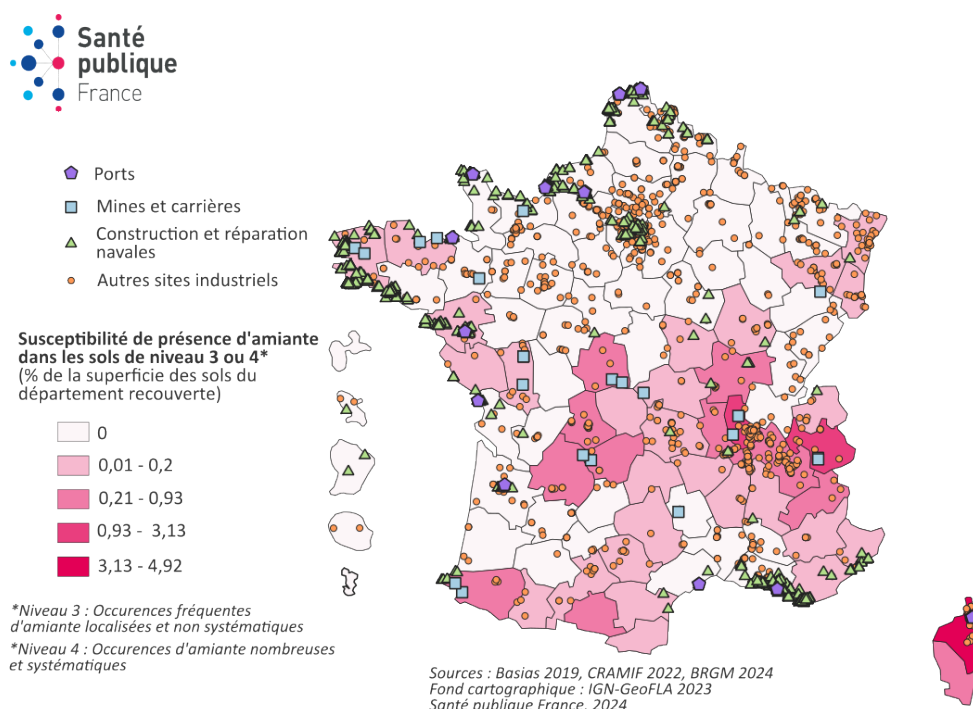
Les départements qui concentrent le plus grand nombre de sites sont (cf. figure 4) :

- Les Bouches-du-Rhône (13) avec 615 sites
- Le Finistère (29) avec 345 sites
- La Seine-Maritime (76) avec 314 sites
- Le Nord (59) avec 223 sites

La Corse compte 22 sites et les DROM 8 sites (Guyane, La Réunion, La Martinique).

Associée à la concentration d'un grand nombre de sites exploitants de l'amiante, la susceptibilité de présence d'amiante à l'état naturel est plus forte dans les zones montagneuses notamment en Haute-Corse, dans les Hautes-Alpes, les Pyrénées et le Massif central.

Figure 4 : cartographie des SPEA par grand type d'activité et de la susceptibilité de présence d'amiante dans les sols¹⁴



¹⁴ <https://infoterre.brgm.fr/viewer/MainTileForward.do>

4.5 Les champs dates et la prise en compte des durées d'activité pour calculer une densité de sites

Comme décrit précédemment (tableau 5), 35 % des dates de fin d'activité sont manquantes, ce qui ne permet pas de calculer des périodes d'activité pour chaque site. Néanmoins afin d'éviter les doubles comptes lors du calcul d'indicateurs de densité de SPEA à différentes échelles (communes, canton, département...), nous avons défini les règles d'imputation suivantes sur la base du dire d'experts :

