



RAISONS DE SANTE 321 – LAUSANNE

Unisanté – Centre universitaire de médecine générale et santé publique
Département santé, travail et environnement – Secteur Académique

Évaluation des risques de l'exposition à l'amiante

Camille Crézé, David Vernez

unisanté

Centre universitaire de médecine générale
et santé publique • Lausanne

Unil

UNIL | Université de Lausanne

Le Centre universitaire de médecine générale et santé publique Unisanté regroupe, depuis le 1er janvier 2019, les compétences de la Policlinique médicale universitaire, de l'Institut universitaire de médecine sociale et préventive, de l'Institut universitaire romand de santé au travail et de Promotion Santé Vaud. Il a pour missions :

- les prestations de la première ligne de soins (en particulier l'accès aux soins et l'orientation au sein du système de santé) ;
- les prestations en lien avec les populations vulnérables ou à besoins particuliers ;
- les interventions de promotion de la santé et de prévention (I et II) ;
- les expertises et recherches sur l'organisation et le financement des systèmes de santé ;
- les activités de recherche, d'évaluation et d'enseignement universitaire en médecine générale et communautaire, en santé publique et en santé au travail.

Dans le cadre de cette dernière mission, Unisanté publie les résultats de travaux de recherche scientifique financés par des fonds de soutien à la recherche et des mandats de service en lien avec la santé publique. Il établit à cet égard différents types de rapports, au nombre desquels ceux de la collection « Raisons de santé » qui s'adressent autant à la communauté scientifique qu'à un public averti, mais sans connaissances scientifiques fines des thèmes abordés. Les mandats de service sont réalisés pour le compte d'administrations fédérales ou cantonales, ou encore d'instances non gouvernementales (associations, fondations, etc.) œuvrant dans le domaine de la santé et/ou du social.

Étude financée par :

Etat de Vaud, Direction Générale de la Santé, Office du Médecin Cantonal

Citation suggérée :

Crézé C, Vernez D. Evaluation des risques de l'exposition à l'amiante. Lausanne, Unisanté – Centre universitaire de médecine générale et santé publique, 2021 (Raisons de santé 321).

<https://doi.org/10.16908/issn.1660-7104/321>

Comité de pilotage du projet :

David Vernez (Département santé, travail et environnement (DSTE) – Unisanté), Florian Ruf (Office du Médecin Cantonal (OMC) – Direction Générale de la Santé (DGS) – Etat de Vaud), Isabelle Rossi (Office du Médecin Cantonal (OMC) – Direction Générale de la Santé (DGS) – Etat de Vaud), Olivier Duperrex (Unisanté – Département promotion de la santé et prévention (DPSP))

Remerciements :

Jacques Pralong (SwissMedPro Health Services SA), Fabien Moll-François (Institut des Humanités en Médecine (IHM) – Centre Hospitalier Universitaire Vaudois (CHUV)), Laurie Dorange-Pattoret (DSTE – Unisanté), Maude Favre (DSTE – Unisanté & Direction Générale des Immeubles et du Patrimoine (DGIP)), Nicolas Concha (Centre Universitaire Romand de Médecine Légale (CURML)), Thierry Dutoit (SEA-Lab SA), Vincent Perret (TOXpro SA), Yan Müller (Etat de Genève – Département de l'environnement, des transports et de l'agriculture – Service de l'air, du bruit et des rayonnements non ionisants (SABRA))

Date d'édition :

Juillet 2021

Table des matières

Résumé.....	8
1 Introduction	9
2 Source des expositions.....	11
2.1 Quels sont les types de fibres et les principaux matériaux amiantés qui ont été utilisés en Suisse, et pour quelles applications ?	11
2.2 Aujourd'hui, quels sont les types de fibre d'amiante et matériaux amiantés encore présents dans les bâtiments ?	14
2.3 Quels sont les matériaux faiblement et fortement agglomérés et sur quelle base repose cette distinction ? Une distinction plus fine est-elle recommandée, sur la base de l'état des connaissances scientifiques ?	17
2.4 Quel est le processus de libération des fibres d'amiante ?	19
2.5 Quel est l'état de la connaissance scientifique quant au danger pour la santé générée par les fibres courtes et les fibres « minces » ?	20
3 Evaluation du danger – Aspects de toxicologie	23
3.1 Rappel des pathologies en lien avec l'amiante	23
3.2 Quelles sont les voies d'exposition chez l'être humain ? En particulier, l'exposition par voie gastro-intestinale est-elle prouvée et pertinente ?	25
3.3 La relation entre asbestose et cancer broncho-pulmonaire est-elle causale ?	26
3.4 L'existence d'une synergie amiante-tabac est-elle prouvée ? Si c'est le cas, quel est l'impact de cette synergie sur les données épidémiologiques et les modèles dose-réponse ?	27
3.5 Certaines maladies liées à l'amiante sont-elles sans seuil ? Lesquelles, et sur la base de quelles preuves scientifiques ?	29
4 Evaluation des expositions – Populations exposées & scénarii génériques d'exposition	30
4.1 Les modèles dose-réponse ont été construits sur la base de l'exposition à l'amiante des travailleurs des années 1950-1980. Qu'en est-il d'une exposition pour la population en général, hors travailleurs ? Pour ces différentes catégories de population, quelles sont les sources potentielles d'exposition, et le niveau d'exposition estimé ?	30
4.2 La problématique des « <i>take-home exposures</i> » est-elle encore d'actualité ?	32

4.3	Quelles sont les différents scénarios d'exposition à un matériau faiblement aggloméré, et les valeurs relatives ? Par exemple, en présence d'un faux-plafond et d'un flochage amianté ?	33
4.4	Pour les différentes catégories de populations considérées, quel est le niveau d'exposition estimé ? Est-il possible de définir des scénarii génériques d'exposition, qui identifieraient la fréquence et la durée des activités potentiellement exposantes à des fibres d'amiante pour les différentes catégories de population ?	41
4.5	La distinction entre exposition à faible dose et exposition à forte dose est-elle pertinente ? Sur quelles valeurs cette distinction est-elle basée ?	47
5	Caractérisation du risque, limitations et projections	48
5.1	Quels sont les résultats de l'évaluation des risques ? Quelles sont les populations les plus à risque, et dans quels contextes ?	48
5.1.1	Exposition continue	49
5.1.2	Exposition occasionnelle, sources ponctuelles ou diffuses et répétées dans le temps	49
5.1.3	Exposition occasionnelle	49
5.2	Les bébés, les enfants et les adolescents sont-ils une population particulièrement à risque ? Pour quelles raisons ?	50
5.3	Quelle est la validité scientifique des modèles dose-réponse actuellement utilisés, en lien avec les éléments suivants : taille et forme des fibres, types d'amiante, exposition des travailleurs d'aujourd'hui, exposition non-professionnelle et para-professionnelle d'aujourd'hui, exposition des populations vulnérables et des enfants en particulier ? Quelles sont les éventuelles recommandations quant à l'utilisation d'un modèle dose-réponse pour de futures analyses de risque ?	52
5.4	L'association entre la quantité d'amiante importée et le nombre de cas déclarés de mésothéliome est-elle pertinente ? Quelles projections sont envisagées pour la suite, en tenant compte notamment de l'exposition des travailleurs depuis l'interdiction de l'amiante ?	53
5.5	Sous quelle forme et dans quelles conditions une étude pourrait-elle être entreprise en Suisse pour obtenir les informations permettant d'estimer de manière réaliste le nombre de cancers du poumon en lien avec une exposition à l'amiante ?	55
5.6	Selon l'état actuel des connaissances scientifiques, quelles sont les éventuelles recommandations quant aux valeurs réglementaires en Suisse ?	57
6	Conclusion et recommandations	60
6.1	Assurer l'application des mesures de prévention existantes sur le terrain	62
6.2	Se doter d'outils et d'une réglementation adéquats pour effectuer des diagnostics amiante proportionnés et suffisants, afin d'assurer une bonne connaissance de la population générale vis-à-vis de la présence de matériaux amiantés	63
6.3	Se donner les moyens de prévenir l'exposition de la population générale en mettant à disposition un guide des bonnes pratiques pour les activités exposantes	64

6.4	Actualiser et objectiver les valeurs seuils en vigueur en Suisse en procédant à une mise à jour du modèle du DECOS pour le contexte national, notamment en distinguant les types de fibres d'amiante	64
7	Références	66
8	Annexes	72
8.1	Liste des questions évaluatives de la DGS	72
8.1.1	Objectif 1 : Identifier l'état actuel des connaissances scientifiques sur l'évaluation des risques d'une exposition à l'amiante	72
8.1.2	Objectif 2 : Caractériser le risque de l'exposition à l'amiante pour les différentes catégories de population	73
8.2	Statistiques de la consommation d'amiante en Suisse	75
8.3	Annexe au chapitre 4 – 4C	80

Liste des tableaux

Tableau 1	Répartition des échantillons analysés dans trois laboratoires suisses accrédités selon le type de matériau et le type d'amiante	16
Tableau 2	Proposition de catégorisation d'agglomération des matériaux amiantés du bâtiment	18
Tableau 3	Installation ou entretien de systèmes de ventilation	35
Tableau 4	Interventions générales, non-spécifiées	35
Tableau 5	Intervention sur ou à proximité directe du matériau amianté – Electricité et plomberie	36
Tableau 6	Intervention sur ou à proximité directe du matériau amianté – Systèmes de ventilation	38
Tableau 7	Intervention sur ou à proximité directe du matériau amianté – Nettoyage et peinture	38
Tableau 8	Intervention sur ou à proximité directe du matériau amianté – Charpenterie et aménagement de locaux	39
Tableau 9	Intervention sur ou à proximité directe du matériau amianté – Général, non-spécifié	40
Tableau 10	Scénarii génériques d'exposition à l'amiante en Suisse – Cadre professionnel	42
Tableau 11	Scénarii génériques d'exposition à l'amiante en Suisse – Cadre ménager (« <i>household exposure</i> »)	44
Tableau 12	Scénarii génériques d'exposition à l'amiante en Suisse – Cadres para-professionnel (domestique) et environnemental	46
Tableau 13	Valeurs seuils (limites) actuelles en Suisse et valeurs seuils recommandées par le rapport du DECOS (2)	58
Tableau 14	Tableau synthétique du risque et des mesures de protection en vigueur	61
Tableau 15	Statistiques d'importations et d'exportations suisses d'amiante brut et de produits amiantés et proportion de l'amiante dans ces produits pour l'année 1986	78
Tableau 16	Principaux pays importateurs (compte tenu des exportations) d'amiante brut et de produits amiantés pour la Suisse, pour l'année 1986	79
Tableau 17	Installation, mise en place du matériau amianté- Dalles de plafond	81
Tableau 18	Installation, mise en place du matériau amianté - Flocage	81
Tableau 19	Traitement du matériau amianté	82
Tableau 20	Déflocage – A sec, sans aspiration	83
Tableau 21	Déflocage – Avec humidification, sans aspiration	83
Tableau 22	Déflocage – Avec aspiration	84
Tableau 23	Déflocage – Conditions non-spécifiées	85

Liste des figures

Figure 1	Classification des groupes de populations concernées par une exposition à l'amiante selon leur exposition potentielle et le risque associé	48
Figure 2	Importations d'amiante en Suisse, évolution de l'exposition moyenne par personne à des fibres d'amiante, cas de mésothéliomes observés et estimation des cas de mésothéliomes à venir. Modèle initial de 2015 (4)	54
Figure 3	Importations d'amiante en Suisse, évolution de l'exposition moyenne par personne à des fibres d'amiante, cas de mésothéliomes observés et estimation des cas de mésothéliomes à venir. Modèle prévisionnel révisé de 2020 (121)	55
Figure 4	Importations suisses d'amiante brut et de divers produits contenant de l'amiante pour les années 1973 à 1989, en milliers de tonnes par année (a-d) et en tonnes par année (e-f)	76
Figure 5	Statistiques d'importations et d'exportations suisses d'amiante brut et de produits amiantés et proportion de l'amiante dans ces produits pour l'année 1986	77

Résumé

L'amiante est une roche fibreuse utilisée massivement au XX^e siècle en tant que matériau ignifuge, résistant et isolant dans de nombreux procédés industriels, qui est responsable du développement de maladies graves et mortelles telles que des cancers de la plèvre et du poumon. Ses applications extrêmement variées l'ont conduit à être incorporé à d'innombrables matériaux de construction et installations de génie civil – une présence encore fortement d'actualité aujourd'hui malgré son interdiction d'utilisation en 1989 pour la Suisse. Outre la protection des travailleurs, il s'agit aujourd'hui de poser la question de l'évaluation du risque d'exposition à l'amiante pour la population générale, dans une perspective de santé publique. Ce rapport a pour buts d'établir l'état des lieux des connaissances scientifiques actuelles sur le risque d'exposition à l'amiante, et de caractériser ce risque pour différentes catégories de la population.

La problématique du risque est particulièrement préoccupante pour les professionnels du bâtiment, mais aussi pour les bricoleurs assidus, non-avertis de la présence d'amiante dans les locaux concernés. Par ailleurs, les bébés, enfants et jeunes méritent une attention particulière en raison du facteur important de l'âge lors de la première exposition à l'amiante pour l'établissement du niveau de risque, malgré le manque de données sur le danger toxicologique propre à cette population. Dans les cadres para-professionnel, domestique et environnemental, une catégorisation du niveau de risque est envisagée de manière qualitative uniquement, en raison du manque actuel important de données sur l'exposition hors cadre professionnel. Enfin, on remarquera également les limitations actuelles des modèles dose-réponse et des valeurs réglementaires en vigueur en Suisse, insuffisamment protectrices pour les travailleurs ainsi que pour la population générale.

Face à ces conclusions, le présent rapport émet quatre recommandations visant à combler le manque de protection face à l'exposition aux fibres d'amiante, ainsi qu'à actualiser les valeurs limites en vigueur dans notre pays. Il s'agit 1) de s'assurer de l'application des mesures de prévention existantes sur le terrain, 2) de se doter d'outils et réglementation adéquats pour effectuer des diagnostics amiante proportionnés et suffisants, afin d'assurer une bonne connaissance de la population générale vis-à-vis de la présence de matériaux amiantés (notamment les diagnostics en usage normal des bâtiments fréquentés par la population générale), 3) de se donner les moyens de prévenir l'exposition de la population générale, notamment des bricoleurs, en mettant à disposition un guide des bonnes pratiques pour encadrer les activités exposantes de manière appropriée, et 3) d'actualiser et objectiver les valeurs seuils en vigueur en Suisse en procédant à une mise à jour du modèle du Dutch Expert Committee for Occupational Safety (DECOS) pour le contexte national, notamment en distinguant les types de fibres d'amiante, afin d'obtenir des valeurs protégeant de manière adéquate la population exposée à l'amiante.

1 Introduction

L'amiante est le nom générique d'un groupe de minéraux inorganiques et naturels à texture fibreuse. On distingue deux formes principales d'amiante : l'amiante serpentine (dont le seul sous-groupe est le chrysotile) et l'amiante amphibole (dont les sous-groupes de fibres sont le crocidolite, l'amosite, le trémolite, l'actinolite et l'anthophyllite). En Suisse tout comme à l'international, l'amiante a connu l'apogée de son utilisation dans les années 1950 – 1970. L'amiante était particulièrement apprécié pour ses propriétés ignifuges, sa résistance physique et chimique, ses pouvoirs isolants et sa flexibilité, et a donc été incorporé à de nombreux matériaux. Encore aujourd'hui, on retrouve ainsi en Suisse un vaste panel de matériaux de construction et de génie civil contenant de l'amiante, mis en place avant l'interdiction en 1989 d'utilisation et d'importation de ce matériau.

L'exposition à l'amiante engendre de nombreux effets toxiques amenant au développement de différentes pathologies graves et mortelles, telles que des cancers de la plèvre et du poumon. L'une des grandes difficultés dans la gestion de ces pathologies réside dans le fait que toutes ont un temps de latence extrêmement long, estimé entre 20 et 40 ans ou plus, entre l'exposition et les signes cliniques de la maladie.

Les modèles dose-réponse pour le calcul du risque lié à l'exposition à l'amiante ont été construits sur les « travailleurs de l'amiante », exposés à des centaines de fibres par année en raison des activités d'usinage et d'installation des produits amiantés, avant l'interdiction de 1989. Malgré la présence ubiquitaire de l'amiante à ce jour, ces expositions passées ne sont pas représentatives des expositions professionnelles actuelles (activités post-interdiction de l'amiante) ainsi que des éventuelles expositions para-professionnelles, domestiques et environnementales de la population générale. Dès lors, la représentativité de ces modèles dose-réponse pour les expositions chroniques ou variables, à plus faible dose, est remise en question, malgré l'accumulation des connaissances scientifiques et médicales sur les effets de l'amiante sur la santé.

Ce rapport a donc pour but d'identifier et expliquer les connaissances scientifiques sur le risque actuel d'exposition à l'amiante, afin d'aider aux décisions et à la communication de l'Office du médecin cantonal (OMC) de la Direction Générale de la Santé (DGS) de l'Etat de Vaud dans le cadre de son projet de stratégie cantonale amiante. Ce rapport est basé sur la liste des questions évaluatives fournies par la DGS, et dont les objectifs sont les suivants :

- **Objectif 1** : Identifier l'état actuel des connaissances scientifiques sur l'évaluation des risques d'une exposition à l'amiante
- **Objectif 2** : Caractériser le risque de l'exposition à l'amiante pour les différentes catégories de population

Ce rapport est structuré selon ces deux objectifs, ainsi qu'en suivant l'équation « **danger x exposition = risque** » :

- Sources des expositions (chapitre 2)
- Evaluation du danger – Aspects de toxicologie (chapitre 3)
- Evaluation des expositions – Populations exposées & scénarii génériques d'exposition (chapitre 4)
- Caractérisation du risque, limitations et projections (chapitre 5)

Une conclusion reprenant les points principaux de l'analyse de l'exposition, du risque, ainsi que les recommandations principales pour le projet de stratégie cantonale amiante est disponible au chapitre 6, à la fin du présent rapport.

Les annexes (chapitre 8) regroupent notamment la liste des questions évaluatives fournies par la DGS, ainsi que les données statistiques disponibles illustrant la consommation d'amiante en Suisse.

2 Source des expositions

Ce chapitre traite des sources d'amiante engendrant une potentielle exposition à l'heure actuelle, en abordant des questions relatives aux types de matériaux amiantés, aux types et à la morphologie des fibres, aux caractéristiques d'agglomération des matériaux, ainsi qu'aux processus de libération des fibres d'amiante.

2.1 Quels sont les types de fibres et les principaux matériaux amiantés qui ont été utilisés en Suisse, et pour quelles applications ?

L'amiante est le nom générique d'un groupe de minéraux inorganiques et naturels à texture fibreuse. Toutes les fibres d'amiante contiennent de la silice et des métaux (magnésium, calcium, fer, manganèse). On distingue deux formes principales d'amiante : l'amiante serpentine (dont le seul sous-groupe est le chrysotile, aussi appelé 'amiante blanc') et l'amiante amphibole (dont les sous-groupes de fibres sont le crocidolite ('amiante bleu'), l'amosite ('amiante brun'), le trémolite, l'actinote et l'anthophyllite). La longueur et la forme des fibres d'amiante varient considérablement d'une famille à l'autre et influencent leurs propriétés physico-chimiques – par exemple sa force, sa flexibilité, son point de fusion ou sa masse spécifique (1, 2). Ces propriétés physico-chimiques déterminent à leur tour les applications industrielles des différents types d'amiante : isolation thermique et électrique, matériau ignifuge, production de ciments, de résines ou de textiles, etc.

En Suisse tout comme à l'international, l'amiante a connu l'apogée de son utilisation dans les années 1950 – 1970 (3) (cf. Annexe 8.2). L'amiante était particulièrement apprécié pour ses propriétés ignifuges, sa résistance physique et chimique (résistance aux tractions et aux acides), ses pouvoirs isolants et sa flexibilité, et a donc été incorporé à de nombreux matériaux pour augmenter les propriétés désirées. On retrouve ainsi un vaste panel de matériaux de construction et de génie civil ayant été utilisés en Suisse dans leur forme contenant de l'amiante (liste non-exhaustive ; (4, 5)) :

- Utilisation d'amiante-ciment (fibrociment) pour sa résistance physico-chimique – la majorité de l'amiante-ciment était fabriquée par les usines du groupe mondial Eternit SA, dont les usines en Suisse étaient situées à Niederurnen et Payerne. L'amiante-ciment a permis la construction de nombreux objets divers tels que des ardoises de façade, des bacs à fleurs, des plaques ondulées ainsi qu'un grand nombre de conduits de ventilation et canalisations d'eau (travaux publics). D'après les informations données par le groupe Eternit SA, cela représenterait plus de 3'000 produits différents. Il est à noter que contrairement à d'autres matériaux dans lesquels la présence d'amiante n'est pas garantie, le fibrociment contient systématiquement de l'amiante pour toute construction antérieure à l'interdiction (voire jusqu'à 1994-1995 pour certains éléments, notamment de génie civil) ;

- Flochage amianté de conduites et de matériaux pour l'isolation thermique et acoustique et en tant que protection contre les incendies, notamment sur les éléments en acier et autres métaux, sur les briques ou le béton. L'utilisation de l'amiante floqué est très ancienne, et pourrait remonter aux années 1940 en Suisse. Il s'agit des produits contenant parmi les plus hauts taux d'amiante – entre 25 et 90%. Comme ce matériau est faiblement aggloméré (cf. Chapitre 2 – 2C), il a dès lors tendance à relâcher des quantités de fibres d'amiante significatives dans l'environnement – rendant difficile le respect des valeurs limites d'exposition lors de l'installation – son utilisation a diminué dès les années 1970, malgré l'absence d'interdiction à ce moment-là. En sus de l'amiante floqué, il est possible que certaines conduites soient enduites de mortier à base d'amiante (également faiblement aggloméré et contenant généralement de l'amosite, représentant une concentration de 1 à 20% du mortier) ;
- Utilisation de cartons amiantés, également appelés « panneaux légers » ou « plaques Pical », par contraste avec la rigidité du fibrociment, dans les installations électriques (prises, interrupteurs, armoires à fusibles) ou en tant que matériau anti-incendie dans les conduites d'échappement, clapets coupe-feu, etc. Ces matériaux souples contenaient généralement entre 40 et 60% d'amiante serpentine (chrysotile) ou amphibole-amosite;
- Utilisation de faux-plafonds (ou murs) en plaques amiantées. Ces plaques contiennent de faibles quantités d'amiante (1 – 3%, le plus souvent de l'amphibole-amosite), mais sont particulièrement préoccupantes en raison de leur caractéristique de matériau faiblement aggloméré (cf. Chapitre 2 – 2C) ;
- Incorporation d'amiante dans certains revêtements de sol monocouches en bandes (par exemple le linoléum) ou en dalles-vinyle. Leur teneur en amiante est généralement située entre 0.01 et 15%. Il est important de noter que les revêtements multicouches, eux, contiennent généralement des matériaux amiantés faiblement agglomérés, étant plus sujets à la libération de fibres d'amiante lors de très faibles actions mécaniques (cf. Chapitre 2 – 2C). Leur concentration en amiante est également plus élevée (40 à 80%, généralement de l'amiante serpentine (chrysotile)) ;
- Incorporation d'amiante dans les enduits et les crépis (de fond et de finition) en tant qu'adjuvants. Cela concernerait 20 à 30% de ces matériaux dans les bâtiments construits avant 1990, et consiste majoritairement en amiante serpentine (chrysotile) et amphibole-anthophyllite (plus rarement de l'amphibole-trémolite) ;
- Utilisation d'amiante dans les joints d'étanchéité (joints de bride) pour les vannes et installations de chauffage – parfois même après l'interdiction de l'amiante en raison de l'utilisation d'importants stocks de réserve. Il s'agit généralement d'amiante serpentine (chrysotile) ;
- Incorporation d'amiante dans d'autres types de colles, de mastics ou d'enduits de plâtre amianté servant à l'isolation des cadres de portes et autres angles comme les marches d'escalier. La masse de ces matériaux produits entre 1970 et 1980 contiendrait entre 1 et 10% d'amiante de type chrysotile. Pour les colles murales (faïence) ou de carrelage en particulier, l'occurrence de la présence d'amiante (chrysotile) atteint 25-30%, même si la masse d'amiante elle-même est généralement inférieure à 1% du matériau. La

répartition des fibres d'amiante dans le mélange peut être homogène ou hétérogène, selon si l'amiante a été incorporé lors de la fabrication industrielle du produit, ou ajouté dans le mélange juste avant utilisation ;

- Utilisation de mousses (40 à 60% d'amiante serpentine (chrysotile)), tissus ou coussins amiantés en tant que cloisons ou enrobages pare-feu ;
- Utilisation d'amiante dans les colles synthétiques pour l'étanchéité chimique et thermique, notamment lors de pose de parquets, de moquettes ou d'autres revêtements de sol dans l'industrie de la construction et du montage ;
- Utilisation d'amiante dans différents types de produits bitumeux ou goudronneux tels que des peintures utilisées pour l'étanchéité des toitures ou des joints de dilatation incrustés entre deux dalles d'un sol en béton ;
- Utilisation plus rare dans certaines laques et peintures, et certaines chapes destinées à aplanir des sols, notamment en bois-ciment ou en résine synthétique, en tant qu'adjuvant (données actuelles très éparses) ;
- Certains produits amiantés ont également pu être incorporés dans des appareils ou installations tels que des ascenseurs, fours et poêles, coffres forts, plaquettes de freins et d'embrayage et revêtements d'insonorisation, tant les propriétés physiques et chimiques de l'amiante étaient intéressantes d'un point de vue industriel. Cela est également le cas de certains objets en bakélite (plastique thermodurcissable) utilisé notamment dans les compteurs électriques de nombreux bâtiments ;
- Certaines pierres naturelles comme la serpentinite, qui contient de l'amiante chrysotile, ou les pierres ollaires (stéatite, contenant du talc et pouvant contenir de l'amiante amphibole), ont été utilisées pour la production d'objets de marbrerie comme des poêles à bois ou des plans de travail pour cuisine, ou pour des monuments et parties de bâtiments de prestiges (églises, tribunaux, etc.), notamment pour leurs propriétés esthétiques (6, 7).

En Suisse, la production, la vente et l'utilisation d'amiante sont interdites depuis le 1^{er} mars 1989 (mise en œuvre progressive jusqu'en 1994, notamment pour les infrastructures du génie civil), et les taux de consommation d'amiante ont chuté au début des années 1990. On peut donc supposer que pour tous les matériaux listés ci-dessus, leur version actuelle est une alternative ne contenant plus d'amiante^a, quel que soit le type (5).

^a A l'exception de certaines dérogations, dont celle introduite au 1er juin 2019 par l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) dans l'Ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques (ORRChim), qui permet aux bénéficiaires d'utiliser des matériaux amiantés (pour autant qu'une solution de substitution ne soit pas envisageable) pour réparer des objets et monuments en pierres naturelles.

2.2 Aujourd'hui, quels sont les types de fibre d'amiante et matériaux amiantés encore présents dans les bâtiments ?

Les données utilisées pour répondre à cette question sont celles des laboratoires SGS LabTox SA, Safety and Environmental Analysis SA (SEA-Lab SA), ainsi que du laboratoire du Centre Universitaire Romand de Médecine Légale (CURML ; ex-Institut Universitaire Romand de Santé au Travail (IST)), basés en Suisse et accrédités pour l'examen d'échantillons dans le cadre des diagnostics 'amiante' effectués par les spécialistes en polluants du bâtiment. Ces analyses du contenu en amiante des matériaux prélevés ont été effectuées par microscopie électronique (SEA-Lab SA et CURML), ou par microscopie optique et/ou électronique (SGS LabTox SA). Les périodes concernées ainsi que le pourcentage d'échantillons amiantés relativement au nombre total d'échantillons analysé sont les suivants :

- *SGS LabTox SA* : échantillons analysés en une année (2018) – 25.0% d'échantillons amiantés au total
- *SEA-Lab SA* : échantillons analysés en 16 mois (juillet 2019 à octobre 2020) – 19.3% d'échantillons amiantés au total
- *CURML (ex-IST)* : échantillons analysés en 2.5 ans (août 2014 à mars 2017) – 33.8% d'échantillons amiantés au total

Dans le tableau 1 ci-dessous, les matériaux analysés sont regroupés par catégorie d'agglomération (cf. Chapitre 2 – 2C). Le nombre d'échantillons amiantés est renseigné par type de matériau, ainsi que par type d'amiante détecté lors des analyses de laboratoire. Pour chaque résultat en valeur absolue, les valeurs relatives (pourcentages) sont indiquées par rapport au type de matériau, et par rapport au type d'amiante. Des exemples de lecture sont donnés en bas de tableau.

Les échantillons les plus fréquemment analysés sont les colles de carrelage, les crépis, les revêtements de sol, ainsi que les mastics. Il est intéressant de noter que le choix des échantillons prélevés sur le terrain dépend de l'expertise des diagnostiqueurs^b ; dès lors, les nombres d'échantillons analysés indiqués dans le tableau 1 ci-dessous ne reflètent pas forcément la fréquence d'occurrence d'un matériau donné sur le terrain, mais plutôt la fréquence à laquelle il est jugé comme étant potentiellement amianté et devant donc être soumis à analyse.

Les matériaux analysés présentant le plus fréquemment un diagnostic amiante positif (présence d'amiante détectée) sont les éléments en fibrociment, les mastics, les cartons, ainsi que les tresses. Les matériaux de friabilité intermédiaire (crépis, plâtres) ainsi que les faux-plafonds montrent un diagnostic amiante positif dans moins de 10% des cas analysés.

Le chrysotile est de loin le type d'amiante le plus répandu, puisque sa présence est détectée dans 92% des échantillons amiantés. Les formes amphiboles sont moins répandues – on détecte de

^b Par exemple, un diagnostiqueur qui juge, par examen visuel, que la date de fabrication / installation d'élément en fibrociment est antérieure à 1989, le classifiera d'office comme étant amianté, sans prélever d'échantillon dans le but d'effectuer une analyse.

l'anthophyllite dans 3.6% des échantillons amiantés, de l'amosite dans 1.5% des échantillons amiantés, du trémolite dans 1% des échantillons amiantés, et du crocidolite dans 0.1% des échantillons amiantés. Sur les plus de 160'000 échantillons analysés au total des trois laboratoires, la présence d'actinolite n'a pas été détectée. Il est cependant intéressant de constater que parmi les formes amphiboles de l'amiante, la présence d'amosite est relativement fréquente dans les matériaux amiantés faiblement agglomérés et de friabilité intermédiaire (cf. Chapitre 2 – 2C).

Tableau 1 Répartition des échantillons analysés dans trois laboratoires suisses accrédités selon le type de matériau et le type d'amiante

Type de matériau *	Nombre d'échantillons	Nombre d'échantillons amiantés **	Nombre d'échantillons par type d'amiante ***					
			Chrysotile	Amosite	Actinolite	Anthophyllite	Crocidolite	Trémolite
FO-Colle de carrelage	53720 (33.4%)	13477 (25.1% ; 36.2%)	4636 (99.1% ; 44.2%)	10 (0.2% ; 5.7%)	0 (0% ; 0%)	22 (0.5% ; 5.4%)	5 (0.1% ; 62.5%)	23 (0.5% ; 19.3%)
FO-Bitume	3186 (2.0%)	766 (24.0% ; 2.1%)	361 (94.5% ; 3.4%)	6 (1.6% ; 3.4%)	0 (0% ; 0%)	16 (4.2% ; 4.0%)	0 (0% ; 0%)	4 (1.0% ; 3.4%)
FO-Fibrociment	1825 (1.1%)	1259 (69% ; 3.4%)	344 (98.6% ; 94.5%)	20 (5.7% ; 11.4%)	0 (0% ; 0%)	1 (0.3% ; 0.2%)	1 (0.3% ; 12.5%)	0 (0% ; 0%)
FO-Mastic	9256 (5.7%)	4881 (52.7% ; 13.1%)	1152 (94,4% ; 11.0%)	1 (0.1% ; 0.6%)	0 (0% ; 0%)	72 (5.9% ; 17.8%)	0 (0% ; 0%)	4 (0.3% ; 3.4%)
FO-Revêtement de sol	16949 (10.5%)	3652 (21.5% ; 9.8%)	999 (90.5% ; 9.5%)	5 (0.5% ; 2.8%)	0 (0% ; 0%)	80 (7.2% ; 19.8%)	1 (0.1% ; 12.5%)	22 (2.0% ; 18.5%)
IN-Crépi	26993 (16.8%)	2186 (8.1% ; 5.9%)	625 (77.5% ; 6.0%)	7 (0.9% ; 4.0%)	0 (0% ; 0%)	135 (16.7% ; 33.3%)	0 (0% ; 0%)	54 (6.7% ; 45.4%)
IN-Plâtre	602 (0.4%)	57 (9.5% ; 0.2%)	22 (38.6% ; 0.2%)	28 (49.1% ; 15.9%)	0 (0% ; 0%)	5 (8.8% ; 1.2%)	0 (0% ; 0%)	3 (5.3% ; 2.5%)
FA-Carton	262 (0.2%)	107 (40.8% ; 0.3%)	105 (98.1% ; 1.0%)	35 (32.7% ; 19.9%)	0 (0% ; 0%)	1 (0.9% ; 0.2%)	1 (0.9% ; 12.5%)	0 (0% ; 0%)
FA-Faux plafond	2975 (1.8%)	215 (7.2% ; 0.6%)	16 (42.1% ; 0.2%)	24 (63.2% ; 13.6%)	0 (0% ; 0%)	0 (0% ; 0%)	0 (0% ; 0%)	3 (7.9% ; 2.5%)
FA-Tresse	222 (0.1%)	78 (35.1% ; 0.2%)	7 (87.5% ; 0.1%)	1 (12.5% ; 0.6%)	0 (0% ; 0%)	0 (0% ; 0%)	N/A	0 (0% ; 0%)
Autres	45026 (28.0%)	10570 (23.5% ; 28.4%)	2228 (83.9% ; 21.2%)	39 (1.5% ; 22.2%)	3 (0.1% ; 100%)	73 (2.7% ; 18.0%)	0 (0% ; 0%)	6 (0.2% ; 5.0%)
TOTAL	161016 (100%)	37248 (23.1% ; 100%)	10495 (92.0% ; 100%)	176 (1.5% ; 100%)	3 (0.0% ; 100%)	405 (3.6% ; 100%)	8 (0.1% ; 100%)	119 (1.0% ; 100%)

* FO : matériau fortement aggloméré. IN : matériau de catégorie d'agglomération intermédiaire (cf. Chapitre 2 – 2C). FA : matériau faiblement aggloméré.

** Données combinées des laboratoires SGS LabTox AG, SEA-Lab SA et ex-IST (CURML). Le premier pourcentage est rapporté au nombre d'échantillons par type de matériau (« 25.1% des colles de carrelage sont amiantées ») ; le deuxième pourcentage est rapporté au nombre d'échantillons amiantés (« 36.2% des échantillons amiantés sont des colles de carrelage »).

*** Données combinées des laboratoires SEA-Lab SA et ex-IST (CURML). Le premier pourcentage est rapporté au nombre d'échantillons amiantés par type de matériau (« 99.1% des colles de carrelage amiantées contiennent du chrysotile ») ; le deuxième pourcentage est rapporté au nombre d'échantillons amiantés par type d'amiante détecté (« 44.2% des échantillons contenant du chrysotile sont des colles de carrelage »). N/A : non-attribué.

2.3 Quels sont les matériaux faiblement et fortement agglomérés et sur quelle base repose cette distinction ? Une distinction plus fine est-elle recommandée, sur la base de l'état des connaissances scientifiques ?

Par nature, l'amiante est une roche fibreuse cassante, en particulier la forme serpentine (chrysotile), et a donc tendance à libérer de la matière sous formes de fibres extrêmement fines (8). Lors de sa commercialisation, l'amiante est introduit dans différents types de matériaux, appelés alors 'MCA' pour 'matériaux contenant de l'amiante' ; parmi ceux-ci, les matériaux faiblement agglomérés (masse volumique égale ou inférieure à 1000 kg/m³ ; (9)) sont des matériaux friables et ont tendance à s'effriter et à libérer de la matière dans l'environnement sous l'influence de sollicitations mécaniques mêmes mineures, telles qu'un courant d'air. Les matériaux friables contenant de l'amiante sont typiquement les plaques de faux-plafond, ou les surcouches d'isolation thermique ou aux propriétés ignifuges projetées sur des matériaux existants (flocage) (10). Outre l'exposition professionnelle, ces matériaux faiblement agglomérés posent un problème de santé publique, car ils peuvent libérer des fibres même sans manipulation du matériau à proprement parler (5, 11) (cf. Chapitre 2 – 2D). Dans l'environnement construit, l'amiante est néanmoins souvent incorporé dans d'autres matériaux-matrices fortement agglomérés. Un matériau fortement aggloméré est un matériau compact et non-friable d'une masse volumique égale ou supérieure à 1400 kg/m³ (9), qui ne libérera pas de matière dans l'environnement à moins d'être manipulé ou soumis à un certain travail (perçage, démolition, etc.), tels que des colles synthétiques, mastics, revêtements de toiture ou de manière générale tout produit en amiante-ciment (5, 12).^c

La détermination de la composition du matériau, c'est-à-dire la distinction entre un matériau faiblement et fortement aggloméré contenant de l'amiante, se fait donc sur la base du matériau 'matrice' auquel l'amiante est incorporé, et sa probabilité de relâcher des fibres d'amiante dans l'environnement. Le référentiel chiffré basé sur la masse volumique est le seul existant à ce jour utilisé par les experts de terrain accrédités pour les diagnostics amiante en bâtiment. Ce référentiel possède une zone d'ombre – entre 1000 et 1400 kg/m³ – pour laquelle l'appréciation du matériau 'matrice' est laissée au diagnostiqueur.^d

Une distinction plus fine, par l'ajout d'une catégorie intermédiaire « agglomération moyenne à faible », pourrait être recommandée pour les matériaux de friabilité intermédiaire, tels que décrits dans le tableau 2 suivant :

^c Les matériaux fortement agglomérés contenant de l'amiante peuvent encore être subdivisés en deux catégories, basées sur le type de matériau – la catégorie I comprend les emballages, les joints ainsi que les revêtements de sol et de toiture, tandis que la catégorie II comprend la tuyauterie en amiante-ciment (12). Cette sous-catégorisation des matériaux fortement agglomérés est en vigueur aux Etats-Unis, mais n'est pas utilisée par les diagnostiqueurs de notre pays. En Suisse, la typologie du matériau par les experts de terrain accrédités pour les diagnostics amiante se fait principalement sur la base des informations disponibles sur la plateforme Polludoc (5).

^d Il est à noter que cela peut engendrer des incohérences de classifications des MCA entre les diagnostiqueurs, relevées notamment dans les travaux de Vincent Perret (TOXpro SA, 2018 ; (13)).

Tableau 2 Proposition de catégorisation d'agglomération des matériaux amiantés du bâtiment

Catégories	Score	Commentaire	Exemples
Faiblement aggloméré	3	Une très faible action mécanique peut suffire à provoquer une importante libération de fibres d'amiante.	Flocages Cordes Tresses Cartons Faux-plafonds (plaques) Calorifuges plâtres
Intermédiaire - Agglomération moyenne à faible	2	Matériaux crépis, plâtres.	Crépis Plâtres
Fortement aggloméré	1	Seule une action mécanique peut provoquer une importante libération de fibres.	Fibrociments Caoutchoucs Résines, bitumes Dallettes de sols Résines Sols coulés Peintures

Source : Office des Bâtiments – Amiante, Diagnostics Usage Normal (UN), Critères de sélection des matériaux à prélever & Interprétation des critères d'urgence selon FACH, Version 2.2, 04.09.2018, Vincent Perret TOXpro SA, Suisse (13).

Il est à noter que les matériaux de cette catégorie intermédiaire peuvent avoir tendance à se dégrader plus facilement que les autres matériaux fortement agglomérés. Dès lors, cette distinction plus fine ou re-catégorisation du matériau est également à considérer en regard de l'état de vieillissement ou dégradation de celui-ci (10), notamment lorsque ce défaut possède le potentiel d'impacter la libération des fibres d'amiante. C'est le cas par exemple de certains matériaux comme les crépis d'insonorisation, ou le fibrociment en intérieur, qui pourraient passer de la catégorie « fortement » à « faiblement aggloméré », ou être attribués à la catégorie « intermédiaire », en cas d'endommagement par action mécanique fréquente sur le matériau, en particulier pour certains revêtements de sol (5).

Enfin, l'évaluation d'un matériau contenant de l'amiante par un diagnostiqueur combine les aspects de composition du matériau avec son état (éventuelle dégradation), mais se base également sur d'autres critères déterminant le risque de contact avec le matériau amianté, tels que son accessibilité (emplacement) et la fréquentation des locaux contenant le matériau en question, pour finalement définir le degré global d'urgence du désamiantage ('méthode FACH' ; (9)).