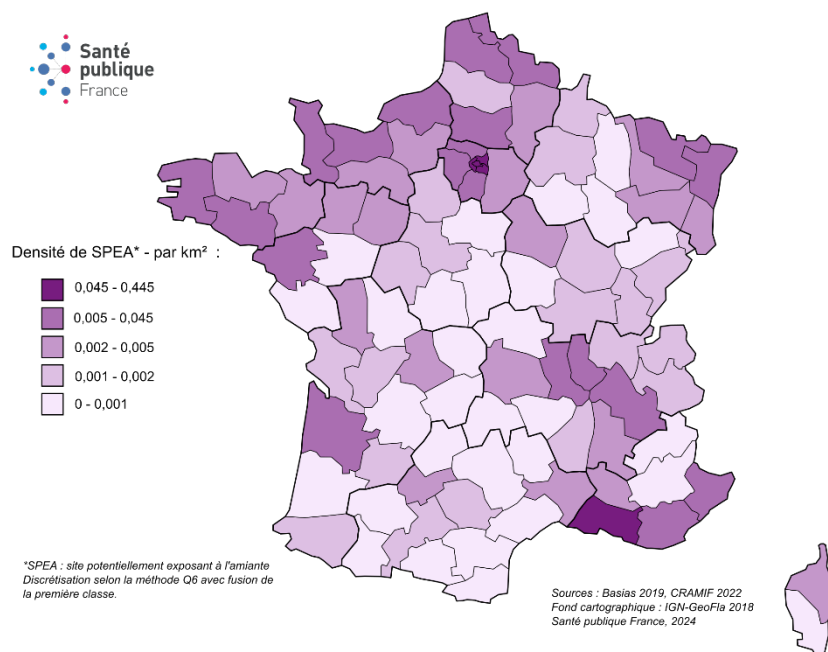
- Lorsqu'il n'y a pas de date de fin : imputer la date 1997 (date d'interdiction de l'utilisation de l'amiante) en faisant l'hypothèse que l'entreprise est restée en activité jusqu'à l'interdiction. Cette hypothèse de continuité de l'utilisation de l'amiante est très vraisemblable compte tenu du fait que l'amiante était un matériau très bon marché et pratique d'utilisation.
 - Pour les chantiers navals, la réparation a impliqué une exposition après 1997. Sur la base des discussions menées avec l'équipe Epicène à Bordeaux, il semble pertinent de prolonger jusqu'à 10 ans la période d'exposition (pour les plus gros chantiers) et ainsi considérer une date de fin en 2007. Il faudra néanmoins étudier la possibilité de baisser les niveaux d'exposition, notamment la fréquence de l'exposition (du relargage) car le risque de trouver de l'amiante sur les bateaux est de moins en moins élevée au fur et à mesure que l'on s'éloigne de 1997 ;
- S'il n'y a pas de date de début non plus (20 %) : imputer les dates d'une période théorique 1950-1997 (forte hypothèse mais peu d'alternatives compte tenu du nombre de dates de début manquantes).

Remarques : nous avons constaté que les dates renseignées dans la base des SPEA ne sont pas toujours celles retrouvées dans Sirene. Ce qui confirme la fiabilité très relative de certaines variables issues des bases sources (Basias, arrêtés, etc.).

Pour la catégorie « Ports », il n'est pas pertinent d'aller au-delà de 1997 pour renseigner les dates de fin manquantes car elle correspond aux zones de déchargement des cargaisons d'amiante importées.

Nous avons fait le choix de ne pas réaliser ici cette imputation des dates d'activités manquantes, mais de donner les hypothèses sous-jacentes à sa réalisation. Ainsi les champs « dates » de la base de données des SPEA restent incomplets.

Figure 5: Densité de SPEA par départements de l'Hexagone



La carte ci-dessus montre une densité de sites plus importante dans les départements littoraux, dotés de zones portuaires où l'industrie navale est dominante tout comme les départements ayant une forte activité industrielle fluviale ou une histoire industrielle forte (régions des Hauts-de-France et Grand Est).