2.4 Quel est le processus de libération des fibres d'amiante ?

On entend par « libération des fibres d'amiante » leur relargage du matériau primaire contenant de l'amiante, et dès lors la libération des fibres, individuelles ou agglomérées, dans l'environnement (air, eau, sol, etc.). Malgré l'interdiction d'utilisation des produits amiantés dans de nombreux pays, la quantité de matériaux amiantés encore présents dans l'environnement (construit) est encore estimée à plusieurs millions de tonnes (14). Selon leurs caractéristiques et leur état, ces matériaux peuvent encore causer de nombreux effets néfastes à la population en relâchant des fibres selon différents processus. Une fois libérées d'un matériau amianté, les fibres d'amiante peuvent rester suspendues dans l'air (pour les fibres les plus fines). Elles sont ainsi facilement transportables par le vent (en extérieur), ou tout autre mouvement d'air créé par l'humain en intérieur (mouvements de foule, actes tels qu'une ouverture de porte ou fenêtre, utilisation d'appareils, etc.). Ces fibres suspendues dans l'air peuvent également tomber sur le revêtement de sol intérieur, ou être déposées à même le sol en extérieur et ainsi entrer dans les couches de sédiment via une déposition en milieu aqueux. A l'exception des fibres de chrysotile qui peuvent être légèrement altérées dans leur composition chimique en milieu acide (dissolution du magnésium des couches externes), l'amiante en général ne se désagrège que peu en milieu naturel du point de vue chimique, et les fibres restent donc intactes pendant de nombreuses années (8). D'un point de vue physique, l'amiante peut par contre être séparé en nombreuses fibres individuelles, plus propices à rester en suspension dans l'air de par leur faible poids gravitationnel.

En milieu naturel, la libération de fibres d'amiante dans l'air ou dans l'eau provient de l'érosion des roches contenant naturellement de l'amiante.

Dans l'environnement construit, un relargage de fibres d'amiante dans l'environnement peut avoir lieu lors de tous travaux effectués sur un matériau amianté, tels que le ponçage, meulage, perçage, fraisage, etc. Ce phénomène a bien entendu concerné les « travailleurs de l'amiante » jusqu'à l'interdiction de l'utilisation de l'amiante au début des années 90 – cependant, ce processus de libération des fibres d'amiante est encore d'actualité aujourd'hui également pour toutes les expositions professionnelles liées à l'amiante (travaux de rénovation et de démolition, travaux de désamiantage) (14, 15), ou les expositions de la population générale lors de travaux domestiques effectués dans le cadre privé par des bricoleurs non-professionnels (3). Plusieurs travaux de désamiantage ou de réparation sur des matériaux amiantés ont fait l'objet de simulations ou de mesures en conditions réelles pour attester des conditions de travail des ouvriers (15-18). Toutes les activités actuelles pouvant donner lieu à une exposition à l'amiante en raison de la présence de matériaux amiantés requièrent des mesures de protection adaptées, comme le retrait des matériaux amiantés faiblement et fortement agglomérés en zone confinée avant une opération de rénovation ou de démolition de bâtiment ou d'objets. Le fait de mouiller la zone de chantier à l'eau permet d'éviter le plus possible la création d'aérosols et le relargage de fibres dans les poussières respirables lors du retrait d'un matériau amianté (5, 19, 20).

Outre une éventuelle exposition lors de travaux, que ceux-ci soient d'origine professionnelle ou effectués dans le cadre privé, l'exposition à l'amiante peut également avoir lieu lors de sollicitations mécaniques involontaires et faibles, c'est-à-dire une libération de fibres sans qu'il y ait eu d'action

intentionnelle sur ou à proximité du matériau amianté en question. Ceci est particulièrement le cas des matériaux faiblement agglomérés (cf. Chapitre 2 – 2C), capables de libérer des fibres sous l'influence de mouvements d'air ou autres turbulences mineures, comme c'est par exemple le cas pour les faux-plafonds.

La présence d'amiante dans l'environnement construit (conduites, bâtiments, etc.) pose également problème lors de catastrophes naturelles telles que des ouragans ou tremblements de terre, ou causées par l'homme, comme des attentats. Un relargage de fibres d'amiante dans l'air a notamment été mesuré suite à la démolition des tours jumelles le 11 septembre 2001 à New York (21), et la gestion des déchets amiantés de bâtiments démolis a posé problème aux Etats-Unis suite à l'ouragan Katrina en 2005 (22).

Dans les décharges habilitées à traiter les matériaux amiantés, les déchets contenant de l'amiante posent encore problème et peuvent relâcher des fibres dans l'air, le sol ou les eaux souterraines par l'érosion et les actions mécaniques du vent ou de l'eau à l'endroit où ils sont entreposés, particulièrement pour les matériaux faiblement agglomérés et en cas de couverture insuffisante ou altérée de ces dépôts (8, 23, 24).

Enfin, un relargage de fibres d'amiante dans l'environnement peut également avoir lieu suite au vieillissement et/ou à la dégradation d'un matériau contenant de l'amiante, et est dès lors à prendre en compte en particulier pour l'exposition de la population générale. Deux études récentes ont par exemple souligné l'augmentation de la friabilité de l'amiante-ciment dans les toits en tôle ondulée par l'action continue de l'eau, et le risque de relargage de fibres d'amiante suite à la dégradation de ce matériau (25, 26). Ce processus de libération des fibres d'amiante est particulièrement pertinent pour l'exposition de la population générale et pour les situations où le matériau contenant de l'amiante est faiblement aggloméré – un occupant d'un bâtiment contenant des matériaux amiantés par exemple, ou des habitants de zones a priori polluées, comme celles à proximité d'une décharge de matériaux amiantés (23).

2.5 Quel est l'état de la connaissance scientifique quant au danger pour la santé généré par les fibres courtes et les fibres « minces » ?

La taille d'une fibre influence la localisation de sa déposition dans les poumons, ainsi que l'efficacité du système de 'nettoyage biologique'. Si une fibre dépasse une certaine longueur, les macrophages (cellules du système immunitaire inné de la première ligne de défense) chargés de l'éliminer, eux-mêmes limités par leur taille cellulaire, perdent en efficacité et en rapidité – la bio-persistance de la fibre en question, c'est-à-dire sa capacité à perdurer dans un tissu biologique donné, est alors augmentée (2, 27). C'est sur ce critère de bio-persistance, ainsi que sur la limite de résolution de la technique de détection alors principalement utilisée (la microscopie par contraste de phase) que la classification de l'OMS se base pour la régulation des fibres d'amiante. Les fibres d'amiante dites « régulées » sont de longueur supérieure à 5 micromètres ($L > 5 \mu\text{m}$), de diamètre inférieur à 3 micromètres ($D < 3 \mu\text{m}$), et de rapport longueur-diamètre au moins équivalent à 3 ($L/D > 3$). Les fibres courtes, qui n'entrent pas dans ces critères car considérées comme 'nettoyables' par les

macrophages, ainsi que les fibres trop épaisses, qui pénètrent moins facilement dans les voies respiratoires profondes, ne sont soumises à aucune réglementation. Par ailleurs, les fibres « minces » (appelées fibres fines) de diamètre inférieur à 0.2 – 0.3 micromètres ne peuvent être détectées par microscopie à contraste de phase, et passent donc également outre la réglementation (8, 28). Elles sont, en revanche, détectables par la technique de microscopie électronique à transmission (TEM), plus précise que la microscopie à contraste de phase, mais cette technique plus récente n'est pas appliquée de manière systématique en Suisse lors de l'analyse d'échantillons de matériaux potentiellement amiantés.

Deux études épidémiologiques ont ré-analysé avec la technique TEM des échantillons d'amiante archivés suite à des études d'exposition utilisant la microscopie à contraste de phase dans l'industrie textile aux Etats-Unis (29, 30). Leurs résultats indiquent qu'une large majorité des fibres n'avaient pas été prises en compte par l'examen par microscopie à contraste de phase, et sont révélées par la technique TEM dans les échantillons concernés. De manière plus générale, des analyses récentes d'échantillons d'air et de matériaux amiantés montrent une proportion largement majoritaire de fibres courtes, avec des pourcentages pouvant aller jusqu'à plus de 95% du contenu en fibre de l'échantillon en question (28, 31). En d'autres termes, les fibres d'amiante dites « réglementées » ne représentent souvent qu'une infime portion des fibres présentes dans les échantillons collectés. Ce constat est également valable lors de l'examen du contenu en fibres de tissus pulmonaires : deux études ont en effet mis en évidence une proportion de > 50% et > 40% en fibres courtes et fines, respectivement (32), et entre 40 et 70% de fibres courtes (33) par rapport à la charge totale en fibres pour des tissus pulmonaires (majoritairement du chrysotile). Ceci démontre la bio-persistance non-négligeable des fibres courtes, malgré le seuil de réglementation décidé sur ce critère (34), ou le potentiel de dégradation transversale de fibres longues en fibres courtes au cours du temps (28). Le risque de l'amiante pour la santé pourrait dès lors avoir été sous-estimé en raison du rôle potentiel des fibres courtes et fines. La question d'une proportionnalité constante ou dépendante du secteur d'activité entre la quantité de fibres réglementées et la charge en fibres non-réglementées se pose également. Il semble néanmoins difficile de définir un facteur de conversion standardisé entre les techniques de microscopie à contraste de phase et la TEM, car celui-ci varie énormément entre études (31).

Au-delà de la charge en fibres courtes et fines dans les échantillons d'exposition observés, il s'agit également d'étudier les données disponibles sur le risque pour la santé relativement aux dimensions des fibres. Les études épidémiologiques de Stayner et collègues (29) ainsi que Dement et collègues (30) soulignent une association entre les fibres très courtes (< 1.5 µm), les fibres fines (< 0.25 µm) et le risque de cancer du poumon. Dans leur étude, ce risque est présent, même s'il est plus faible que pour les fibres longues de > 10 µm. Etant donné les hauts taux de corrélation entre les différentes tailles de fibres dans les échantillons observés, il n'est cependant pas possible de distinguer un véritable effet biologique de ces fibres courtes et fines d'une simple association de co-exposition aux fibres courtes/fines et aux fibres réglementées (35). Les études de toxicologie menées chez l'animal montrent des résultats mixtes (particulièrement sur le critère de longueur de la fibre), certaines soulignant l'absence de potentiel carcinogène des fibres courtes relativement aux fibres longues (36, 37), d'autres mettant en évidence un potentiel carcinogène pour les fibres courtes, avec toutefois un risque plus faible que pour les fibres longues (38). Il est à noter que l'un des problèmes récurrents de ces études est l'impossibilité d'injecter des échantillons d'amiante 'purs' de fibres courtes et fines – ceux-ci contenant toujours au moins une faible proportion de

fibres longues pouvant de ce fait altérer l'interprétation des résultats (28). Les résultats des études de toxicologie et épidémiologie disponibles dans la littérature concernant les fibres fines sont moins hétérogènes, et soulignent un risque pour la santé de ces catégories de fibres ($< 0.25 \mu\text{m}$) (31).

En conclusion, il apparaît certes que l'association entre une exposition à l'amiante et le risque de cancer broncho-pulmonaire (ou autres cancers) est moins forte pour les fibres non-réglées (notamment courtes) que pour les fibres d'amiantes réglementées par l'OMS. Cependant, il faut prendre en compte le fait que l'état actuel de la littérature scientifique ne permet pas d'exclure des effets délétères sur la santé de ces fibres courtes et/ou fines sur la santé, avec un nombre non-négligeable d'études soulignant la toxicité de ces catégories de fibres (29, 39), bien que cela soit encore débattu en particulier pour le critère de longueur des fibres (27, 28, 31). D'autre part, le nombre de fibres non-réglées est largement supérieur au nombre de fibres d'amiante réglementées dans les échantillons environnementaux ainsi que dans les échantillons de tissus biologiques observés. Dès lors, en l'état actuel des connaissances, le risque d'effet sur la santé des fibres non-réglées est non-négligeable et devrait être pris en considération. Cette conclusion argumente également en faveur de l'utilisation généralisée de la technique TEM, au détriment de la microscopie par contraste de phase, pour l'examen des échantillons de matériaux potentiellement amiantés, et une plus grande prise en compte du spectre de dimension des fibres dans les études de risques épidémiologiques (40).

Par ailleurs, il existe un autre groupe de fibres similaires à l'amiante, les fibres asbestiformes (aussi appelées 'asbestos-like'), qui ne rentrent pas dans les critères de classification des fibres d'amiante, mais qui pourraient avoir des effets toxiques semblables en raison de leurs propriétés physico-chimiques similaires. On trouve notamment dans cette catégorie l'antigorite, un type de serpentine non-réglée en tant qu'amiante en raison de son réseau cristallin, contrairement au chrysotile, et dont les propriétés asbestiformes des fibres qu'il libère suggèrent des effets délétères sur la santé (41). Plusieurs fibres asbestiformes sont également appelées « High Aspect Ratio Nanoparticles (HARNs) » pour décrire le rapport élevé entre la longueur de la molécule et son diamètre. Parmi les HARNs, les nanotubes de carbone, les nano-bâtonnets (nanorods), les nano-fils, ainsi que le fluoro-édenite font partie des molécules qui pourraient avoir un comportement biologique similaire aux fibres d'amiante (42, 43). Tout comme pour les fibres serpentines non-réglées, la littérature scientifique ne permet actuellement pas de conclure sur les expositions à ces catégories de molécules, ni les effets de ces fibres asbestiformes sur la santé (44, 45).

3 Evaluation du danger – Aspects de toxicologie

Ce chapitre s'intéresse au côté « danger » de l'équation du risque en abordant des questions de toxicologie relatives à l'amiante, avec un focus sur les voies d'exposition chez l'humain et les pathologies liées à l'amiante, les relations causales et les synergies possibles, ainsi que la question du seuil.

3.1 Rappel des pathologies en lien avec l'amiante

L'exposition à l'amiante engendre de nombreux effets toxiques amenant au développement des différentes pathologies principales décrites ci-dessous. Il est aujourd'hui scientifiquement admis que tous les types d'amiante peuvent être à l'origine de ces pathologies (1, 46). L'une des grandes difficultés dans la gestion de ces pathologies réside dans le fait que toutes ont un temps de latence extrêmement long, estimé entre 20 et 40 ans ou plus entre l'exposition et les signes cliniques de la maladie.

Plaques pleurales :

Le développement de plaques pleurales est l'une des seules maladies bénignes dues à l'amiante. Il s'agit de poches cicatricielles (dépôts fibreux de collagène), la plupart du temps calcifiées, se formant sur la plèvre (enveloppe des poumons) au fil de la période d'exposition à l'amiante. La présence de plaques pleurales est généralement asymptomatique. Elles renseignent sur une exposition passée à l'amiante, mais ne possèdent pas de potentiel de dégénérescence maligne (47, 48).

Asbestose :

L'asbestose est une pneumoconiose qui consiste en un développement irréversible de tissu cicatriciel fibreux dans le poumon suite à une inflammation des alvéoles induite par la présence de fibres d'amiante (49). Avec l'apparition de tissu fibreux, l'élasticité du tissu pulmonaire est diminuée, ce qui engendre un trouble ventilatoire (dyspnée) de type restrictif. Par ailleurs, la présence de tissu cicatriciel fibreux dans les alvéoles altère également les échanges gazeux avec le flux sanguin (50). Cette maladie peut être létale malgré l'absence de tissu cancéreux. L'apparition de l'asbestose est directement liée à la durée et importance de l'exposition à l'amiante (48). Contrairement aux plaques pleurales, l'asbestose est associée à un risque accru de cancer du poumon.

Mésothéliome :

Le mésothéliome est une maladie maligne touchant la plèvre (membrane enveloppant les poumons ; la majorité des tumeurs mésothéliales), ou plus rarement le péritoine (enveloppe de la cavité péritonéale et des viscères), ou même le péricarde (membrane cardiaque) (51). L'incidence de ces cancers en population générale non-exposée est très basse. L'exposition à l'amiante est reconnue comme la cause de la quasi-totalité des mésothéliomes (34), et le mésothéliome consiste de ce fait en une maladie-témoin d'une exposition à l'amiante (46). Le temps de latence entre l'exposition et le diagnostic clinique est extrêmement élevé (30 ans ou plus) pour cette maladie, un phénomène probablement dû au temps nécessaire pour une migration des fibres d'amiantes du tissu pulmonaire vers la plèvre, le péricarde ou le péritoine (2). Les tumeurs mésothéliales progressent extrêmement vite, et le pronostic est généralement très mauvais, avec un temps restant à vivre médian entre 9 et 12 mois pour un mésothéliome de la plèvre, voire moins pour celui du péritoine ou du péricarde (52).

Cancer broncho-pulmonaire :

Le cancer des poumons ou des bronches se distingue par la présence d'une tumeur maligne dans le tissu pulmonaire ou bronchial. Le facteur principal de développement du cancer du poumon est le tabac, et plus particulièrement l'exposition à la fumée de cigarette. Cependant, l'exposition à l'amiante entraîne également de nombreux cas de cancers du poumon, souvent sous-estimés en raison de l'impossibilité de discerner la cause du cancer pulmonaire par des critères cliniques ou autres marqueurs biologiques. La mortalité du cancer du poumon dû à l'amiante est estimée entre 2 et 6 fois supérieure à la mortalité du mésothéliome, selon le type de fibre d'amiante (53). La présence de fibres d'amiante dans le tissu pulmonaire est en effet capable de déclencher la formation et de soutenir la persistance d'une tumeur par des effets génétiques directs (dommages à l'ADN et création de mutations) et épigénétiques (altération de l'expression des gènes), par une dérégulation des processus d'apoptose permettant d'éliminer naturellement les cellules tumorales, ainsi qu'en engendrant une inflammation chronique et persistante par la génération d'espèces réactives de l'oxygène lors du recrutement des macrophages.

Cancers des ovaires et du larynx :

Malgré leur causalité multifactorielle, tout comme le cancer du poumon, les carcinomes ovariens et du larynx sont reconnus comme pouvant être associés à une exposition à l'amiante (1, 54, 55). Ceci est le cas en dépit du risque de classification causale incorrecte du cancer de l'ovaire par rapport au mésothéliome du péritoine (56), et du manque fréquent de considération de facteurs confondants comme le tabac et la consommation d'alcool dans les études sur le cancer du larynx (57, 58).

Autres cancers :

La causalité entre une exposition à l'amiante et d'autres formes de cancers, notamment gastro-intestinaux, a été suspectée plus tardivement que pour le mésothéliome et le cancer du poumon.

Un risque significatif lors d'une exposition professionnelle à l'amiante a été récemment démontré pour le cancer colorectal (59, 60), le cancer de l'estomac (61, 62), et de l'œsophage (63). Ce risque existe, même s'il est plus faible que pour les autres formes de cancers citées ci-dessus et ne concerne pas (encore ?) toutes les tranches de la population (hommes uniquement) ni tous les types de fibres d'amiante, probablement en raison de la rareté des données.

3.2 Quelles sont les voies d'exposition chez l'être humain ? En particulier, l'exposition par voie gastro-intestinale est-elle prouvée et pertinente ?

Toute personne exposée à l'amiante peut l'être de trois manières : par voie d'inhalation, par exposition cutanée, ou par voie orale / ingestion (voie gastro-intestinale). Dans le cas de l'amiante, de par les sources d'exposition et la nature du polluant, il est avéré que l'inhalation constitue la voie d'exposition principale. L'exposition par voie cutanée est considérée comme inexistante – la peau pouvant néanmoins servir de vecteur aux fibres d'amiante pouvant par la suite être inhalées ou ingérées (1, 8).

Une fibre d'amiante peut atteindre les voies gastro-intestinales de plusieurs manières. Elle peut d'une part être ingérée en tant que telle, par ingestion de poussière riche en amiante ou d'eau polluée par des fibres (ou même de la bière polluée à l'amiante lors de la filtration (64)). D'autre part, il existe une possibilité de transfert entre les voies respiratoires et l'ingestion, lorsqu'une fibre à l'origine inhalée est toussée ou évacuée par les mécanismes de nettoyage des poumons puis avalée, et de ce fait passe des voies respiratoires supérieures au système digestif au niveau de l'œsophage. Une fois dans le système gastro-intestinal, les fibres d'amiante peuvent également passer dans la lymphe, et, via le système lymphatique, atteindre d'autres organes éloignés de l'organe exposé à l'origine (2, 65).

Les données expérimentales sur des modèles animaux concernant le risque de cancers gastro-intestinaux suite à une ingestion d'amiante (ou une exposition d'amiante expérimentale directement au niveau des organes cibles) démontrent la pénétration des fibres dans les tissus, ainsi que les effets toxiques de ces fibres sur les organes cibles par le développement de tumeurs et d'altérations histologiques (organisation des tissus des organes cibles) (66, 67). Le mécanisme biologique suspecté serait une inactivation d'un gène suppresseur de tumeurs – un mécanisme également mis en avant lors d'une étude soulignant la potentialisation par les fibres d'amiante du pouvoir carcinogène d'autres polluants (benzo(a)pyrène) au niveau des organes digestifs (68).

Les revues systématiques et méta-analyses d'études épidémiologiques des risques de cancers gastro-intestinaux chez l'humain en relation avec l'exposition à l'amiante sont encore relativement récentes et reposent sur peu de données, en comparaison à d'autres types de cancers. Ce risque semble néanmoins exister, par exemple pour le cancer colorectal ou stomacal (cf. Chapitre 3 – 3A), notamment dans les populations masculines, même s'il reste plus faible que le risque de mésothéliome ou de cancer du poumon (69, 70). Il est cependant important de souligner le fait qu'il

est pratiquement impossible, même en cas de risque avéré, de déterminer quelle est la part relative de chaque voie d'exposition lors d'études épidémiologiques, et dès lors de prouver l'importance de la voie gastro-intestinale dans une situation de terrain (par opposition à l'expérimentation animale) pour les risques liés à l'exposition à l'amiante (65, 71). Une partie des études visant à déterminer le risque de cancers spécifiquement dus à une exposition à l'amiante par voie orale se focalise sur la consommation d'eau polluée en fibres d'amiante en population générale (exposition non-professionnelle), et conclut à une association entre la présence de fibres d'amiante dans l'eau potable et le risque de cancer colorectal et de l'estomac (72, 73). Le niveau de risque est néanmoins compliqué à établir dans ce type d'étude épidémiologique en raison notamment du temps de latence entre l'exposition et l'apparition de cancers, ainsi qu'en raison du nombre important de facteurs confondants inconnus dans la population étudiée.

Compte tenu de la littérature scientifique actuellement disponible, il est donc possible de conclure que l'exposition à l'amiante augmente (même faiblement) le risque de développement de différents cancers gastro-intestinaux, sans pour autant pouvoir définitivement prouver le rôle de la voie d'exposition orale dans cette incidence (65).

Il est à noter que les enfants boivent plus d'eau par kilogramme de poids corporel que les adultes, et par analogie pour la voie d'exposition par inhalation, respirent un volume d'air plus élevé par kilogramme de poids corporel (1). Les enfants sont également plus enclins (intentionnellement ou non, par exemple à causes de mains salies) à l'ingestion de matériaux potentiellement amiantés tels que la terre ou des écaillés de peinture ou de crépis (8). Cette population pourrait donc être spécifiquement exposée à des doses relatives plus élevées d'amiante. Cet aspect est développé dans le chapitre 5 – 5B.

3.3 La relation entre asbestose et cancer broncho-pulmonaire est-elle causale ?

Selon la version révisée (2014) des Critères d'Helsinki (74), la présence d'une asbestose, témoin d'une exposition à l'amiante supérieure à 25 fibres/année, suffit à classer un cancer du poumon concomitant comme étant causé par l'amiante. Néanmoins, la présence simultanée de ces deux pathologies ne suffit pas à prouver un lien de causalité. Cette question mérite dès lors d'être abordée selon deux aspects : d'une part, (i) en questionnant la nécessité ou non de l'asbestose au développement du cancer du poumon dans le cadre d'une exposition à l'amiante, et d'autre part (ii) en s'interrogeant sur la présence d'un ou plusieurs mécanisme(s) biologique(s) (lien(s) de causalité) entre l'asbestose et le cancer broncho-pulmonaire lorsqu'une asbestose est effectivement présente.

- (i) Il est établi et accepté par la communauté scientifique depuis plusieurs années que l'asbestose n'est pas une condition nécessaire au développement d'un cancer broncho-pulmonaire dans le cadre d'une exposition à l'amiante. L'étude de cas référente de Karjalainen et collègues, en 1994, met en effet en évidence un phénomène de dose-réponse avéré entre le risque de développement d'un cancer du poumon et l'exposition à l'amiante (contenu en fibres dans le tissu pulmonaire), qui persiste

lorsque les cas diagnostiqués d'asbestose sont retirés de l'étude (75). Une étude d'opinion d'experts (Delphi) menée en 2009 a par ailleurs souligné le consensus scientifique sur l'absence de la nécessité d'une asbestose pour le développement d'un cancer du poumon (76). L'asbestose fonctionnerait alors comme un marqueur d'une exposition relativement élevée à l'amiante, et donc un risque accru de cancer broncho-pulmonaire chez ces individus exposés, mais la maladie elle-même ne serait donc pas forcément directement 'nécessaire' au développement du cancer du poumon (46).

- (ii) Le fait que l'asbestose ne soit pas forcément nécessaire au développement du cancer du poumon ne permet pas d'exclure l'existence d'un lien causal, c'est-à-dire un ou plusieurs mécanismes biologiques entre ces deux phénomènes, lorsque l'asbestose est effectivement présente. A titre d'exemple, la présence d'un hépato-carcinome (cancer du foie) découle largement d'un diagnostic de cirrhose, lui-même établi selon des critères de fibrose, soit de présence de tissu cicatriciel fibreux engendré par l'infiltration de fibroblastes et résultant en une perte de fonctionnalité hépatique (77). Par ailleurs, en cas de fibrose pulmonaire idiopathique, une forme de fibrose chronique et progressive, de nombreux mécanismes biologiques sont utilisés pour décrire la relation entre la maladie et le développement du cancer, tels que l'activation et la prolifération incontrôlée des fibroblastes composant le tissu fibreux, une dérégulation de l'expression de certains facteurs de croissance et la présence d'un stress oxydatif (78). La fibrose pulmonaire idiopathique est ainsi un facteur de risque indépendant pour le développement d'un cancer du poumon ; il est alors tentant, au vu des nombreux mécanismes biologiques plausibles (79), de décrire cette association comme causale (80). Néanmoins, l'établissement d'un facteur de risque relatif indépendant grâce aux études épidémiologiques ne permet pas de statuer sur un lien de cause à effet biologique. Actuellement, la littérature scientifique ne permet pas d'avérer la présence d'un mécanisme causal associant le tissu cicatriciel fibreux de l'asbestose, les conséquences directes de sa présence (perte de fonctionnalité pulmonaire) ou toutes autres caractéristiques propres à l'asbestose au développement d'une tumeur broncho-pulmonaire dans le cadre d'une exposition à l'amiante.

3.4 L'existence d'une synergie amiante-tabac est-elle prouvée ? Si c'est le cas, quel est l'impact de cette synergie sur les données épidémiologiques et les modèles dose-réponse ?

L'exposition à l'amiante ainsi qu'à la fumée de tabac sont tous deux liés à l'incidence du cancer du poumon. La question se pose de savoir si ces deux facteurs agissent via des mécanismes biologiques parallèles indépendants, ou s'il existe une synergie (c'est-à-dire un effet supérieur à la combinaison des deux effets individuels) impliquant une ou plusieurs interactions biologiques et décuplant le risque de développer une pathologie liée à l'amiante. Dans le cadre du mésothéliome, il est scientifiquement admis que le tabac n'est pas un facteur de risque pour son développement (46) – la question de l'interaction synergétique avec l'amiante ne se pose donc pas.

Une revue systématique récente, datant de 2015 par Ngamwong et collègues (81), porte sur 17 études de cas et cohortes observationnelles du cancer du poumon (> 70'000 participants) collectées depuis cinq bases de données selon les standards de qualité actuels (82). Comparés aux individus contrôles non-fumeurs et non-exposés à l'amiante, les non-fumeurs exposés à l'amiante dans leur milieu professionnel (> 100 fibres-années par millilitre d'air environnemental pendant plus de 5% de leur temps de travail) ont un rapport de risque pour le cancer du poumon situé entre 1.70 – 2.72, tandis que le rapport de risque pour les individus fumeurs non-exposés à l'amiante se situe autour des 5.65 – 6.42. Un rapport de risque entre 8.70 – 8.90 caractérise les individus fumeurs et professionnellement exposés à l'amiante relativement aux contrôles. Cette méta-analyse souligne donc l'existence d'une synergie pour la co-exposition à l'amiante et à la fumée de tabac, particulièrement pour les individus au statut de modéré (10 à 19 cigarettes par jour) à grand fumeur (> 20 cigarettes par jour), pour lesquels les rapports de risques peuvent monter jusqu'à 15 ou 30 avec une double exposition en comparaison aux individus-contrôles. Il est à noter que les critères de cette revue limitent l'interprétation des résultats à l'exposition à l'amiante dans le cadre professionnel. Les mécanismes biologiques potentiels évoqués pour expliquer cette synergie reposent sur les interactions à double sens entre les fibres d'amiante et les molécules carcinogènes du tabac (par exemple les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)). D'une part, les fibres d'amiante possèdent en effet la capacité d'augmenter l'incorporation et le métabolisme des HAP dans les cellules épithéliales pulmonaires (83). D'autre part, les composés présents dans la fumée de cigarette augmentent la liaison des fibres d'amiante aux cellules pulmonaires (84), déclenchant le recrutement de macrophages et l'instauration d'une inflammation chronique, mécanisme central pour la formation de tumeurs (34, 85). Ces résultats sont également corroborés par une analyse combinée sur 14 études cas-contrôles menée en 2017 par Olsson et collègues (86).

Malgré l'acceptation générale de cette conclusion sur une interaction biologique entre le tabac et l'exposition à l'amiante (46), la nature de cette interaction (supra-additive ('sub-multiplicative'), ou multiplicative) est encore débattue (87), engendrant une absence de modèle mathématique fiable pour estimer l'effet d'interaction. Cela pose notamment la question de l'existence de cette synergie pour des faibles doses de tabagisme. Comme décrit précédemment, cette même étude de Ngamwong et collègues (81) fait état d'un rapport de risque divisé par 2 lorsque l'analyse est faite par stratification du statut de fumeur, entre les fumeurs modérés (1 à 19 cigarettes par jours) et les grands fumeurs (> 20 cigarettes par jour) exposés à l'amiante. Par ailleurs, un examen des études individuelles incluses dans cette méta-analyse, qui considèrent les participants comme 'fumeurs' avec les seuils les plus bas (seuil à moins de 10 cigarettes par jour en moyenne) permet également de conclure sur une interaction synergique entre l'exposition à l'amiante et le tabagisme sur le risque de cancer du poumon (88-91). Une étude, en revanche, ne met en évidence une synergie que parmi les fumeurs modérés à forts (dès 200 cigarettes par année), et non pour les fumeurs légers (< 200 cigarettes par année) (92). Il est à noter que la majorité des études listées ci-dessus ont utilisé des questionnaires et/ou des entrevues avec les participants pour collecter les données. L'une de ces études en particulier est néanmoins très intéressante, car elle considère une exposition environnementale à l'amiante avec un seuil strict de non-exposition à 0 fibres par année pour distinguer les groupes de participants, et met en évidence cette synergie pour une faible exposition à l'amiante également (91). Cette précision sur une synergie existante pour des faibles doses de tabagisme soulève une importante question pour l'adaptation des modèles dose-réponse aux facteurs de risque conjoints à l'exposition à l'amiante : faut-il également prendre en compte (et

comment ?) la fumée passive pour le risque de développement d'un cancer du poumon, c'est-à-dire une exposition involontaire à la fumée de tabac lors de possibles expositions à l'amiante ?

3.5 Certaines maladies liées à l'amiante sont-elles sans seuil ? Lesquelles, et sur la base de quelles preuves scientifiques ?

L'asbestose semble être une maladie à seuil – probablement la seule parmi les différentes pathologies liées à l'amiante décrites au chapitre 3 – 3A. Elle est en effet observée uniquement lors d'un passé d'exposition à l'amiante plus élevée (> 10 fibres par millilitre par année mesurées par la technique TEM) que les concentrations associées au risque de développement du mésothéliome ou du cancer du poumon (2, 74).

Le mésothéliome, en revanche, est une maladie connue pour avoir lieu même suite à de faibles doses d'exposition à l'amiante. Aucune dose minimale n'a été définie, en-dessous de laquelle il est considéré que le risque de développement d'une tumeur mésothéliale n'existe pas. En d'autres termes, pour toute exposition de départ à l'amiante (ou une absence d'exposition), une augmentation quelconque de cette exposition augmente le risque de développement d'un mésothéliome. La documentation de cas de mésothéliomes lors d'exposition environnementale à l'amiante, par exemple chez les individus habitant à proximité d'une carrière d'extraction d'amiante, ou une ancienne usine impliquant des produits amiantés, témoigne aussi du potentiel de risque pour des expositions à doses plus faibles que celles subies par les travailleurs de l'amiante avant l'interdiction du matériau (93-95). Dès lors, cette maladie liée à l'amiante est considérée sans seuil, et le risque de cancer existe pour toute dose d'exposition (34). Le scénario est similaire pour le cancer broncho-pulmonaire, le risque augmentant de manière graduelle avec une exposition cumulée à l'amiante. Malgré la forte hétérogénéité entre les multiples études épidémiologiques effectuées à ce sujet, il est généralement admis que l'augmentation du risque relatif de cancer du poumon est de 1 à 4% pour chaque année d'exposition à une fibre par millilitre (96). Cette relation est considérée comme quasi-linéaire (34).

Tout comme pour le mésothéliome, il n'existe pas de dose minimale en-dessous de laquelle le risque de développement d'un cancer broncho-pulmonaire est inexistant. En l'absence de preuves scientifiques suffisantes sur l'explication d'un mécanisme biologique à seuil, le mésothéliome et le cancer du poumon dus à une exposition à l'amiante sont donc considérés comme maladies sans seuil, comme c'est le cas pour toute substance cancérigène, capable d'affecter directement ou indirectement la structure de l'ADN (46, 96, 97). L'étude cas-contrôles de Gustavsson et collègues, publiée en 2002, montre que le risque de développement du poumon pour le quantile le plus bas d'exposition à l'amiante (4 fibres par millilitre par année) est plus haut que le laisserait penser un modèle de dose-réponse strictement linéaire (91). Effectivement, une étude relativement récente a utilisé des modèles mathématiques de méta-régression pour extrapoler les résultats des relations doses-réponses établies dans la littérature scientifique aux plus faibles doses d'exposition à l'amiante, et conclut que le modèle le plus approprié est une relation à inflexion naturelle vers les plus basses doses d'exposition (« *natural spline model* » en anglais) (98).

4 Evaluation des expositions – Populations exposées & scénarii génériques d'exposition

Cette partie traite du volet « exposition » de l'équation du risque, c'est-à-dire des populations exposées, avec un focus particulier sur les expositions non-professionnelles et para-professionnelles d'aujourd'hui. Une synthèse relatant les différents scénarii génériques d'exposition possibles, pour les différents groupes de populations considérés, est disponible en fin de chapitre (cf. Question 4D).

4.1 Les modèles dose-réponse ont été construits sur la base de l'exposition à l'amiante des travailleurs des années 1950-1980. Qu'en est-il d'une exposition pour la population en général, hors travailleurs ? Pour ces différentes catégories de population^e, quelles sont les sources potentielles d'exposition, et le niveau d'exposition estimé ?

Les modèles dose-réponse pour le calcul du risque lié à l'exposition à l'amiante ont été construits sur les « travailleurs de l'amiante », exposés à des centaines de fibres par mètre cube d'air respiré et par année. Ces métiers existaient avant l'interdiction de l'amiante du début des années 1990 (Suisse), et comprenaient toutes les activités d'usinage et d'installation des produits amiantés. Malgré l'accumulation des connaissances scientifiques et médicales sur les effets de l'amiante sur la santé, la protection des travailleurs sur le terrain n'était pas encore très développée et les niveaux d'exposition étaient élevés (cf. Annexe 8.3 pour un ordre de grandeur des expositions ambiantes et individuelles détectées pour les activités historiques liées aux faux-plafonds et flocages amiantés). Ces expositions ne sont pas représentatives des expositions professionnelles actuelles (métiers post-interdiction de l'amiante) ainsi que des éventuelles expositions para-professionnelles, domestiques et environnementales décrites ci-dessous. Le nombre de morts dû à l'exposition à l'amiante est estimé à 255'000 annuellement et mondialement, dont 233'000 pour des causes professionnelles reconnues (99). La part des décès liés à l'amiante relevant d'une exposition probablement non-professionnelle est donc substantielle. Dès lors, la représentativité de ces modèles dose-réponse pour les expositions chroniques ou variables, à plus faible dose (ordre de grandeur moindre), est remise en question.

^e Travailleurs de la construction du second œuvre, familles de ces travailleurs, enfants et jeunes, bricoleurs, concierges, employés des déchetteries, occupants des bâtiments, habitants (ou passants) situés à proximité de chantiers, employés des entreprises de transport et de recyclage des déchets amiantés, personnes qui fréquentent des dépôts d'amiante naturelle ou des sites miniers, etc.

Travailleurs exposés à l'amiante de par leur métier (cadre professionnel) :

Bien que l'amiante soit actuellement interdit d'utilisation, il est encore présent dans de nombreux matériaux de bâtiments et structures du génie civil, en raison de son utilisation massive dans les années 1970-1980 notamment. Dès lors, tous les métiers dont les activités impliquent de travailler avec ou à proximité de structures contenant de l'amiante sont sujets à une potentielle exposition aux fibres d'amiante. Récemment, le nombre de travailleurs encore exposés à l'amiante dans les pays européens a été estimé à 600'000 (100). Les métiers engendrant une activité dite 'exposante' de par la proximité et/ou la manipulation d'un matériau amianté incluent les métiers de la construction, du génie civil et du bâtiment (travaux de réparation, de transformation, de rénovation ou de démolition), ainsi que les métiers de la filière des déchets amiantés (transport, recyclage et de manière générale travail dans les décharges et déchetteries habilitées à traiter des matériaux amiantés). Les sources d'amiante proviennent de matériaux amiantés installés avant l'interdiction des années 1990, et l'amiante peut donc être présent sous différentes formes. La problématique n'est pas restreinte aux matériaux faiblement agglomérés, c'est-à-dire à la libération spontanée de fibres d'amiante – les matériaux fortement agglomérés peuvent également poser problème, car leur manipulation dans le cadre d'activités professionnelles typiques de la construction (par exemple perçage, sciage, etc.) peut engendrer une libération de fibres d'amiante dans l'air respiré par le travailleur (cf. Chapitre 2 – 2D).

Travailleurs exposés à l'amiante de manière « para-professionnelle » :

Certains travailleurs dont le métier ne concerne ni la construction, la maintenance des bâtiments ou la filière des déchets peuvent également être concernés par une éventuelle exposition à l'amiante car ils sont occupants de locaux contenant des matériaux amiantés pendant leur temps de travail. Cela peut être le cas d'employés travaillant dans des locaux construits avant 1990, comme par exemple des enseignants ou autres intervenants travaillant dans des infrastructures scolaires (écoles, universités, etc.) contenant des matériaux amiantés. Cette problématique d'exposition est à considérer particulièrement dans les cas où les locaux contiennent des matériaux amiantés faiblement agglomérés et dans les bâtiments à forte dynamique d'individus (flux et volume d'occupants), en raison de la facilitation de la libération de fibres d'amiante par les flux d'airs ou perturbations légères. Dans la littérature, cette catégorie d'exposition pour les travailleurs occupant des locaux contaminés est souvent appelée « para-professionnelle », raison pour laquelle ce terme est gardé dans le cadre de ce rapport.

Population générale exposée à l'amiante hors contexte professionnel :

Les expositions non-professionnelles sont des expositions qui ont lieu hors du cadre du travail. Elles concernent dès lors les populations adultes dans des contextes d'exposition domestique (à domicile) ou environnementale, et peuvent également concerner des populations qui ne sont pas en âge de travailler, telles que les bébés, enfants ou adolescents (ou même seniors, mais celles-ci entrent peu en compte dans les considérations du risque amiante en raison du long temps de latence nécessaire au développement de la maladie). Les expositions domestiques et environnementales sont généralement plus faibles et beaucoup plus variables que les expositions professionnelles, surtout en comparaison des « travailleurs de l'amiante » des années pré-1990.

Les sources d'exposition pour le contexte hors-professionnel peuvent être extrêmement variées (101), telles que :

- la présence de fibres d'amiante dans des matériaux du domicile. Ces situations sont à considérer particulièrement en présence de matériaux faiblement agglomérés et/ou si le matériau en question présente un état de dégradation ou de vieillissement conséquent, mais également en présence de matériaux fortement agglomérés si le contexte inclut de petits travaux de maintenance, de rénovation ou de décoration conduits par un non-professionnel qui s'adonne à de petits travaux manuels (« bricoleur »^f). Cette situation d'exposition est référée en tant qu'exposition du foyer (exposition 'ménagère' – « *household exposure* ») et fait partie des expositions dites 'environnementales' ;
- Les situations de voisinage d'une source naturelle d'amiante – ces situations font parties des expositions dites 'environnementales'. Il est à noter que dans le passé (pré-interdiction de l'utilisation de l'amiante), cela a également concerné les situations de voisinage d'entreprises en activité usinant des matériaux amiantés. A titre d'exemple, une récente étude de cohorte danoise montre un risque sept fois plus élevé de mésothéliome à l'âge adulte chez les anciens élèves de quatre écoles à proximité d'une cimenterie (amiante serpentine de type chrysotile), comparés à un collectif national (102). Cette publication souligne le rôle de l'exposition à l'amiante dans l'environnement;
- L'exposition aux fibres d'amiante via les vêtements ou le matériel de travail ramenés à domicile par une personne exposée dans son contexte professionnel. Ces situations peuvent également être référées en tant qu'expositions « domestiques. » Il est à noter que certaines sources de littérature classent même ce type d'exposition en temps qu'exposition « para-professionnelle », car ces situations illustrent une exposition secondaire à l'exposition professionnelle en tant que telle. L'actualité de cette situation d'exposition est discutée dans la question suivante (cf. Chapitre 4 – 4B)

Ces différentes situations exposantes sont reprises en fin de chapitre (cf. Question 4D), pour la caractérisation de scénarii génériques d'exposition correspondants.