5 DISCUSSION

La mise à jour de la base de données géoréférencée des SPEA (2023) avec les données des industries issues des bases de recensement de la Cramif notamment permet de les cartographier et de créer les conditions favorables à la construction d'indicateurs d'exposition environnementale aux fibres d'amiante pour les futures études épidémiologiques qui étudieront les déterminants environnementaux de pathologies comme le mésothéliome et leurs disparités spatiales. Les difficultés d'interopérabilité des bases de données, la fiabilité des adresses renseignées et la complétude de certaines données comme les dates d'activité ou les tranches d'effectifs et les codes d'activité dans la base Sirene (y compris historique), a fortiori s'agissant d'établissements anciens, n'ont pas permis de caractériser le potentiel d'émission des sites. Néanmoins le travail important mené de croisements des bases de données sources (BRGM, Cramif, BASIAS), la reprise du géocodage pour une meilleure précision, l'attribution d'un score de fiabilité de géoréférencement à chaque site en fonction de la source de données sont autant de points forts qui permettent aux équipes qui le souhaitent d'exploiter ces données pour l'épidémiologie.

5.1 Applications possibles

La base de données et la cartographie des SPEA peuvent être utilisées dans plusieurs objectifs, dont certains au-delà des travaux mis en œuvre à Santé publique France.

5.1.1 À des fins d'évaluation et de gestion des risques

Les données permettent de décrire la répartition spatiale des sites potentiellement exposants à l'amiante sur le territoire français et d'améliorer la connaissance sur les expositions environnementales des riverains de SPEA.

En fonction des objectifs des études épidémiologiques, il pourra être pertinent de construire des indicateurs écologiques à différentes échelles spatiales et temporelles :

- Densité de sites à l'échelle des départements ou des cantons pour minimiser les erreurs de géolocalisation potentielles.
- Densité de sites à l'échelle des communes pour les sites localisés avec un niveau de fiabilité suffisant.
- Densité de sites par grand type d'activité en tenant compte des durées d'activité,
- Distance aux sites à l'échelle individuelle à partir des adresses recueillies dans le PNSM.

5.1.2 Dans le cadre d'études épidémiologiques

Les données permettent d'estimer la distance des lieux de résidence de sujets atteints ou non de mésothéliome et dont l'adresse est disponible, à des sources potentielles d'exposition environnementale à des fibres d'amiante.

Cet outil est utile notamment dans le cadre de la surveillance des mésothéliomes :

- Dans le cadre de l'étude pilote DO-mésothéliome, il a été utilisé pour décrire les expositions environnementales de 78 sujets, en regard des autres types d'exposition (professionnelle et extraprofessionnelle).
- Il pourrait être utilisé par d'autres équipes pour décrire l'exposition des sujets inclus et enquêtés entre 1998 et 2023 dans le PNSM.

- Par ailleurs, des études écologiques pourraient être mises en place afin d'étudier le lien entre l'incidence des mésothéliomes au niveau local (à l'échelle des communes) et la densité des sites potentiels d'exposition à l'amiante sur les zones considérées.

Finalement, cette base de données des SPEA mise à jour en 2023, est mise à la disposition des équipes scientifiques qui le souhaitent sur simple demande. Il s'agit d'une base de données au format Excel et de son dictionnaire de variables ainsi que d'une couche géographique au format SIG (.shp). Le présent rapport méthodologique détaille la méthode de mise à jour employée.