4.2 La problématique des « *take-home exposures* » est-elle encore d'actualité ?

Une « *take-home exposure* » consiste en une exposition par le biais de vêtements ou de matériel de travail ramené à domicile par une personne exposée dans son cadre professionnel. Elle a concerné de nombreuses familles et proches des « travailleurs de l'amiante » avant l'interdiction au début des années 1990 en Suisse. Une étude de Wagner et collègues (103) fut la première, en

^f Un bricoleur est une personne qui s'occupe à de petits travaux manuels de réparation, d'agencement, etc, chez soi ou chez des particuliers (définition tirée du dictionnaire Larousse). Un bricoleur peut être propriétaire, locataire, ou extérieur au domicile où les petits travaux manuels en question sont effectués. En fonction de la fréquence des travaux manuels effectués, un bricoleur peut être occasionnel ou régulier.

1960, à associer l'exposition à l'amiante des travailleurs à l'incidence de mésothéliome pleural dans leur entourage familial ou extra-familial non-exposé directement à l'amiante (épouses, servants domestiques, etc.). Dans cette étude, 33 cas de mésothéliome pleural ont été diagnostiqués en 4 ans dans une région de la Province du Cap (Afrique du Sud) abritant une carrière d'extraction d'amiante amphibole (crocidolite), pour une forme de cancer normalement très rare dans la population générale.

Les fibres d'amiante libérées lors du travail d'extraction, usinage, installation ou autre manipulation de matériaux amiantés se déposaient sur les vêtements (et matériel) des travailleurs, qui les ramenaient ensuite à la maison (stockage, lessive). Une étude de Madl et collègues (104) a estimé l'exposition indirecte via les vêtements de travail (activité simulée de manipulation des vêtements) comme étant plus faible que les valeurs retrouvées lors de manipulations spécifiques de matériaux amiantés lors de l'activité professionnelle, et d'un ordre de grandeur similaire aux valeurs de fond (background). Les doses d'exposition professionnelle étant néanmoins généralement extrêmement élevées avant l'interdiction de l'amiante, il en résultait une exposition indirecte conséquente de l'entourage du travailleur, et une incidence élevée de mésothéliomes et autres pathologies en lien avec l'amiante. Dans la littérature, ce type d'exposition est parfois catégorisé comme exposition para-professionnelle ou nommée 'exposition secondaire' découlant d'une exposition primaire dans le cadre professionnel, et est considéré comme établi malgré le manque de données quantitatives (105).

Une revue systématique et méta-analyse de données provenant de 12 études investiguant ce type d'exposition domestique conclut à un risque relatif significatif de 5.02 (CI95% 2.48 – 10.13) de développer un mésothéliome par rapport aux personnes non-exposées (106). Les données incluses dans cette étude concernent néanmoins l'entourage de travailleurs exposés à de hautes doses d'amiante avant l'interdiction des années 1990 – à notre connaissance, il n'existe pas d'analyse quantitative plus récente (relative aux métiers post-interdiction de l'amiante) des niveaux de « *take-home exposure* » et de risque de pathologies liées à l'amiante y relatifs. Même si les niveaux d'exposition par ce moyen s'avéraient aujourd'hui négligeables ou non-distinguables des niveaux ambiants, les conséquences médicales de cette source d'exposition via les vêtements de travail restent cependant encore de nos jours une problématique de santé, en raison du temps de latence des pathologies liées à l'amiante.

4.3 Quelles sont les différents scénarios d'exposition à un matériau faiblement aggloméré, et les valeurs relatives ? Par exemple, en présence d'un faux-plafond et d'un flochage amianté ?

La base de données française « Ev@lutil », publiée par l'Université de Bordeaux et Santé Publique France (107), a servi de base pour illustrer différents exemples de scénarios d'exposition (activités) conduits sur ou en présence de matériaux contenant de l'amiante faiblement agglomérés, typiquement un faux-plafond en plaques et un flochage amianté.

Les différentes interventions conduites sur ou à proximité directe de faux-plafonds amiantés (illustration 1 ; tableaux 3 et 4) ou de flocages amiantés (illustration 2 ; tableaux 5 à 9) sont détaillées ci-dessous dans des tableaux structurés par groupe d'activités similaires. Pour des raisons de focus, seules les activités professionnelles susceptibles d'être conduites actuellement (métiers actuels du bâtiment non liés au désamiantage, conduits par des professionnels potentiellement non-avertis de la présence d'amiante) ainsi que les activités susceptibles d'être conduites par des non-professionnels (« bricoleurs », personnes potentiellement non-averties des dangers et des moyens de protection adéquats) sont documentées. Les activités historiques telles que l'installation de matériaux amiantés, faisant forcément référence à la période pré-interdiction de l'amiante, ainsi que les activités de désamiantage, conduites par des professionnels avertis, sont disponibles en annexe du présent rapport (cf. Annexe 8.3).

Pour chaque activité ('acte exposant'), les informations relatives aux métiers correspondants, au matériau amianté considéré, au type de fibre d'amiante ainsi qu'à la durée et au type de prélèvement ('ambient' si le prélèvement concerne l'environnement de travail de manière générale ; 'individuel' s'il concerne la zone respiratoire personnelle – l'espace environnant directement le nez et la bouche des travailleurs) sont indiquées lorsqu'elles sont disponibles. Les valeurs minimales, maximales et moyennes (en fibres par millilitre (f/mL)) relevées au cours des analyses effectuées dans ces différentes études sont mises en évidence en rosé. Certaines valeurs manquent en raison de leur absence dans la documentation de la base Ev@lutil. Les valeurs inférieures à la limite de quantification analytique (« *Limit Of Quantification* » ; LOQ) sont identifiées comme telles (« < LOQ »). La valeur moyenne indique la moyenne arithmétique, sauf si cela est spécifié autrement⁹.

Il apparaît de ces données que les groupes d'activités les plus exposantes à l'amiante sont les activités liées aux systèmes électriques ou à la plomberie, ainsi que certaines activités de charpenterie. Les valeurs relatives sont extrêmement variables en sein d'un même groupe d'activités (actes exposants) – néanmoins, il est également à noter que malgré le désamiantage progressif depuis l'interdiction de l'amiante (date variable selon les pays concernés), ces valeurs relatives restent d'actualité en raison du fait que les (non-)professionnels concernés ne sont pas forcément avertis de la présence d'amiante dans les bâtiments en question.

⁹ (G) : la valeur indiquée est une moyenne géométrique.

Illustration 1 : Exemple du faux-plafond en plaques contenant de l'amiante – Quantification des fibres d'amiante (fibres par millilitres d'air – f/mL) en fonction du type d'activité et des matériaux contenant de l'amiante (MCA)

Tableau 3 Installation ou entretien de systèmes de ventilation

Activité (acte exposant)	Profession	MCA	Fibres	Prélèvement	Durée [min]	#Echant.	Min.	Max.	Moyenne	Pays	Année
Entretien du système de ventilation	Mécanicien de climatisation	Dalles de plafond	---	---	---	5	0.04	0.9	0.21	USA	1984

Tableau 4 Interventions générales, non-spécifiées

Activité (acte exposant)	Profession	MCA	Fibres	Prélèvement	Durée [min]	#Echant.	Min.	Max.	Moyenne	Pays	Année
Intervention sur dalles de plafond	Ouvrier du bâtiment	Dalles de plafond	---	---	8 heures	---	0.02	1.4	---	USA	1990
Intervention au-dessus des faux-plafonds	Ouvrier du bâtiment	Faux-plafond en plaques	---	---	8 heures	---	0.01	2.8	---	USA	1990

Illustration 2 : Exemple de flocages amiantés – Quantification des fibres d'amiante (fibres par millilitres d'air – f/mL) en fonction du type d'activité et des matériaux contenant de l'amiante (MCA)

Tableau 5 Intervention sur ou à proximité directe du matériau amianté – Electricité et plomberie

Activité (acte exposant)	Profession	MCA	Fibres	Prélèvement	Durée [min]	#Echant.	Min.	Max.	Moyenne	Pays	Année	
Mise en place de lignes d'éclairage	Ouvrier du bâtiment, Electricien	Flocage	---	---	---	5	0,3	1,9	1,1	USA	1979	
						6	4,8	10,6	7,7	USA	1979	
						2	1,3	1,5	1,4	USA	1979	
						Individuel	2	---	---	1,4	USA	1977
						6	4,8	10,6	7,7	---	---	
						5	0,3	1,9	1,1	---	---	
Lessivage des omégas supportant l'éclairage	Ouvrier en métallerie	Structure métallique floquée	Amosite	Individuel	---	1	---	---	0,12	France	1995	
Perçage de trous au plafond	Electricien en câblage informatique	Flocage (4% d'amiante)	Chrysotile	Individuel	---	7	0,15	2,12	0,8	France	1995	
Mise en place de câbles au voisinage d'un flocage	Ouvrier du bâtiment, Ouvrier d'entretien de construction, Electricien	Charpente floquée	Chysotile	---	---	---	---	0,13	0,34	USA	1991	
						4	---	---	0,93	USA	1980	
		Flocage de plafond				13	0,07	10,27	1,1	USA	1991	
						20	0,004	0,04	0,01	USA	1990	
		Flocage				9	0,024	0,1	0,05	---	---	
						4	0,2	3,2	0,9	USA	1979	
						12	0,01	2	0,6	Finlande	1988	
						Ambiant	169	< LOQ	0,086	0,016	USA	1994
					169	68	0,001	0,03	0,01	USA	1994	

4 Evaluation des expositions – Populations exposées & scénarii génériques d'exposition

Activité (acte exposant)	Profession	MCA	Fibres	Prélèvement	Durée [min]	#Echant.	Min.	Max.	Moyenne	Pays	Année
					243	4	---	0,05	0,02	USA	1994
				Individuel	169	33	0,001	0,228	0,045	USA	1994
					87	7	---	0,079	0,027	USA	1994
					130	1	---	---	0,031	USA	1994
					243	4	---	0,03	0,02	USA	1994
					81	26	---	1	0,44	USA	1994
					24 à 180	36	0,011	0,2	0,048	USA	1996
			Chrysotile		---	35	0,05	2	0,13 (G)	USA	1983
Changement d'une vanne dans une gaine technique	Plombier, Chauffagiste	Flocage de poutrelles métalliques dans un faux plafond	Amosite	Ambiant	---	2	---	---	0,37	France	1995
				Individuel	---	2	9,72	14,5	11,9	---	---
Soudage dans un faux plafond	Plombier, Chauffagiste	---	Amosite	Ambiant	---	2	0,06	0,13	0,09	France	1995
				Individuel	---	2	0,14	0,25	0,19	---	---
Travaux d'électricité et plomberie	Ouvrier d'entretien de construction, Plombier, Electricien	Flocage	---	---	---	6	0,1	2,4	1,2	USA	1979
				Ambiant	183	4	0,004	0,054	0,046	USA	1994
					183	8	0,002	0,107	0,045	USA	1994
					228	6	---	0,02	0,01	USA	1994
				Individuel	71	4	---	0,043	0,028	USA	1994
					163	2	0,008	0,021	0,015	USA	1994
					265	5	---	0,02	0,01	USA	1991?
	56	2	0,19	0,59	0,39	USA	1994				

Tableau 6 Intervention sur ou à proximité directe du matériau amianté – Systèmes de ventilation

Activité (acte exposant)	Profession	MCA	Fibres	Prélèvement	Durée [min]	#Echant.	Min.	Max.	Moyenne	Pays	Année
Entretien du système de ventilation dans des locaux floqués	Ouvrier d'entretien de construction	Flocage	---	Ambiant	165	23	0,001	0,024	0,013	USA	1994
					165	8	< LOQ	0,059	0,019	USA	1994
					255	2	---	< LOQ	---	USA	1994
	Individuel	395	3	0,007	0,024	0,014	USA	1994			
		248	2	< LOQ	< LOQ	< LOQ	USA	1994			
		98	6	---	0,12	---	USA, Suisse	1994			

Tableau 7 Intervention sur ou à proximité directe du matériau amianté – Nettoyage et peinture

Activité (acte exposant)	Profession	MCA	Fibres	Prélèvement	Durée [min]	#Echant.	Min.	Max.	Moyenne	Pays	Année
Nettoyage à la brosse	Peintre en bâtiment	Poutrelles métalliques floquées dans un plafond	Amosite, Chrysotile, Autres	Ambiant	---	1	---	---	0,61	France	1995
Peinture de poutrelles métalliques fraîchement défloquées (à l'extérieur, sans aspiration)	Peintre en bâtiment	Résidus de flocage de poutrelles métalliques	Crocidolite	Ambiant	---	1	---	---	0,1	France	1993
Travaux de rénovation	Peintre en bâtiment	Flocage	Chrysotile	Individuel	---	7	0,05	0,25	0,08 (G)	USA	1983

Tableau 8 Intervention sur ou à proximité directe du matériau amianté – Charpenterie et aménagement de locaux

Activité (acte exposant)	Profession	MCA	Fibres	Prélèvement	Durée [min]	#Echant.	Min.	Max.	Moyenne	Pays	Année
Préparation de la pose d'un faux plafond, pose de cornières, préparation des omégas (à l'intérieur)	Ouvrier en métallerie	Structure métallique floquée	Amosite	Ambiant	---	1	---	---	0,14	France	1995
				Individuel	---	2	0,01	0,19	0,07	---	---
Travaux de percement pour positionner un support de plafond, avec perceuse munie d'un manchon aspirant (imprégnation du flochage par enduits/peinture)	Plafonnier	Flocage	Chrysotile	Ambiant	109 à 111	3	0,04	0,09	0,066	France	1999
				Individuel	126 à 134	4	0,07	0,11	0,095	---	---
Pose de faux-plafonds et cloisons à proximité de poutrelles floquées	Charpentier, Ouvrier du bâtiment	Poutrelles floquées	Chrysotile	Individuel	---	1	---	---	0,02	France	1994
				Individuel	---	4	2	4,2	3,1	USA	1977
				---	---	4	2	4,2	3,1	USA	1979
Retrait de sections de plafond	Charpentier, Ouvrier en métallerie	Structure métallique floquée	Amosite, Chrysotile	Individuel	---	1	---	---	0,65	France	1995
				Individuel	---	1	---	---	0,21	France	1995
				Individuel	---	3	8,9	25,3	17,1	USA	1977
Pose et dépose de faux plafond	Ouvrier d'entretien de construction	Flocage	---	Ambiant	118	18	0,001	0,044	0,027	USA	1994
				Ambiant	118	8	< LOQ	0,011	0,011	---	---
				Ambiant	215	6	---	0,19	0,12	---	---
				Individuel	42	9	---	0,117	0,058	---	---
				Individuel	32	1	---	---	0,12	---	---
Individuel	211	6	---	0,52	0,06	---	---				
Réparation de plafonds	Ouvrier du bâtiment	Flocage	---	---	---	3	9,5	25,9	17,7	USA	1979

Activité (acte exposant)	Profession	MCA	Fibres	Prélèvement	Durée [min]	#Echant.	Min.	Max.	Moyenne	Pays	Année
Inspection au-dessus des faux-plafond (avec aspiration à la source)	Ouvrier du bâtiment	Flocage de plafond	---	---	---	11	< LOQ	0,09	0,02	USA	1987
Perçage (imprégnation avec enduis/peinture, sans aspiration)	Ouvrier du bâtiment	Flocage	---	---	---	7	1	5,8	3,4	USA	1979
Dépose d'objets montés sur le plafond	Ouvrier du bâtiment	Flocage	---	Individuel	---	12	---	---	1,2	USA	1977

Tableau 9 Intervention sur ou à proximité directe du matériau amianté – Général, non-spécifié

Activité (acte exposant)	Profession	MCA	Fibres	Prélèvement	Durée [min]	#Echant.	Min.	Max.	Moyenne	Pays	Année
Travaux de rénovation et entretien	Ouvrier d'entretien de construction,	Flocage	Chrysotile	Individuel	---	37	0,07	2	0,19 (G)	USA	1984
				Individuel	---	105	0,05	2	0,13 (G)	---	---
	Ouvrier métallier	Flocage	---	Ambiant	173	9	< LOQ	0,083	0,023	---	---
				Ambiant	---	4	---	0,33	---	---	---
				Individuel	---	5	< 0,01	1,2	0,11 (G)	---	---
	Ouvrier métallier	Flocage	---	Individuel	73	5	---	0,067	0,054	---	---
				Individuel	209	3	0,05	0,142	0,082	---	---
Individuel	255	4	< LOQ	0,57	0,17	---	---				
Chantier de déflocage arrêté	---	Flocage	Amphibole	Ambiant	---	1	---	---	0,076	---	---
Entretien de voies de chemins de fer (sans aspiration)	Ouvrier en transports ferroviaires	Plafond floqué d'un tunnel	---	Ambiant	64	1	---	---	0,016	---	---
				Individuel	68	1	---	---	0,01	---	---

4.4 Pour les différentes catégories de populations considérées, quel est le niveau d'exposition estimé ? Est-il possible de définir des scénarii génériques d'exposition, qui identifieraient la fréquence et la durée des activités potentiellement exposantes à des fibres d'amiante pour les différentes catégories de population ?

Le tableau ci-dessous répertorie les scénarii génériques d'exposition à l'amiante considérés comme actuels (post-interdiction de l'amiante au début des années 1990), notamment pour les populations considérées en début de chapitre (cf. Question 4A). L'approche utilisée pour la création de ce tableau repose sur les étapes décrites ci-dessous.

- (i) Dans un premier temps, l'approche consiste à lister les professions concernées par une éventuelle exposition à l'amiante. La matrice emploi-exposition de la base française « Ev@lutil » est utilisée à cet effet (107). Les valeurs relatives ont été extraites pour les différents métiers-types pour la période^h la plus récente disponible, généralement ultérieure à 2006 ; à l'exception des électriciens (ultérieure à 2001), des plâtriers et des conducteurs d'installation d'incinération (2001 à 2005), ainsi que des ouvriers de démolition (ultérieure à 1998). Le tableau 10 ci-dessous se réfère donc aux scénarii d'exposition pour les métiers actuels concernés par l'amiante.

Ces scénarii sont regroupés en trois groupes (les scénarii exposants plus élevés, les intermédiaires et les plus bas). Cette catégorisation qualitative est basée sur les valeurs d'intensité de l'exposition ainsi que sur la fréquence de l'activité dans la profession (population) concernée. On identifie donc les ouvriers de démolition ainsi que les techniciens en chauffage, ventilation et réfrigération comme étant les professions les plus exposantes. Les charpentiers / menuisiers ainsi que les parqueteurs sont, quant à eux, parmi les groupes les moins exposés à l'amiante dans leur cadre professionnel. Il est à noter que les valeurs relatives de ce tableau expriment toujours la moyenne journalière pour une profession en particulier, et les pics d'exposition « aigus » (c'est-à-dire liés à une activité en particulier comprise dans le cadre de cette profession) sont donc lissés.