5.2 Limites de la base de données

- Elle est constituée de plusieurs informations issues de plusieurs bases de données créées notamment à des fins de gestion. Les informations centralisées sont, par conséquent, hétérogènes et, pour certaines variables, lacunaires.
- Chaque ligne de la base correspond à un site distinct. Malgré un nom d'entreprise identique, si certaines variables étaient différentes (typologie, adresses, dates d'activité), le choix a été fait de garder les sites. Il est probable qu'il demeure un certain nombre de doublons, difficilement quantifiable, qu'il n'est pas possible d'éliminer sur la base des informations disponibles dans les arrêtés ou dans les autres bases comme Basias.
- Les expositions provenant d'opérations de démolition, retrait et encapsulage d'installations contenant de l'amiante (cf. : [DEMAT@MIANTE¹⁵](#), la plateforme de dématérialisation des plans de démolition, de retrait ou d'encapsulage d'amiante) ou celles liées au trafic routier (notamment via l'usure du revêtement routier contenant de l'amiante) ne sont pas prises en compte dans cette cartographie.
- Les dates d'activité des sites étant lacunaires et parfois incohérentes d'une source d'information à une autre, il est compliqué de se baser sur cette information pour cartographier les sites en activité par période. Par conséquent, dans un certain nombre de cas (effectif non évalué), des sites (points sur la carte) coexistent à tort et biaisent l'indicateur de densité de SPEA qui ne peut être calculé que sur l'ensemble de la base de données. La méthode d'imputation des dates manquantes détaillée plus haut (5.3) permet de représenter les sites en activité tout en faisant des hypothèses fortes sur l'arrêt ou la continuité de ces activités.
- Le travail de caractérisation du potentiel d'émission des différents sites recensés dans la base de données n'a pas été possible compte tenu de la grande difficulté d'exploitation de la base Sirene pour identifier un code d'activité NAF à associer à chacun des sites. Par conséquent, compte tenu du peu d'information disponible pour caractériser un potentiel d'émission, il n'était pas pertinent de prendre en compte les conditions météorologiques à ce stade. Pourtant la rose des vents et les niveaux d'hygrométrie / pluviométrie, peuvent faire varier la libérabilité, l'envol et le panache de dispersion des fibres à partir des SPEA. Ces données permettraient de moduler l'exposition potentielle des sujets selon qu'ils sont sous le vent dominant ou non à partir d'un SPEA donné. Pour ce type d'approche, il est pertinent de s'appuyer sur les données du modèle AROME de Météo France disponibles depuis 2008 (mailles de 1,3 km) et qui permettent d'attribuer des données météo à chaque ponctuel de SPEA.
- La base de données n'inclut pas de données quantitatives (concentration des fibres d'amiante dans l'air). Il s'agit de données qualitatives permettant de renseigner une possible exposition des sujets en fonction de leur proximité à ces sites et des caractéristiques de ces derniers.

Enfin, de façon connexe, cette cartographie permet de prendre en compte des expositions environnementales à l'amiante mais les études épidémiologiques doivent considérer les

¹⁵ [DEMAT@MIANTE la plateforme de dématérialisation des plans de démolition, de retrait ou d'encapsulage d'amiante \(PDRE\)](#)
- Ministère du travail, de la santé et des solidarités ([travail-emploi.gouv.fr](#))

facteurs de risques de mésothéliome qu'il s'agisse d'exposition à l'amiante professionnelle ou individuelle (bricolage, bâti, etc.) ou d'autres facteurs de risque de mésothéliome que l'amiante suspectés dans la littérature [43, 44]. Ces derniers incluent des expositions à d'autres fibres minérales (laines de verre, roche, laitier), à des fibres céramiques réfractaires, à de nouvelles fibres (carbone, kevlar), ou à des radiations ionisantes. Des facteurs de risque chimiques sont aussi évoqués chez l'animal ainsi que de possibles causes virales, les interactions gène-environnement ou encore l'impact d'autres maladies chroniques évoquées comme facteur de risque [43, 46].

5.3 Pistes d'améliorations

- Des investigations ligne par ligne nécessitant la consultation d'archives historiques et/ou une enquête auprès des autorités locales (communes, Dreal, etc.) permettraient la récupération des informations précises sur l'activité, la période d'activité, l'adresse exacte.
- S'agissant du géocodage, utiliser des référentiels d'adresses historiques (l'IGN dispose d'un historique d'adresses de dix ans, la poste dispose de fichiers historiques également) permettrait sans doute de récupérer des coordonnées plus précises.
- Afin d'aller plus loin dans la caractérisation des activités des sites et dans l'évaluation d'un potentiel d'émission des fibres dans l'environnement, il serait pertinent d'exploiter les sites pour lesquels un code Sirene a été retrouvé dans un premier temps. Ce test permettrait de construire le raisonnement avec des experts du sujet et d'avoir une méthode applicable à l'ensemble des sites de la base en cas de complétude des informations.
- La mesure de l'exposition environnementale pourrait alors être affinée en prenant en compte les conditions météorologiques dans l'environnement proche des SPEA (vents et humidité) qui influencent la dispersion des fibres d'amiante dans l'air.
- Les informations colligées dans la base de données des SPEA peuvent encore être complétées par des informations issues de l'expertise, de recherches historiques sur la taille des entreprises ou encore la description de la zone d'activité (à ciel ouvert, etc.), de la base de données Evalutil sur les expositions professionnelles aux fibres, de sites d'opération de désamiantage (Demat@miante), de données quantitatives sur la concentration des fibres d'amiante dans l'air, etc.

6 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'évaluation et la surveillance des expositions à des fibres d'amiante sont indispensables, à des fins de reconnaissance/indemnisation (expositions passées) ou de prévention (expositions actuelles), et représentent donc, encore aujourd'hui, un enjeu majeur pour la santé publique.

Cet important travail a permis la mise à jour de la base de données des sites potentiellement émetteurs d'amiante dans l'environnement. Il a permis d'en faire une cartographie et d'en décrire la répartition spatiale. Il a également permis de pointer les difficultés d'accès à des informations anciennes s'agissant des dates exactes de début et de fin d'activité, des activités précises menées au sein des sites, etc. Ainsi, à ce stade, il n'a pas permis de caractériser le potentiel d'émission des fibres d'amiante en fonction des types d'activités et il n'a donc pas été possible d'affiner les connaissances sur les expositions potentielles.

Pour autant, les informations présentes dans la base de données permettent de :

- Cartographier le risque d'exposition de la population française à des SPEA
- Caractériser le risque amiante à l'échelle d'une unité géographique (communes, département) en lien avec les incidences de pathologies liées à l'amiante à l'échelle collective

Ainsi, compte tenu de ces possibilités, la base de données des SPEA ainsi que les indicateurs géographiques d'exposition calculables pourraient être utilisés pour de futures études épidémiologiques.

Par ailleurs, le croisement de la base SPEA avec les données collectées sur les entreprises françaises de la base Sirene aurait permis d'attribuer automatiquement le code d'activité NAF et donc de connaître exactement l'activité réalisée par l'établissement. Le codage de la base des SPEA selon le code NAF aurait ensuite rendu possible son exploitation pour attribuer un score d'émission, via l'utilisation de la base de données Ev@lutil¹⁶, documentant les différentes situations d'exposition à l'amiante en entreprise et les paramètres expliquant l'exposition. Faute d'avoir pu coder les entreprises selon l'activité, l'exploitation des données colligées dans la base Ev@lutil reste d'intérêt pour définir des potentiels d'émission moyens selon les grandes catégories définies dans la base SPEA.

¹⁶ [https://sites.bph.u-bordeaux.fr/EVALUTIL/\(S\(mpyhkovyhot3ge3n53vosv53\)\)/bases.aspx](https://sites.bph.u-bordeaux.fr/EVALUTIL/(S(mpyhkovyhot3ge3n53vosv53))/bases.aspx)