^h Appelée 'emploi-période' afin de tenir compte des éventuelles évolutions techniques et de réglementation susceptibles de faire varier l'exposition pour une profession donnée

Tableau 10 Scénarii génériques d'exposition à l'amiante en Suisse – Cadre professionnel

Scénarii exposants	Activité ('acte exposant')	Source d'exposition	Population concernée	Intensité de l'exposition (valeur relative en fibres par millilitre d'air – f/mL)	Fréquence de l'activité*	Proportion de sujets exposés	Durée de l'activité
Elevé	Exposition professionnelle	Bâtiment contenant de l'amiante	Ouvrier de démolition	1-10	5-30%	30-70%	8h / jour
	Exposition professionnelle	Bâtiment contenant de l'amiante	Technicien en chauffage, ventilation et réfrigération	0.001-0.1	5-30%	1-5%	8h / jour
Intermédiaire	Exposition professionnelle	Bâtiment contenant de l'amiante	Plombier	0.0001-0.01	<5%	5-30%	8h / jour
	Exposition professionnelle	Bâtiment contenant de l'amiante	Soudeur	0.0001-0.01	<5%	5-30%	8h / jour
	Exposition professionnelle	Bâtiment contenant de l'amiante	Monteur de chaudières	0.0001-0.01	<5%	5-30%	8h / jour
	Exposition professionnelle	Disques de freins	Mécanicien automobile	0.0001-0.01	<5%	1-5%	8h / jour
	Exposition professionnelle	Objets / matériau contenant de l'amiante	Conducteur d'installation d'incinération des ordures	0.0001-0.01	<5%	<5%	8h / jour
	Exposition professionnelle	Bâtiment contenant de l'amiante	Applicateur de matériaux d'insonorisation	0.0001-0.01	<5%	<5%	8h / jour
	Exposition professionnelle	Bâtiment contenant de l'amiante	Calorifugeur	0.0001-0.01	<5%	<5%	8h / jour
	Exposition professionnelle	Bâtiment contenant de l'amiante	Électricien	0.0001-0.01	<5%	<5%	8h / jour
	Exposition professionnelle	Bâtiment contenant de l'amiante	Peintre en bâtiment	0.0001-0.01	<5%	<5%	8h / jour
	Exposition professionnelle	Bâtiment contenant de l'amiante	Couvreur	0.0001-0.01	<5%	<5%	8h / jour
	Exposition professionnelle	Bâtiment contenant de l'amiante	Plâtrier	0.0001-0.01	<5%	<5%	8h / jour
	Exposition professionnelle	Bâtiment contenant de l'amiante	Carreleur	0.0001-0.01	<5%	<5%	8h / jour
	Bas	Exposition professionnelle	Bâtiment contenant de l'amiante	Charpentier / menuisier	<0.0001	0%	<5%
Exposition professionnelle		Bâtiment contenant de l'amiante	Parqueteur	<0.0001	0%	<5%	8h / jour

* en pourcentage du temps de travail

- (ii) Dans un deuxième temps, l'approche utilisée consiste à compléter cette liste en ajoutant les activités ('actes exposants') qui pourraient être entreprises par des non-professionnels (« bricoleurs »), potentiellement non-avertis de la présence d'amiante. Ces activités additionnelles correspondent à de petits travaux de maintenance, de rénovation ou de décoration effectués dans le cadre privé, et l'exposition à l'amiante intervient donc dans le cadre 'ménager' (« *household exposure* »). Pour cette deuxième étape, c'est la base documentaire de cette même base « Ev@lutil » qui sert à répertorier les activités additionnelles (107). Le tableau 11 ci-dessous se réfère à ces activités additionnelles, et leurs valeurs relatives sont empruntées aux valeurs d'exposition professionnelle correspondantes sur la période disponible la plus récente.

Etant donné l'impossibilité d'estimer la proportion de « bricoleurs » dans la population générale ainsi que leurs habitudes, il n'est pas possible de présupposer une fréquence et durée d'activité-type pour ces scénarii d'exposition à l'amiante. Les colonnes correspondantes du tableau (fréquence de l'activité ; proportion de sujets exposés ; durée de l'activité) sont donc laissées vides. Un bricoleur devra dès lors identifier lui-même son exposition éventuelle selon sa propre régularité de pratique (bricoleur occasionnel ou régulier).

Les scénarii du tableau 11 sont classés par ordre d'exposition décroissante, en se basant sur la valeur supérieure des intensités relatives. Au contraire du cadre professionnel illustré au tableau Tableau 10 en page précédente, les valeurs relatives pour l'intensité de l'exposition expriment ici une quantité de fibres d'amiante propre à une activité en particulier, et non lissée sur le profil journalier d'une profession-type. Il en résulte des intervalles beaucoup plus larges et donc une variabilité plus grande inter- et intra-activité.

Trois groupes d'activité peuvent être définis parmi les éléments du tableau, selon leur caractère d'action sur le matériau amianté : les activités de retrait, les actions mécaniques (perçage, ponçage, découpe, etc ;), et les activités de nettoyage. D'après le classement par ordre d'exposition décroissante, les actions de retrait apparaissent de manière générale comme étant plus exposantes que les actions mécaniques ou les activités de nettoyage. Cela reste néanmoins fortement variable d'une activité à l'autre, et il ne s'agit ici que d'un constat 'moyen' par groupe d'action.

Tableau 11 Scénarii génériques d'exposition à l'amiante en Suisse – Cadre ménager (« household exposure »)

Groupes d'activité	Activité ('acte exposant')	Source d'exposition	Population concernée	Intensité de l'exposition (valeur relative en fibres par millilitre d'air – f/mL)	Fréquence de l'activité	Proportion de sujets exposés	Durée de l'activité
Activité de retrait	Enlèvement enduit et produit de jointage	Elément amiante à domicile	« Bricoleurs »	0,003-47,8	---	---	---
Activité de retrait	Retrait calorifuge	Elément amiante à domicile	« Bricoleurs »	0,005-20,3	---	---	---
Action mécanique	Ponçage enduit et produit de jointage	Elément amiante à domicile	« Bricoleurs »	0,01-4,18	---	---	---
Action mécanique	Perçage amiante-ciment	Elément amiante à domicile	« Bricoleurs »	0,12-2,46	---	---	---
Activité de retrait	Retrait amiante-ciment	Elément amiante à domicile	« Bricoleurs »	0,006-2,03	---	---	---
Activité de retrait	Retrait composite résine amiantée	Elément amiante à domicile	« Bricoleurs »	0,004-1,63	---	---	---
Activité de retrait	Retrait joints et garnitures	Elément amiante à domicile	« Bricoleurs »	0,001-0,765	---	---	---
Action mécanique	Ponçage amiante-ciment	Elément amiante à domicile	« Bricoleurs »	0,44	---	---	---
Activité de nettoyage	Opération de nettoyage (autre)	Elément amiante à domicile	« Bricoleurs »	0,19-0,36	---	---	---
Activité de nettoyage	Opération de nettoyage (balayage)	Elément amiante à domicile	« Bricoleurs »	0,14-0,3	---	---	---
Action mécanique	Découpe amiante-ciment	Elément amiante à domicile	« Bricoleurs »	0,04-0,24	---	---	---
Action mécanique	Peinture amiante-ciment	Elément amiante à domicile	« Bricoleurs »	0,07-0,22	---	---	---
Action mécanique	Ponçage peinture	Elément amiante à domicile	« Bricoleurs »	0,17	---	---	---
Activité de nettoyage	Nettoyage amiante-ciment	Elément amiante à domicile	« Bricoleurs »	0,054-0,119	---	---	---
Action mécanique	Ponçage composite résine amiantée	Elément amiante à domicile	« Bricoleurs »	0,0465	---	---	---
Action mécanique	Ponçage joints et garnitures	Elément amiante à domicile	« Bricoleurs »	0,03	---	---	---
Action mécanique	Découpe joints et garnitures	Elément amiante à domicile	« Bricoleurs »	0,002-0,02	---	---	---

- (iii) Dans un troisième temps, la liste est complétée par les scénarii d'exposition intervenant hors contexte professionnel ou hors activités menées par des « bricoleurs », en se référant aux situations exposées en début de chapitre (cf. Question 4A). Le tableau 12 ci-dessous se réfère donc aux différentes situations éventuelles d'exposition 'environnementale' (dont l'exposition dite 'domestique') et 'para-professionnelle' pour la population générale. Lorsqu'il n'est pas possible de quantifier la fréquence d'occurrence des matériaux amiantés et leur état (par exemple dans le cas de matériaux amiantés dégradés à domicile), les cases correspondant à la proportion d'individus exposés, ainsi que les fréquences et durées d'exposition sont laissées vides.

Dans le cadre d'une éventuelle exposition « para-professionnelle », la durée d'occupation de bâtiments amiantés, tels que des écoles, intervient de manière variable en fonction du corps de métier concerné (écoliers, enseignants, personnel technique). Les chiffres indiqués ici sont repris du rapport d'évaluation des risques liés à l'amiante au Collège des Dents-du-Midi, sur la commune d'Aigle (VD, Suisse) (100, 108), et indiquent une durée de présence annuelle moyenne ou pessimiste (en prenant en compte d'éventuelles années de redoublement pour les écoliers, et l'ancienneté du métier pour les enseignants). La durée d'occupation des locaux d'une personne exerçant un métier technique ou administratif est basée sur un taux d'activité à 100%.

En raison de la variabilité des scénarii d'exposition, il n'est pas possible d'indiquer ici des valeurs relatives exprimant l'intensité d'exposition générales dans le cadre « para-professionnel. » La situation est similaire dans le cadre 'environnemental', pour des estimations de potentiel d'exposition à domicile (matériaux amiantés dégradés) ou dans des bâtiments publics fréquentés à occurrence extrêmement variable. Les études liées à la quantité d'amiante dans les bâtiments à caractère professionnel ou publics (bruit de fond environnemental) devraient être menées au cas-par-cas, en fonction des scénarii d'exposition spécifiques à la situation. La technique de mesure par tamponnage de surfaces potentiellement contaminées par une déposition de fibres ou agglomérats de fibres d'amiante est ici conseillée (norme internationale ISO 16000-27). En assurant une sensibilité maximale et en prévenant les aléas de mesures liées aux mouvements d'air, cette technique offre une très bonne complémentarité à la mesure de fibres d'amiante respirables dans l'air (norme VDI 3492). A titre d'exemple, l'état de Genève a ainsi mené en 2016 une campagne d'évaluation du bruit de fond environnemental en fibres d'amiante dans plusieurs lieux publics de la ville (bâtiments et transports publics, habitations) en utilisant cette technique de tamponnage, et a pu démontrer une absence de dépôts d'amiante sur toutes les surfaces étudiées (109). Il est à noter que lors de travaux du bâtiment en Suisse, un chantier est actuellement libéré (fin des travaux et des restrictions d'accès, autorisation de (ré)occupation du lieu) lorsque l'intensité de l'exposition est inférieure à 700 fibres d'amiante par mètre cube d'air (équivalent à 0.0007 fibres / mL) (3).

Tableau 12 Scénarii génériques d'exposition à l'amiante en Suisse – Cadres para-professionnel (domestique) et environnemental

Activité ('acte exposant')	Source d'exposition	Population concernée	Intensité de l'exposition (valeur relative en fibres par millilitre d'air – f/mL)	Fréquence de l'activité	Proportion de sujets exposés	Durée de l'activité
Occupation de bâtiments amiantés en exerçant son métier	Bâtiments contenant des matériaux amiantés (bureaux, crèches, écoles,...)	Personnel administratif, enseignants et personnel scolaire, enfants, écoliers et étudiants	---	5 jours / semaine	---	940-1200h/année (écoliers), 582-1482 h/année (enseignants), 1920 h/année (personnel admin.) ⁱ (108)
Entretien de vêtements ou matériel de travail pollués à l'amiante (exposition « domestique ») ^j	Vêtements / matériel de travail pollué à l'amiante	Partenaires de vie, bébés, enfants, jeunes	---	---	---	---
Vie quotidienne (cadre privé, à domicile)	Matériaux amiantés (dégradés) dans le domicile ou les bâtiments publics	Adultes, bébés, enfants, jeunes	---	---	---	---
Situations de voisinage de mines/carrières d'amiante	Sources naturelles d'amiante ^k	Adultes, bébés, enfants, jeunes	---	---	---	---

ⁱ Les chiffres donnés ici correspondent aux valeurs de durées d'activité estimées pour le cas particulier de l'évaluation des risques liés à l'amiante au Collège des Dents-du-Midi à Aigle (VD, Suisse) (108).

^j L'acte exposant n'est plus d'actualité (cf. Chapitre 4 – 4B). La situation est tout de même incluse dans ce tableau en raison du temps de latence pour l'apparition de maladies liées à une exposition à l'amiante ayant eu lieu selon ce scénario.

^k Absence de terrains amiantifères en Suisse.

4.5 La distinction entre exposition à faible dose et exposition à forte dose est-elle pertinente ? Sur quelles valeurs cette distinction est-elle basée ?

Une distinction entre les expositions dites « à forte dose » et « à faible dose » sert à discriminer les expositions des cohortes de travailleurs sur lesquels sont basés les modèles dose-réponse (« travailleurs de l'amiante » datant d'avant l'interdiction d'utilisation, vente et production du matériau) des expositions inférieures, pour lesquelles il est nécessaire d'extrapoler les données des modèles dose-réponse. Les expositions des cohortes considérées par le Dutch Expert Committee for Occupational Safety (DECOS) (2) pour l'établissement de son modèle de risque se montent entre 0.4 – 256.57 fibre-année par millilitre (« FA »)¹ (91, 110-114). Il est à noter qu'au contraire du rapport de l'OMS de 1987, le DECOS a restreint ses critères de sélection des études concernées pour le calcul de risque, afin d'améliorer la qualité des études retenues et ainsi réduire autant que possible les incertitudes du modèle. Il est à noter qu'en regard de ces doses dites « faibles » (hors « travailleurs de l'amiante », nous ne savons pas aujourd'hui quel est l'impact sur le risque d'une exposition aiguë (pic de quantité d'amiante lors d'une activité particulière), intermittente ou très variable, à l'image de l'exposition probable des « bricoleurs » dans un domicile amianté.

¹ Ceci correspond aux données de quatre études prenant en compte une exposition à l'amiante serpentine, ou à une exposition mixte serpentine – amphibole (environ 80% amosite – 20% chrysotile). Pour compléter son calcul de risque aux différents scénarii possibles en terme de types d'amiante, le DECOS a également pris en compte deux études supplémentaires dont l'exposition concernait purement de l'amiante amphibole (crocidolite et amosite), malgré le fait qu'elles ne correspondaient pas à tous leurs critères de qualité. Ces deux études supplémentaires montrent des expositions de l'ordre de 0.11 à 375 fibre-année par millilitre (« FA »).

5 Caractérisation du risque, limitations et projections

Ce chapitre synthétise les informations abordées dans les deux volets de l'équation du risque, c'est-à-dire le danger toxicologique (cf. Chapitre 3) ainsi que les scénarii d'exposition et populations exposées (cf. Chapitre 4), afin d'en tirer une caractérisation qualitative du risque. La question de la vulnérabilité des enfants face à l'amiante est également abordée, ainsi que les limitations actuelles et les projections quant à la prévention des risques liés à l'amiante en Suisse.

5.1 Quels sont les résultats de l'évaluation des risques ? Quelles sont les populations les plus à risque, et dans quels contextes ?

Cette question engendre une réflexion générale sur l'analyse des scénarii génériques d'exposition proposée au chapitre 4 – 4D. Une classification qualitative des différentes populations concernées par l'évaluation du risque lié à l'amiante est proposée dans la figure 1, comprenant trois groupes selon le niveau de priorisation du risque, avec un risque augmentant de gauche à droite. Il est important de garder à l'esprit que même si cette classification propose trois groupes distincts, le contexte réel engendre un *continuum* du niveau d'exposition, et donc du risque associé.

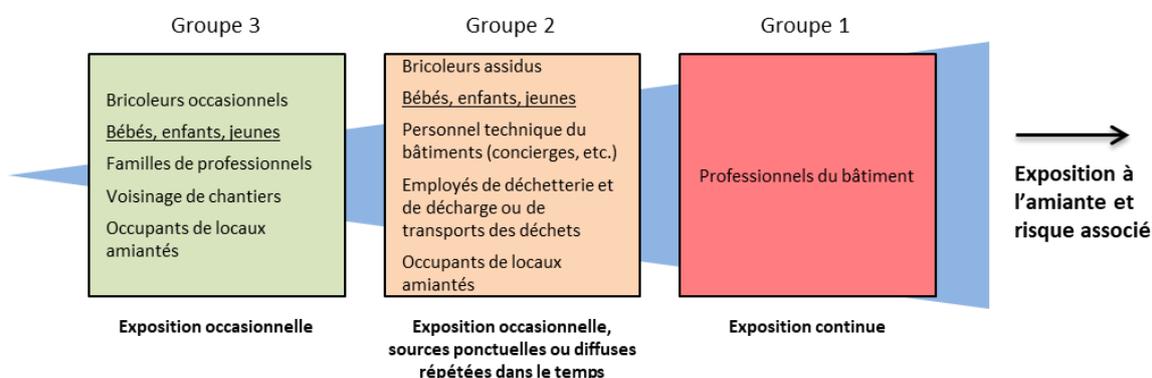


Figure 1 Classification des groupes de populations concernées par une exposition à l'amiante selon leur exposition potentielle et le risque associé

5.1.1 Exposition continue

Groupe 1 (figure 1, panel de droite) : ce groupe représente les populations pour lesquelles l'exposition peut être considérée comme continue, à intensité variable. En l'occurrence, il s'agit des travailleurs exerçant des métiers du bâtiment dont l'activité est susceptible d'engendrer une exposition aux matériaux amiantés installés avant l'interdiction de l'amiante. Le lecteur se référera au tableau 10 du chapitre 4 – 4D pour une sous-classification du niveau d'exposition (et donc du risque, à danger toxicologique équivalent) à l'intérieur de ce groupe, selon les intensités relatives. Ces intensités relatives représentent des valeurs annuelles, « lissées » par l'ensemble des activités conduites par les travailleurs d'un corps de métier donné. Les métiers actuels apparaissant comme les plus à risque sont les ouvriers de démolition, ainsi que les techniciens en chauffage, ventilation et réfrigération. De par leur caractère professionnel, ces expositions sont considérées comme continues sur toute la durée de l'emploi (chronicité), et le risque cumulé vie-entière est donc non-négligeable.

5.1.2 Exposition occasionnelle, sources ponctuelles ou diffuses et répétées dans le temps

Groupe 2 (figure 1, panel central) : ce groupe représente les populations pour lesquelles l'exposition intervient de manière occasionnelle (sources ponctuelles d'intensité plus ou moins élevée), ou pour lesquelles l'exposition est basée sur des sources diffuses répétées sur de longues périodes. On retrouve dans ce groupe les « bricoleurs assidus » (selon une auto-évaluation subjective des personnes concernées en fonction de la régularité de leurs activités dans le cadre privé), les employés techniques du bâtiment tels que les concierges, les employés de déchetterie et de décharge et les professionnels du transport de déchets, ainsi que toutes les personnes concernées par une exposition chronique diffuse par occupation de locaux amiantés (par exemple en exerçant leur profession dans le cas des enseignants ou du personnel administratif des écoles ou autres bâtiments amiantés). Il s'agit ici d'une exposition passive, associée au relargage de matériaux faiblement agglomérés lors de l'usage normal des locaux. Les bébés, enfants et jeunes sont mis en évidence car nécessitant une attention particulière, pour les raisons développées dans la question 5B suivante. Pour ces populations, l'évaluation du risque est uniquement basée sur des valeurs relatives d'exposition durant les activités exposantes elles-mêmes (effet aigu potentiellement répété dans le temps). Ici, il n'est pas possible d'estimer un risque cumulé vie-entière car on ne peut pas généraliser la fréquence, ni la durée des activités exposantes en question. Il convient de relever également le manque d'information de ces populations quant à la présence potentielle d'amiante dans les locaux (écoles, bâtiments) et matériaux concernés par diverses activités de bricolage ou de gestion des déchets. Ce manque d'information est susceptible de nuire à une gestion du risque adéquate, par exemple par une absence de mesures de protection (équipement personnel) ou d'encadrement de certaines activités à risque.

5.1.3 Exposition occasionnelle

Groupe 3 (figure 1, panel de gauche) : ce groupe représente les populations pour lesquelles l'exposition à l'amiante est occasionnelle et/ou à dose très faible. On retrouve dans ce groupe les « bricoleurs occasionnels » (à distinguer des « bricoleurs assidus » par une auto-évaluation

subjective des personnes concernées en fonction de la régularité de leurs activités dans le cadre privé), les familles des travailleurs mentionnés dans le groupe 1, les situations de voisinage de chantiers, ainsi que les bébés, enfants et jeunes. Tout comme pour le groupe 2, l'analyse des scénarii génériques d'exposition proposée au chapitre 4 – 4D, hors contexte professionnel, révèle un manque important de données dans la littérature actuellement disponible pour quantifier les expositions et le risque associé de ces populations.

5.2 Les bébés, les enfants et les adolescents sont-ils une population particulièrement à risque ? Pour quelles raisons ?

Les bébés, enfants et adolescents sont une population particulière lorsqu'il s'agit de définir le risque de développer une maladie suite à l'exposition à une substance toxique. L'apparition de la maladie peut survenir durant l'enfance et l'adolescence ou à l'âge adulte. En l'occurrence, le mésothéliome malin est extrêmement rare chez l'enfant et l'adolescent. Il se présente souvent au niveau du péritoine et ne semble pas être associé à une exposition à l'amiante, comme le confirme une récente revue européenne d'une trentaine de cas (115).

Lorsque l'on intègre cette population à un modèle de calcul du risque de développer un cancer à l'âge adulte suite à une exposition à l'amiante, les bébés, enfants et adolescents apparaissent comme étant plus à risque : ceci est dû à leur nombre moyen « d'années de vie restantes » (potentielles), qui est plus élevé que pour des personnes adultes et seniors plus avancés dans leur vie (116). Ce nombre d'années encore à vivre étant élevé et le temps de latence des maladies liées à l'amiante également, il en résulte inévitablement un risque cumulé vie-entière plus grand de développer l'une ou l'autre de ces maladies. Pour une personne ayant été exposée à l'amiante pour la première fois à l'âge de 5 ans, le risque de développer un mésothéliome a été estimé entre 3.5 et 5 fois plus élevé que pour une personne exposée à l'amiante pour la première fois à l'âge adulte, respectivement entre 25 et 30 ans (117). Cependant, il s'agit de développer la question du risque de cette population au-delà de l'évidence « mécanistique » du modèle – les bébés, enfants et adolescents sont-ils particulièrement vulnérables de par une exposition supérieure en raison de leur comportement ou d'autres facteurs, et/ou par une susceptibilité accrue à la toxicité des fibres d'amiante en raison de leurs tissus pulmonaires (ou autres tissus cibles) en développement ?

Une éventuelle différence d'exposition entre une population adulte et une population jeune peut s'expliquer par des facteurs de comportement, de fréquentation de locaux amiantés et/ou certains facteurs biologiques. Les jeunes, en particulier les petits enfants, auront plus tendance à jouer au niveau du sol et se salir les mains (voire ingérer de la terre ou de la poussière intentionnellement ou par inadvertance) que les adultes, augmentant par ce fait leur exposition aux fibres d'amiante potentiellement contenues dans la terre, ou déposées au sol (exposition 'environnementale' ou 'domestique' ; (8) ; cf. Chapitre 2 – 2D). Il faut encore relever que certains jouets des années 1960 et 1970 utilisaient une pâte modelable qui durcissait à température ambiante, et qui contenait de l'amiante (118). Par ailleurs, certains facteurs biologiques peuvent également entrer en compte dans la détermination de la dose d'exposition : en effet, les enfants boivent plus d'eau par

kilogramme de poids corporel que les adultes. Si une exposition intervient par voie orale (cf. Chapitre 3 – 3B), la dose relative d’amiante par rapport au poids corporel sera donc plus élevée pour les enfants. Le constat est similaire pour l’exposition aux fibres d’amiante par voie d’inhalation (respiration de poussières contenant des fibres d’amiante dans des locaux pollués par des matériaux amiantés faiblement agglomérés ou, plus rarement, fortement agglomérés pendant/après travaux), puisque les volumes d’air respirés par kilogramme de poids corporel sont plus élevés chez les jeunes, en particulier les bébés et les enfants, que les adultes (8).

Ces modèles doivent également prendre en compte d’autres facteurs respiratoires tels que la profondeur (superficialité) du souffle ou la géométrie des voies respiratoires pour déterminer la dose relative des enfants (charge corporelle) par rapport aux adultes (117), car il est possible que ceux-ci contrebalancent, du moins en partie, l’intensité relative de la respiration. Nous ignorons actuellement si cette différence de dose (‘absolue’ ou ‘relative au poids corporel’) impacterait le risque de développement d’une maladie liée à l’amiante. Selon la composition des bâtiments scolaires et la présence d’amiante dans les écoles (surtout à l’état faiblement aggloméré tels que les faux-plafonds), les écoliers peuvent également être exposés passivement plusieurs heures par jour ou par semaine à de faibles concentrations ambiantes en amiante. La fréquentation des bâtiments scolaires contenant des matériaux amiantés faiblement agglomérés en particulier est problématique, car ce sont souvent des locaux à haute dynamique de fréquentation (flux et volume d’individus), plus à même de créer des perturbations dans l’air (même mineures) susceptibles de déclencher la libération de fibres d’amiante de ces matériaux, que les bâtiments à faible dynamique de fréquentation comme les domiciles (117). Pour toutes ces raisons de comportements, de fréquentation de locaux et de facteurs biologiques, il convient donc d’examiner la dose d’exposition de manière séparée pour les populations adultes et enfantines.

Le deuxième aspect du risque à examiner pour la population jeune est l’effet toxique d’une dose d’amiante donnée en comparaison à une population adulte. Les jeunes, et en particulier les bébés et les enfants, pourraient effectivement être plus à risque que les adultes d’un point de vue biologique (facteurs intrinsèques) vis-à-vis du statut ‘en développement’ de leur physiologie et des différents tissus potentiellement touchés. On parle ici de susceptibilité (117), un point de vue qui se base sur un raisonnement physiologique prenant en compte les différences développementales notamment des systèmes respiratoires (fonctionnement des alvéoles, morphologie du système) et immunitaire (production d’anticorps, réaction des cellules du système inné et acquis) entre les jeunes et les adultes, particulièrement dans les phases critiques de développement (fenêtres de susceptibilité accrue).

Chez l’humain, les poumons atteignent leur maturité aux environs de 15 ans, le nombre et la taille des alvéoles augmentant de manière continue jusque vers la moitié de l’adolescence. Il en résulte une surface d’échange gazeux moins grande et un diamètre plus faible des voies respiratoires chez les enfants que chez les adultes, ce qui pourrait affecter la déposition, la retenue et l’évacuation de fibres d’amiante inhalées. Dans le cas du mésothéliome et d’autres cancers non-localisés aux poumons, les mécanismes de translocation des fibres du poumon vers les autres organes sont également susceptibles d’être différents dans des tissus et matrices biologiques en développement. Le raisonnement est similaire pour l’absorption des fibres à travers la paroi gastro-intestinale immature lors d’une exposition par voie orale. Il existe également de nombreuses différences d’activité de certaines enzymes selon les stades développementaux, qui peuvent influencer le

métabolisme, l'inactivation et l'évacuation de xénobiotiques, ainsi que la capacité de réparation ou régénération de certains tissus lésés (8).

Malgré de nombreuses hypothèses sur les mécanismes biologiques possibles, les données animales sur cette question sont rares. Une étude par Barry et Wagner (119) a utilisé un modèle murin pour investiguer la différence de susceptibilité à l'amiante entre des jeunes rats de 2 et 10 mois – dans leur expérience, le taux de mésothéliome était plus élevé chez les rats de 10 mois. Cette étude, publiée en 1976, a néanmoins utilisé une voie d'exposition non-représentative d'une exposition humaine (injection intra pleurale), et le parallèle biologique en terme de développement entre des jeunes rats et des enfants humains est encore controversé. Une étude épidémiologique récente, conduite sur la population de Wittenoom (Australie de l'Ouest) exposée à l'amiante pendant l'enfance, conclut par ailleurs à une absence de risque plus élevé chez les populations jeunes par rapport aux individus exposés à l'âge adulte (116). De même, une étude par Hansen et collègues (120) conduite sur cette même cohorte australienne relève une absence d'association entre le risque de mésothéliome et l'âge auquel a eu lieu la première exposition à l'amiante (crocidolite). A ce jour néanmoins, le comportement des fibres d'amiante dans les systèmes physiologiques des populations jeunes – bébés, enfants et adolescents – reste encore largement inconnu, et seul le principe de précaution peut prévaloir sur cette question de susceptibilité toxicologique.

Ainsi, en l'absence d'un consensus scientifique sur la susceptibilité accrue des enfants face à la toxicité de l'amiante, il convient, par principe de prévention dû au nombre d'années plus élevé restant à vivre, de considérer les populations jeunes comme étant plus à risque que les adultes dans le cadre d'une exposition à l'amiante (100, 108).

5.3 Quelle est la validité scientifique des modèles dose-réponse actuellement utilisés, en lien avec les éléments suivants : taille et forme des fibres, types d'amiante, exposition des travailleurs d'aujourd'hui, exposition non-professionnelle et para-professionnelle d'aujourd'hui, exposition des populations vulnérables et des enfants en particulier ? Quelles sont les éventuelles recommandations quant à l'utilisation d'un modèle dose-réponse pour de futures analyses de risque ?

Les modèles scientifiques de dose-réponse utilisés pour le calcul du risque lié à l'exposition à l'amiante comprennent plusieurs limitations.

Premièrement, toutes les tailles et formes de fibres ne sont pas incluses dans les modèles, qui ne prennent en compte que les fibres dites « réglementées » correspondant à la définition de l'OMS (cf. Chapitre 2 – 2E). On sait actuellement que toutes les expositions aux fibres d'amiante

« réglementées » sont concomitantes avec une exposition aux fibres courtes et fines, pour lesquelles les effets toxiques ne sont pas encore clairement définis. Cette exposition mixte avait également lieu dans le passé – les modèles ont donc toujours pris en compte ce facteur partiellement, du fait qu'ils ont été construits sur des individus exposés simultanément à plusieurs types de fibres (en taille et en forme). Il n'est en revanche pas possible, *a posteriori*, de définir la part du modèle liée à l'exposition aux fibres « réglementées » versus aux fibres courtes et/ou fines.

Une deuxième incertitude liée aux modèles dose-réponse utilisés pour le calcul du risque, cette fois-ci ayant une incidence plus importante sur le calcul du risque, est la non-prise en compte du type de fibre d'amiante (serpentine vs. amphiboles), contrairement au modèle du DECOS (2). Cela devrait particulièrement être le cas pour le calcul de risque du mésothéliome, pour lequel on sait que les amphiboles sont plus enclines à déclencher ce type de cancer que l'amiante serpentine (chrysotile).

Enfin, un effort devrait être fourni pour mieux caractériser les scénarii d'exposition des populations actuellement à risque, à savoir surtout hors du cadre professionnel (exposition para-professionnelle des occupants de bâtiments amiantés, y compris les enfants et jeunes, expositions environnementales actuelles et exposition ménagère (*household*) dans le cas « bricoleurs ») – ceci dans le but d'améliorer les incertitudes liées à l'exposition chronique de ces populations, et permettre une analyse du risque grâce à un modèle dose-réponse.

5.4 L'association entre la quantité d'amiante importée et le nombre de cas déclarés de mésothéliome est-elle pertinente ? Quelles projections sont envisagées pour la suite, en tenant compte notamment de l'exposition des travailleurs depuis l'interdiction de l'amiante ?

Jusqu'à récemment, une association entre la quantité d'amiante importée en Suisse et le nombre de cas de mésothéliomes avait été reportée par la SUVA (4), dans laquelle figurait une symétrie quasi-totale entre ces deux courbes, séparées en fonction du temps de latence du mésothéliome (figure 2). La pertinence de la courbe ascendante est en effet avérée, car l'exposition à l'amiante a augmenté en parallèle des importations d'amiante brute et de produits amiantés en Suisse. Il était attendu que le maximum de la courbe des cas de mésothéliome soit atteint aux alentours de l'année 2015, puis que la courbe descendante suive une inflexion similaire à la baisse drastique de l'importation d'amiante des années 1980-1990.

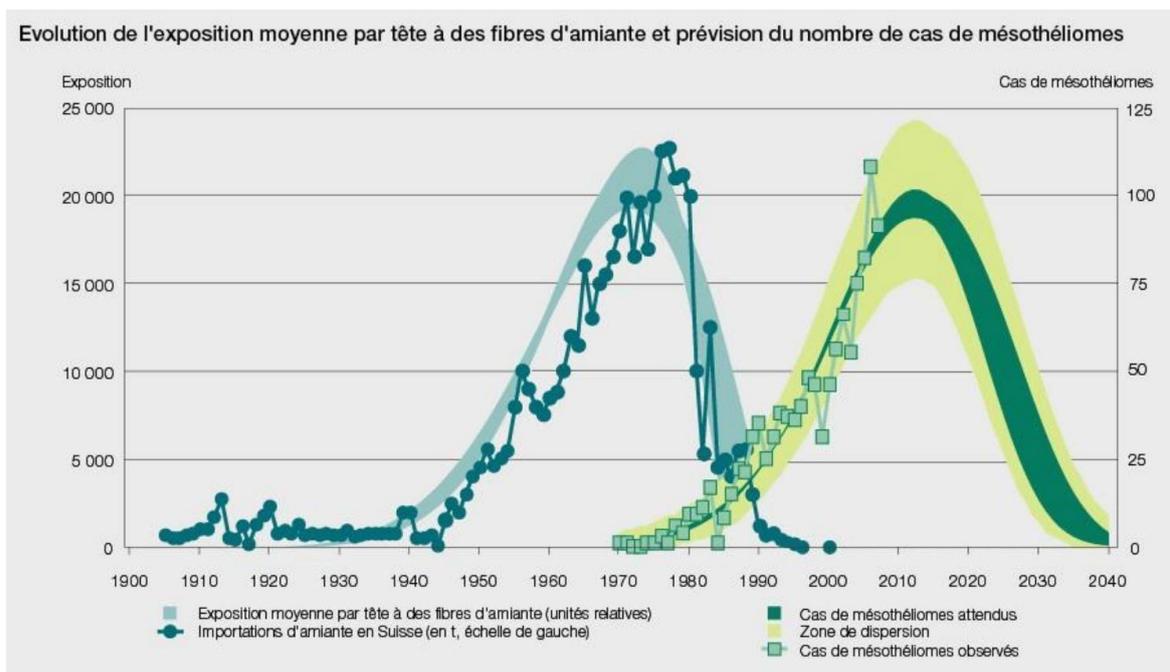


Figure 2 Importations d'amiante en Suisse, évolution de l'exposition moyenne par personne à des fibres d'amiante, cas de mésothéliomes observés et estimation des cas de mésothéliomes à venir. Modèle initial de 2015 (4)

Deux affirmations viennent contredire ce modèle. D'une part, le maximum de la courbe des cas de mésothéliomes est probablement sous-estimé, en raison du nombre de cas dus aux expositions para-professionnelles ainsi qu'aux expositions environnementales. Par ailleurs, il n'est pas pertinent de considérer que l'exposition s'arrête au moment de l'arrêt des importations d'amiante – même sans être nouvellement usinés et incorporés dans la construction, les matériaux amiantés créent encore de nombreuses expositions de par leur présence dans le bâtiment après l'interdiction de 1989. Celles-ci peuvent être de l'ordre professionnel, para-professionnel (occupation des locaux), ou environnemental (ménagères ou de voisinage), comme décrit dans le chapitre 4 – 4A et 4D. Tout comme le maximum, la courbe descendante du modèle érigé par la SUVA en 2015 s'avère donc probablement largement sous-estimée, en nombre de cas et en durée (inflexion).

Depuis lors, la SUVA a revu son modèle de prévision des cas de mésothéliome au fur et à mesure de la mise à jour des cas observés – ceux-ci commençant seulement à plafonner dans la dernière décennie, au lieu d'entamer la courbe descendante du modèle. La révision de ce modèle est exposée dans sa statistique annuelle de 2020 pour les accidents LAA (121) (Figure 3). Le modèle révisé prend cette fois-ci en compte une seconde vague d'exposition à l'amiante post-interdiction de 1989 (nommée « exposition secondaire »), en raison de la présence ubiquitaire des résidus amiantés dans la construction. La nouvelle courbe devrait dès lors atteindre un pic (plateau maximal) estimé aux environs de 2030 avec environ 170 nouveaux cas de mésothéliome par année, puis entamer sa redescente progressive.

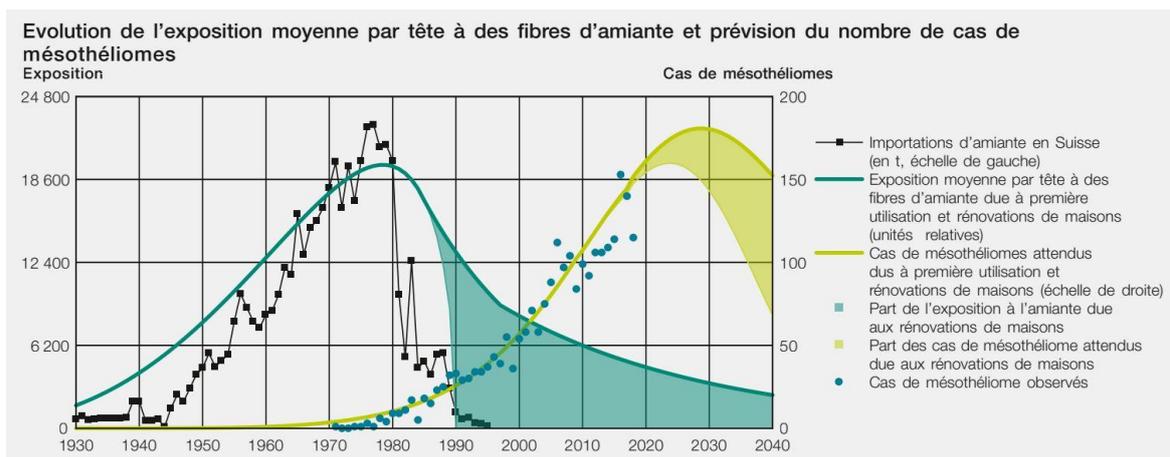


Figure 3 Importations d'amiante en Suisse, évolution de l'exposition moyenne par personne à des fibres d'amiante, cas de mésothéliomes observés et estimation des cas de mésothéliomes à venir. Modèle prévisionnel révisé de 2020 (121)

Ce scénario est plus réaliste que le premier modèle exposé en page précédente. Néanmoins, il ne prend en compte que les expositions dites « secondaires » dans le cadre professionnel, conformément au rôle de la SUVA en tant que caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents professionnels (par exemple, en cas de rénovation d'un bâtiment contenant des matériaux amiantés effectués par le corps de métier adéquat). Il convient donc, dans une perspective de santé publique, de prendre en compte également les cas de mésothéliome non-reconnus en tant que maladies professionnelles (typiquement les éventuels cas dus aux expositions des « bricoleurs » ou de leur entourage proche, notamment les enfants), pour les intégrer au modèle. Cela risque d'allonger encore le plateau des cas maximaux de mésothéliomes observés, de retarder le pic, et de ralentir la courbe descendante correspondante. Par ailleurs, il est important de rappeler que ce modèle ne considère que les cas de mésothéliomes, et non l'entier des maladies liées à l'amiante.

5.5 Sous quelle forme et dans quelles conditions une étude pourrait-elle être entreprise en Suisse pour obtenir les informations permettant d'estimer de manière réaliste le nombre de cancers du poumon en lien avec une exposition à l'amiante ?

Nous savons que le nombre de cancers du poumon liés à l'amiante est plus important que le nombre de mésothéliomes, mais ce problème est sous-estimé en raison de la multiplicité des causes possibles du cancer du poumon (46, 99) – la Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accident (SUVA) ne rapporte que les cas de cancers d'origine professionnelle. Malgré de relativement récentes découvertes sur une potentielle signature génétique des cancers pulmonaires induits par une exposition à l'amiante (122), il n'y a pas de critère histologique différentiel avéré entre un cancer du poumon causé par l'amiante ou par un ou plusieurs autres

facteurs. On attribue donc très probablement de manière largement incorrecte la cause de mort du cancer du poumon, conduisant de ce fait à une sous-estimation du nombre réel de cancers du poumon en lien avec une exposition à l'amiante (99).

Les scénarios d'études présentés ci-dessous pourraient être entrepris en Suisse afin d'estimer de manière la plus réaliste possible le nombre de cancers du poumon en lien avec une exposition à l'amiante.

Estimation du nombre de cancers du poumon dus à une exposition à l'amiante d'après les cas de mésothéliomes :

La quasi-totalité des cas de mésothéliomes est causée par une exposition à l'amiante, et l'incidence du mésothéliome est extrêmement faible en population générale non-exposée. Dès lors, il devient possible d'estimer le nombre de cancers du poumon d'après le nombre de mésothéliomes si l'on connaît le rapport d'incidence relative entre ces deux maladies. Cette incidence relative est estimée aux alentours de deux à six cas de cancer du poumon pour un cas de mésothéliome, selon le type de fibres d'amiante, par l'étude de McCormack et collègues, qui ont regroupé les données de 55 cohortes d'individus exposés à l'amiante (53). Alternativement, une adaptation à la population suisse du modèle robuste du DECOS (2) établi pour une exposition au chrysotile est envisageable pour estimer cette incidence relative, en corrigeant pour les données démographiques propres à notre pays.

Ce scénario présente l'avantage d'être une méthode relativement rapide. En revanche, elle nécessite, pour une estimation correcte, de recenser de manière complète tous les cas de mésothéliomes. Deux obstacles sont ici déterminants : la non-reconnaissance de certains cas de mésothéliomes par la SUVA – il faut alors confronter ces chiffres avec ceux des registres fédéraux comme l'Institut national pour l'épidémiologie et l'enregistrement du cancer (NICER – derniers chiffres en date pour la période 2013 – 2017 (123)) ou l'Office Fédéral de la Santé Publique (OFSP) via les registres cantonaux et extraire le chiffre le plus élevé – et l'absence de déclaration de cas de mésothéliomes aux assureurs suisses suite à un départ à l'étranger d'un travailleur exposé, un facteur qui reste difficile à estimer.