7 RÉFÉRENCES

- [1] Gilg Soit Ilg AA, S; Chamming's, S; Ducamp, S; Galateau-Sallé, G; Gramond, C; Grange, D; Guldner, L; Le Stang, N; Pairon, J.C.; Ramadour, M; Rigou, A; Chérié-Challine, L;. Programme national de surveillance du mésothéliome pleural (PNSM) : 20 années de surveillance (1998-2017) des cas de mésothéliomes, de leurs expositions et des processus d'indemnisation. Saint Maurice : Santé publique France; 2019. 103 p. Disponible: www.santepubliquefrance.fr
- [2] Santé publique France. Le programme national de surveillance des mésothéliomes (PNSM) [En ligne]. Saint-Maurice: 2018. Disponible: <http://invs.santepubliquefrance.fr/Dossiers-thematiques/Travail-et-sante/Mesotheliomes/Programme-national-de-surveillance-des-mesotheliomes>
- [3] 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; 2009. 26 p.
- [4] Grange DG, C; Le Moal, J; Rigou, A; de Crouy-Chanel, P; Gane, J; Chérié-Challine, L;. Déclaration obligatoire (DO) des mésothéliomes. Faisabilité des enquêtes et de l'évaluation des expositions à partir d'une étude pilote dans 9 régions françaises. Saint Maurice : Santé publique France; 2017. 149 p. [consulté le 19/06/2018]. Disponible: <http://invs.santepubliquefrance.fr/Publications-et-outils/Rapports-et-syntheses/Travail-et-sante/2017/Declaration-obligatoire-des-mesotheliomes>
- [5] Guldner LG, D.; Audignon, S.; Jezewsy-Serra, D.; Rigou, A.; Guillet, A.; *et al.* Étude des expositions non professionnelles à des facteurs de risque de mésothéliome dans l'étude pilote DO-Mésothéliome 2013-2015. Bull Epidemiol Hebd 2020;12:250-8.
- [6] Chent S. Implémentation d'un outil d'évaluation de l'exposition environnementale à l'amiante. Stage de Master 2 Santé Publique et Risques liés à l'Environnement Général. Saint Maurice : Santé Publique France. Université Paris Descartes. Université Paris-Saclay. École des Hautes Écoles en Santé Publique (EHESP) ; 2020. 41 p.
- [7] Ferrante D, Mirabelli D, Tunesi S, Terracini B, Magnani C. Pleural mesothelioma and occupational and non-occupational asbestos exposure: a case-control study with quantitative risk assessment. Occupational and environmental medicine. 2016;73(3):147-53.
- [8] Kurumatani N, Kumagai S. Mapping the risk of mesothelioma due to neighborhood asbestos exposure. American journal of respiratory and critical care medicine. 2008;178(6):624-9.
- [9] Marsh GM, Riordan AS, Keeton KA, Benson SM. Non-occupational exposure to asbestos and risk of pleural mesothelioma: review and meta-analysis. Occupational and environmental medicine. 2017;74(11):838-46.
- [10] Maule MM, Magnani C, Dalmaso P, Mirabelli D, Merletti F, Biggeri A. Modeling mesothelioma risk associated with environmental asbestos exposure. Environmental health perspectives. 2007;115(7):1066-71.
- [11] Vimercati L, Cavone D, Lovreglio P, De Maria L, Caputi A, Ferri GM, *et al.* Environmental asbestos exposure and mesothelioma cases in Bari, Apulia region, southern Italy: a national interest site for land reclamation. Environmental science and pollution research international. 2018;25(16):15692-701.
- [12] Marinaccio A, Binazzi A, Marzio DD, Scarselli A, Verardo M, Mirabelli D, *et al.* Pleural malignant mesothelioma epidemic: incidence, modalities of asbestos exposure and occupations involved from the Italian National Register. International journal of cancer. 2012;130(9):2146-54.
- [13] Abakay A, Tanrikulu AC, Ayhan M, Imamoglu MS, Taylan M, Kaplan MA, *et al.* High-risk mesothelioma relation to meteorological and geological condition and distance from naturally occurring asbestos. Environ Health Prev Med. 2016;21(2):82-90.

- [14] Pan XL, Day HW, Wang W, Beckett LA, Schenker MB. Residential proximity to naturally occurring asbestos and mesothelioma risk in California. *American journal of respiratory and critical care medicine*. 2005;172(8):1019-25.
- [15] Kumagai S, Kurumatani N. [Risk of developing mesothelioma due to neighborhood exposure to asbestos]. *Sangyo Eiseigaku Zasshi*. 2007;49(3):77-88.
- [16] Marinaccio A, Binazzi A, Bonafede M, Corfiati M, Di Marzio D, Scarselli A, *et al*. Malignant mesothelioma due to non-occupational asbestos exposure from the Italian national surveillance system (ReNaM): epidemiology and public health issues. *Occupational and environmental medicine*. 2015;72(9):648-55.
- [17] Lacourt A, Gramond C, Rolland P, Ducamp S, Audignon S, Astoul P, *et al*. Occupational and non-occupational attributable risk of asbestos exposure for malignant pleural mesothelioma. *Thorax*. 2014;69(6):532-9.
- [18] Pasetto R, Fazzo L, Zona A, Bruno C, Pirastu R, Binazzi A, *et al*. [SENTIERI-ReNaM: Burden of disease from mesothelioma in national priority contaminated sites in Italy]. *Epidemiol Prev*. 2016;40(5Suppl1):99-104.
- [19] Mirabelli D, Cavone D, Merler E, Gennaro V, Romanelli A, Mensi C, *et al*. Non-occupational exposure to asbestos and malignant mesothelioma in the Italian National Registry of Mesotheliomas. *Occupational and environmental medicine*. 2010;67(11):792-4.
- [20] Ward TJ, Spear T, Hart J, Noonan C, Holian A, Getman M, *et al*. Trees as reservoirs for amphibole fibers in Libby, Montana. *Sci Total Environ*. 2006;367(1):460-5.
- [21] Vimercati L, Cavone D, Delfino MC, Caputi A, De Maria L, Sponselli S, *et al*. Asbestos Air Pollution: Description of a Mesothelioma Cluster Due to Residential Exposure from an Asbestos Cement Factory. *International journal of environmental research and public health*. 2020;17(8).
- [22] Gilg Soit Ilg A, Ducamp S, Grange D, Audignon S, Gramond C, Chamming's S, *et al*. Programme national de surveillance du mésothéliome pleural (PNSM) : vingt années de surveillance des cas, de leurs expositions et de leur reconnaissance médico-sociale (France, 1998-2017). *Bull Epidemiol Hebd*. 2020;2020(12):234-43.
- [23] Sebastien P, Billon MA, Dufour G, Gaudichet A, Bonnaud G, Bignon J. Levels of asbestos air pollution in some environmental situations. *Ann N Y Acad Sci*. 1979;330:401-15.
- [24] Klán M, Pokorná P, Havlíček D, Vik O, Racek M, Plocek J, *et al*. New comprehensive approach for airborne asbestos characterisation and monitoring. *Environmental science and pollution research international*. 2018;25(30):30488-96.
- [25] Li Y, Shao L, Wang W, Zhang M, Feng X, Li W, *et al*. Airborne fiber particles: Types, size and concentration observed in Beijing. *Sci Total Environ*. 2020;705:135967.
- [26] Kurumatani NK, S.;. Significant Clustering of Mesothelioma Caused by Neighborhood Exposure to Crocidolite From a Large Asbestos Cement Pipe Plant in Japan. *ISEE 22d annual conference*
- [27] Tarres J, Alberti C, Martinez-Artés X, Abos-Herrandiz R, Rosell-Murphy M, Garcia-Allas I, *et al*. Pleural mesothelioma in relation to meteorological conditions and residential distance from an industrial source of asbestos. *Occupational and environmental medicine*. 2013;70(8):588-90.
- [28] Xu R, Barg FK, Emmett EA, Wiebe DJ, Hwang WT. Association between mesothelioma and non-occupational asbestos exposure: systematic review and meta-analysis. *Environ Health*. 2018;17(1):90.
- [29] Driece HA, Siesling S, Swuste PH, Burdorf A. Assessment of cancer risks due to environmental exposure to asbestos. *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2010;20(5):478-85.
- [30] Bourdes V, Boffetta P, Pisani P. Environmental exposure to asbestos and risk of pleural mesothelioma: review and meta-analysis. *European journal of epidemiology*. 2000;16(5):411-7.

- [31] Kurumatani N, Kumagai S. Brief Review on the Range of the Affected Area by Neighborhood Exposure to Industrial Origin Asbestos. *Haigan*. 2009;49:63-8.
- [32] Kumagai S, Kurumatani N, Tsuda T, Yorifuji T, Suzuki E. Increased risk of lung cancer mortality among residents near an asbestos product manufacturing plant. *Int J Occup Environ Health*. 2010;16(3):268-78.
- [33] Kang D, Hwang Y, Choi Y, Kim SY, Kim YK. Monitoring and Simulating Environmental Asbestos Dispersion from a Textile Factory. *International journal of environmental research and public health*. 2018;15(7).
- [34] Singh R, Cherrie JW, Rao B, Asolekar SR. Assessment of the future mesothelioma disease burden from past exposure to asbestos in ship recycling yards in India. *Int J Hyg Environ Health*. 2020;225:113478.
- [35] Carbone M, Kanodia S, Chao A, Miller A, Wali A, Weissman D, *et al*. Consensus Report of the 2015 Weinman International Conference on Mesothelioma. *Journal of thoracic oncology : official publication of the International Association for the Study of Lung Cancer*. 2016;11(8):1246-62.
- [36] Pasetto R, Comba P, Marconi A. Mesothelioma associated with environmental exposures. *Med Lav*. 2005;96(4):330-7.
- [37] Howel D, Arblaster L, Swinburne L, Schweiger M, Renvoize E, Hatton P. Routes of asbestos exposure and the development of mesothelioma in an English region. *Occupational and environmental medicine*. 1997;54(6):403-9.
- [38] Magnani C, Agudo A, Gonzalez CA, Andrion A, Calleja A, Chellini E, *et al*. Multicentric study on malignant pleural mesothelioma and non-occupational exposure to asbestos. *British journal of cancer*. 2000;83(1):104-11.
- [39] Newhouse ML, Thompson H. Mesothelioma of pleura and peritoneum following exposure to asbestos in the London area. 1965. *Br J Ind Med*. 1993;50(9):769-78.
- [40] Dessandier DA, P.; Haas, D.; Roy, S.;. Evaluation de l'exposition aux fibres d'amiante des populations riveraines d'anciens sites industriels d'exploitation ou de transformation de l'amiante. Orléans : BRGM; 2001. 113 p.
- [41] C DDS. Recensement et classement des sites naturels amiantifères et des formations géologiques potentiellement amiantifères en France. BRGM/RP-53599-FR. Bureau de Recherches Géologiques et Minières; 2005. 62 p. Disponible: <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-53599-FR.pdf>
- [42] Maton PC, L; Spencer, C. Recensement et classement des sites naturels et formations géologiques potentiellement amiantifères en France - Phase 2 : Diagnostics de 20 sites. BRGM/RP-55218-FR. 2007. p. 320.
- [43] Attanoos RL, Churg A, Galateau-Salle F, Gibbs AR, Roggli VL. Malignant Mesothelioma and Its Non-Asbestos Causes. *Archives of pathology & laboratory medicine*. 2018;142(6):753-60.
- [44] Inserm. Expertise collective Inserm. Cancer et environnement. : 2008. Disponible: http://www.ipubli.inserm.fr/bitstream/handle/10608/102/Chapitre_15.html
- [45] Walpole S, Pritchard AL, Cebulla CM, Pilarski R, Stautberg M, Davidorf FH, *et al*. Comprehensive Study of the Clinical Phenotype of Germline BAP1 Variant-Carrying Families Worldwide. *Journal of the National Cancer Institute*. 2018;110(12):1328-41.
- [46] Butnor KJ, Rueckert J, Pavlisko EN, Sporn TA, Roggli VL. Malignant peritoneal mesothelioma in patients with endometriosis. *Journal of clinical pathology*. 2018;71(11):971-4.