Estimation du nombre de cancers du poumon dus à l'exposition à l'amiante d'après une matrice emploi-exposition :

Ce scénario est envisageable pour les cas de cancers du poumon dus à une exposition à l'amiante dans le cadre d'une activité professionnelle actuelle, et non pour le risque dû à une exposition pour la population générale. Il concernerait donc les métiers actuels, dès 1990 et l'interdiction de l'utilisation de l'amiante (cf. Chapitre 4 – 4A et 4D). Une matrice emploi-exposition code de manière détaillée la profession (et l'historique professionnel) d'un travailleur, et croise ces données avec des informations relatives à l'exposition à un type particulier de polluant ou de nuisance. Ce scénario consisterait à utiliser une matrice française existante de type Matgéné (<https://expro.santepubliquefrance.fr/matrices>) spécifique à l'amiante, et croiser l'information d'exposition (que l'on peut estimer être similaire entre nos deux pays) avec la distribution du nombre de travailleurs par secteur professionnel ou corps de métiers propres à la Suisse au moyen

d'un recensement effectué par la Confédération. Il est important de mentionner la nécessité d'une mise à jour de ce type de matrice pour que les données d'exposition soient compatibles avec les expositions des métiers actuels (post-interdiction de l'amiante). A noter que du fait de la nature-même des matrices emploi-exposition, ce scénario contribuerait également à renforcer le focus sur les expositions professionnelles, et n'est donc probablement pas suffisante dans un cadre de santé publique d'évaluation du risque d'exposition à l'amiante.

Estimation prospective du nombre de cancers du poumon dus à l'exposition à l'amiante d'après les registres des tumeurs cantonaux :

Ce scénario consisterait à demander à ce qu'un codage officiel de la profession et de l'historique professionnel des individus soit ré-inclus dans les différents registres des tumeurs cantonaux. Cette étude se ferait sur une base prospective dès l'inclusion du codage. Ce scénario peut être relativement fastidieux à mettre en place en raison de la multiplicité des registres, des procédures y relatives ainsi que de l'incertitude liée au manque de mise à jour des données^m, mais possède l'avantage de regrouper dans un même registre les informations relatives à l'exposition professionnelle potentielle et à la maladie. Par contre, il met à nouveau l'accent sur les expositions professionnelles, de même que pour l'utilisation d'une matrice emploi-exposition.

5.6 Selon l'état actuel des connaissances scientifiques, quelles sont les éventuelles recommandations quant aux valeurs réglementaires en Suisse ?

En Suisse, la valeur moyenne d'exposition (VME) professionnelle, c'est-à-dire pour les métiers ayant trait directement aux matériaux amiantés, est fixée à 0.01 fibre d'amiante par millilitre d'air (0.01 f/mL, soit 10'000 f/m³ d'amiante dit « respirable »). Cette valeur seuil est estimée d'après la fréquence d'apparition de cas de maladies liées à l'amiante pour un travailleur exposé sur une durée de 8 heures par jour, 5 jours par semaine. En termes d'expositions chroniques (aussi appelées 'continues'), calculées sur 40 années d'exposition professionnelle, ces valeurs sont souvent traduites en nombre de fibres par année et par millilitre (abrégié « FA » pour « fibre-année »).

Dans un contexte de non-exposition présumée à l'amiante, c'est-à-dire pour des contextes d'occupation de locaux amiantés lors de l'activité professionnelle (exposition dite 'para-professionnelle'), ainsi que pour la population générale (contexte hors professionnel), un principe de minimalisation basé sur la perception du risque admissible s'applique et la valeur seuil ne doit pas dépasser 10% de la VME professionnelle. Dès lors, cette valeur seuil pour la population générale est ainsi fixée à 0.001 fibre d'amiante par millilitre d'air (0.001 f/mL, soit 1'000 f/m³) (9). Il est important de préciser que cette valeur est cependant arbitraire, et qu'il convient de la nuancer : ce

^m Les census effectués par les organes de contrôle des habitants prennent en compte l'activité professionnelle au moment de l'entrée sur la commune, et ne reflètent donc pas le métier actuel des personnes concernées par un éventuel changement d'emploi / domaine au cours de leur carrière.

seuil de 1'000 f/m³ est un seuil *maximal* de tolérance ; c'est-à-dire qu'idéalement, la charge en amiante (exposition potentielle) hors contexte professionnel devrait être aussi faible que possible et tendre vers une absence complète d'amiante (3, 109).

Une révision de ces valeurs limites pour des valeurs plus restrictives, et donc plus protectrices, a été proposée par le Conseil national de la santé aux Pays-Bas (DECOS) (2) en fonction d'une mise à jour de la littérature disponible, et en prenant en compte la qualité des études épidémiologiques individuelles considérées (critères de sélection restreints). Les valeurs proposées, ainsi que les valeurs existantes, sont détaillées dans le tableau Tableau 13 ci-dessous.

Tableau 13 Valeurs seuils (limites) actuelles en Suisse et valeurs seuils recommandées par le rapport du DECOS (2)

	Valeurs seuils actuelles en Suisse		Valeur seuils recommandées (DECOS ; (2))	
	Professionnelle (VME)	Population générale	Professionnelle (VME)	Population générale
En fibres / mL	0.01	0.001	Cancer du poumon : 0.0022 Mésothéliome : 0.0032 * Risque combiné : 0.0013 *	Cancer du poumon : 0.000032 Mésothéliome : 0.000022 * Risque combiné : 0.000013 *
En fibres / m ³	10'000	1'000	Cancer du poumon : 2'200 Mésothéliome : 3'200 * Risque combiné : 1'300 *	Cancer du poumon : 32 Mésothéliome : 22 * Risque combiné : 13 *

* Dans le cas du risque de mésothéliome, les valeurs proposées par le DECOS sont différentes selon la forme d'amiante (chrysotile seulement, amphiboles seulement, mélange de chrysotile et d'amphiboles). Pour des questions de simplicité, seule la valeur proposée pour la forme d'amiante mixte (mélange de chrysotile et jusqu'à 20% d'amphiboles) est illustrée ici. A noter que ces valeurs seuils recommandées pourraient encore être abaissées pour des expositions professionnelles et environnementales purement à l'amiante amphibole, en raison de la toxicité plus élevée de cette forme d'amiante.

Les valeurs limites (VME) recommandées dans un contexte professionnel reposent sur le calcul de la concentration d'amiante engendrant un risque d'un décès pour cause de cancer lié à l'amiante sur 25'000 décès (soit 4 sur 100'000 décès sur une exposition durant une vie entière, aussi appelé « risque 4×10^{-5} »). Pour la population générale (exposition dite 'environnementale' dans le rapport du DECOS (2)), les valeurs limites recommandées reposent sur la concentration d'amiante calculée comme engendrant un risque d'un décès pour cause de cancer sur un million de personnes exposées à l'amiante durant leur vie entière (« risque 10^{-6} », aussi appelé dans ce cas « risque négligeable », car il correspond au risque résiduel pour tout citoyen).

Dès lors, la recommandation concernant les valeurs réglementaires en Suisse serait d'actualiser le modèle en vigueur en appliquant le modèle du DECOS (qualité supérieure et mise à jour de la littérature prise en compte ; modèle distinct selon le type de fibres) aux données démographiques suisses. Cela permettrait d'une part de distinguer le risque en fonction de l'exposition aux différents types de fibres, mais également de baser les seuils des valeurs limites suisses sur un calcul de risque actualisé et objectif.

Il est important de préciser qu'une révision de ces valeurs seuils au niveau suisse nécessiterait également, en parallèle, une adaptation de la méthode de mesure. En effet, les mesures d'amiante dans l'air sont actuellement conduites selon la norme VDI 3492, qui présente des limitations

importantes en termes de limite de détection et de dépendance aux aléas des mouvements d'air. Cela peut prévenir l'interprétation correcte des niveaux d'amiante dans un lieu donné et donc du risque associé, et ainsi conduire à des décisions inadéquates pour la protection des populations concernées. Il conviendrait donc d'adapter les durées d'échantillonnage et le nombre de champs comptés afin de réduire autant que possible la limite de détection de l'amiante dans l'air et se donner les moyens d'interpréter correctement les mesures effectuées au regard des valeurs seuil actualisées.

6 Conclusion et recommandations

Les applications extrêmement variées de l'amiante l'ont conduit à être incorporé à d'innombrables matériaux de construction et installations de génie civil. Son caractère fibreux conduit malheureusement au développement de pathologies graves et mortelles, telles que des cancers de la plèvre et du poumon. Malgré l'interdiction d'utilisation de toute forme d'amiante en 1989 en Suisse, on retrouve encore un vaste panel de matériaux contenant de l'amiante, notamment dans les bâtiments. Outre la protection des travailleurs potentiellement exposés à ces matériaux amiantés dans leur cadre professionnel, il s'agit aujourd'hui de poser également la question de l'évaluation du risque d'exposition à l'amiante pour la population générale, dans une perspective de santé publique. Dans le cadre d'une aide aux décisions et à la communication pour le projet de stratégie cantonale amiante de la DGS (Etat de Vaud), ce rapport a eu pour buts, d'une part, de faire un état des lieux des connaissances scientifiques actuelles sur le risque d'exposition à l'amiante, et d'autre part, de caractériser ce risque pour différentes catégories de la population.

Une exposition à l'amiante peut avoir lieu dans le cadre professionnel (métiers du bâtiment actuels – post-interdiction de l'amiante, métiers de la gestion des déchets), para-professionnel (occupation de locaux amiantés au cours de l'activité professionnelle), domestique ou environnemental (familles des travailleurs, situations de voisinage de mines/carrières d'amiante, mais également exposition dite 'ménagère' à domicile, particulièrement en présence de matériaux amiantés dégradés et/ou lors de petits travaux manuels de rénovation, maintenance et décoration dans le cadre privé). Ces derniers contextes – domestique et environnemental – apparaissent comme beaucoup plus variables que les expositions (para-)professionnelles, et il est difficile d'établir un scénario d'exposition générique en raison du manque de connaissances sur la durée et la fréquence des activités exposantes, ainsi que sur la proportion de personnes concernées.

Une analyse des contextes d'exposition à l'amiante a pu établir une liste de priorisation des populations à risque sur une échelle qualitativeⁿ. On distinguera donc les professionnels du bâtiment (groupe 1 – exposition continue) des bricoleurs « assidus », personnel technique du bâtiment, employés du circuit de gestion des déchets, et occupants de locaux amiantés (groupe 2 – exposition occasionnelle par des sources ponctuelles d'intensité plus ou moins élevée, ou pour lesquelles l'exposition est basée sur des sources diffuses répétées sur de longues périodes), ainsi que des bricoleurs « occasionnels », des familles et des populations enfantines (groupe 3 – exposition occasionnelle). Parmi les populations de ce dernier groupe, il convient néanmoins d'apporter une attention particulière aux populations jeunes : malgré le manque de connaissances scientifiques sur une potentielle différence de risques en terme de danger toxicologique pour cette population particulière (statut développemental de leur physiologie), les bébés, enfants et jeunes ont une durée de vie restante plus longue, et la probabilité plus élevée de développer une maladie liée à l'amiante par rapport à une population adulte est donc inhérente au modèle de risque.

ⁿ Le lecteur est amené à se référer à la figure 1 en page 45 du présent rapport pour une interprétation plus détaillée des différents groupes de priorisation. Malgré la catégorisation effectuée, il est important de garder à l'esprit le caractère continu du niveau d'exposition dans la réalité, et donc du risque associé.

Sur la base de cette catégorisation des populations à risque d'exposition aux fibres d'amiante et en référence à la figure 1, nous proposons ci-dessous un tableau synthétique récapitulatif de l'analyse du risque, et des mesures en vigueur pour la protection de ces populations (tableau 14).

Tableau 14 Tableau synthétique du risque et des mesures de protection en vigueur

	Groupe 3 Exposition occasionnelle	Groupe 2 Exposition occasionnelle, sources répétées	Groupe 1 Exposition continue
Populations	Bricoleurs « occasionnels », Bébés, enfants, jeunes, Familles de professionnels Voisinage de chantiers Occupants de locaux amiantés	Bricoleurs « assidus », Bébés, enfants, jeunes, Personnel technique du bâtiment (concierge,...), Employés de déchetterie et de décharge ou de transports des déchets, Occupants de locaux amiantés	Professionnels du bâtiment
Analyse du risque établie ?	Non	Partielle (qualitative)	Oui (quantitative)
Risque sanitaire existant	?	Oui (moins que pour les travailleurs, mais de grande envergure en raison de la taille probable de la population concernée)	Oui
Mesures de prévention existantes	Non	Non	Oui (mais partiellement mises en œuvre)

Cette analyse et recherche de littérature scientifique associée fait ressortir quatre grands manques. Premièrement, il existe actuellement un **manque de données important concernant l'exposition à l'amiante hors du cadre professionnel**. Ce manque s'explique probablement par la dominance historique de la question professionnelle sur le sujet de l'amiante. Or, la présence ubiquitaire de l'amiante dans l'environnement bâti soulève la question de l'exposition de la population générale. C'est en particulier le cas pour le groupe 2, qui comprend des expositions para-professionnelles et privées et qui se trouve donc dans une zone frontière entre les champs d'action usuels de la SUVA et de la Santé Publique. La vaste majorité des études et des données disponibles concerne l'exposition des travailleurs (du bâtiment), et il convient de pallier au manque de connaissances pour l'exposition de la population générale avec des études épidémiologiques de santé publique. Par ailleurs, nous constatons un **manque de possibilités pour la population générale d'avoir connaissance de la présence potentielle d'amiante dans les lieux fréquentés régulièrement ou occasionnellement**. Cela est le cas dans le cadre privé (domiciles amiantés), mais également dans le cas des bâtiments publics, pour lesquels nous **manquons d'outils de diagnostic adéquats et de réglementation**. Dans la situation actuelle, la présence d'amiante n'est pas détectée de manière systématique, et les comportements à risque ne sont donc pas forcément évités lors de travaux effectués dans le cadre privé ou lors de l'usage normal des locaux concernés. Enfin, outre le fait d'avoir connaissance de la présence d'amiante, on constate également un **manque de moyens de**

prévention de l'exposition (disponibilités d'informations concernant la manière de prévenir l'exposition) pour la population générale, par contraste avec le cadre professionnel.

Au-delà des aspects de disponibilité des données/connaissances et de prévention de l'exposition pour la population générale en particulier, on remarquera également les limitations actuelles des modèles dose-réponse construits sur les « travailleurs de l'amiante » exposés à des centaines de fibres par année en raison des activités d'usinage et d'installation des produits amiantés avant l'interdiction de 1989. Les valeurs réglementaires actuellement en vigueur en Suisse, sont relativement anciennes et insuffisamment protectrices au regard des modèles actuels pour les travailleurs et la population générale. On remarquera notamment une absence de mise à jour des connaissances épidémiologiques et de santé depuis les années 1970-1980 ainsi qu'une absence de prise en compte de la classification des fibres d'amiante et des pathologies associées dans le calcul du risque. Dans la pratique, les mesures de prévention existantes (pour les travailleurs) ne sont par ailleurs pas systématiquement mises en œuvre.

Face à ces conclusions, le présent rapport propose un certain nombre de recommandations destinées d'une part à combler le manque de protection et de prévention de l'exposition des travailleurs actuels et de la population générale, et d'autre part à réviser et actualiser les valeurs limites en vigueur en Suisse.

6.1 Assurer l'application des mesures de prévention existantes sur le terrain

Actuellement en Suisse, le diagnostic avant travaux (D-AT) est obligatoire pour tous types de travaux, selon les ordonnances fédérales OTConst et OLED (124, 125). Ce diagnostic est restreint aux parties du bâtiment concernées par les travaux, afin de limiter les processus destructifs (nécessaires au prélèvement de matériaux potentiellement amiantés en vue d'analyses de laboratoire). Il a pour rôle de détecter la présence d'amiante dans les matériaux concernés par les travaux planifiés, afin de permettre la mise en place de mesures de protection pour les personnes effectuant les travaux. Le diagnostic avant travaux est donc majoritairement destiné à protéger les professionnels qui interviendront sur le chantier, en informant de la présence d'amiante sur le(s) lieu(x) concerné(s). En pratique cependant, cela n'est pas appliqué systématiquement par les maîtres d'ouvrage et les entreprises concernés. La confusion provient notamment des législations cantonales qui mentionnent l'obligation de D-AT dans le cas de travaux soumis à l'obtention d'un permis de construire – excluant de ce fait une grande partie des travaux de rénovation. Dès lors, la non-application systématique du D-AT sur le terrain engendre une protection insuffisante des travailleurs effectuant les travaux de rénovation (pouvant par ailleurs également être conduits par des bricoleurs « assidus »). Dans le canton de Vaud, l'approbation des permis de construire relève des autorités communales, qui ne disposent pas toujours des compétences techniques nécessaires pour apprécier les rapports de diagnostic. La surveillance des chantiers vis-à-vis de la protection des travailleurs relève quant à elle de la compétence de la SUVA, qui ne dispose que d'un nombre restreint de ressources. La question d'une action complémentaire de l'Etat dans ce domaine se pose donc, afin d'assurer une application systématique de ces lois et la protection des travailleurs par des mesures de contrôle adéquates.

6.2 Se doter d'outils et d'une réglementation adéquats pour effectuer des diagnostics amiante proportionnés et suffisants, afin d'assurer une bonne connaissance de la population générale vis-à-vis de la présence de matériaux amiantés

Dans le cadre privé (domiciles) tout comme dans le cadre public (bâtiments publics), il n'y a actuellement en Suisse aucune obligation de diagnostic amiante en usage normal (D-UN) des bâtiments. Par ailleurs, aucun diagnostic amiante n'est obligatoire lors de la cessation (vente) d'un bâtiment, ni de sa location. Comme mentionné dans la première recommandation, seul le D-AT est obligatoire en Suisse, et renvoie majoritairement à la protection des travailleurs puisque ce sont dans une grande majorité des cas des entreprises externes qui sont mandatées pour effectuer de gros travaux. La connaissance d'une éventuelle présence d'amiante par la population générale dans le bâtiment occupé n'est donc pas garantie. Cela est le cas dans le cadre privé (vie quotidienne et activités privées par les propriétaires et locataires, par exemple activités de bricolage), ainsi que dans le cas d'une occupation régulière ou occasionnelle de locaux dans le cadre para-professionnel (lors de l'exercice de son métier, notamment pour les bâtiments contenant des matériaux amiantés faiblement agglomérés tels que des faux-plafonds). L'absence actuelle de connaissance sur la présence d'amiante dans les bâtiments (hors travaux) est une réelle lacune pour la protection des occupants et la prévention des comportements à risque d'exposition aux fibres d'amiante. La mise en place de mesures et d'outils systématiques pour pallier ce manque sont fortement recommandés pour les environnements fréquentés par la population générale, où est visée une présence de fibres d'amiante la plus basse possible (3).

Il s'agit donc d'encourager d'une part la mise en place d'outils diagnostiques servant à connaître le potentiel d'exposition à l'amiante dans les bâtiments publics, et d'autre part, la mise en place d'outils permettant aux bricoleurs dans le cadre privé de connaître la présence d'amiante afin de se protéger en conséquence.

A ce titre, un diagnostic en usage normal (D-UN) complet et systématique est fortement recommandé pour les bâtiments publics dans lesquels une présence d'amiante est suspectée (année de construction antérieure à 1990) ou avérée. Cela concerne en particulier les bâtiments à haute fréquentation ou accueillant des enfants, comme les bâtiments scolaires. Le diagnostic systématique permet une évaluation des niveaux de risque selon les directives FACH et un éventuel assainissement sans devoir attendre la décision d'effectuer des travaux soumis à l'obtention d'un permis de construire. Il convient dès lors de se poser la question des outils nécessaires et adéquats pour effectuer ces D-UN de manière proportionnée et suffisamment sensible. Dans ce contexte, une possibilité intéressante à considérer est la technique de prélèvement et quantification de l'amiante par tamponnage sur les surfaces de déposition concernées, selon la norme internationale ISO 16000-27. Cette technique mesure non seulement les fibrilles d'amiante, mais également les agrégats et agglomérats de fibres déposées sur les surfaces (109). Elle est donc particulièrement sensible et permet une interprétation relativement aisée du potentiel d'exposition à l'amiante, tout en étant non-destructive et moins coûteuse que les mesures d'amiante dans l'air.

Il convient également de mettre en place des outils diagnostiques suffisamment exhaustifs, afin d'informer le propriétaire ou locataire d'une éventuelle présence d'amiante susceptible de conduire à une exposition lors de l'usage et de l'entretien usuel dans le bâtiment^o.

6.3 Se donner les moyens de prévenir l'exposition de la population générale en mettant à disposition un guide des bonnes pratiques pour les activités exposantes

Outre un manque de connaissance de la présence éventuelle d'amiante, il existe actuellement un manque d'informations de prévention sur les risques liés à une exposition à l'amiante dans le contexte privé. Toutes les brochures d'information actuelles renvoient en effet vers le professionnel agréé (3, 4, 9). Or, s'il est impossible de quantifier le risque en population générale en l'absence de données quantitatives suffisantes, il semble néanmoins primordial de limiter autant que possible l'exposition. Cela concerne notamment les bricoleurs, assidus ou occasionnels selon une auto-évaluation des personnes concernées, lors de petits travaux manuels d'entretien, de rénovation ou de décoration à domicile ou chez d'autres privés. Le bricolage est en effet une source de risque : vu les pics potentiels d'exposition liés à des actes particuliers (actions mécaniques, activités de nettoyage ou de retrait de matériaux amiantés), les doses moyennes pourraient être équivalentes à celles observées dans le cadre professionnel, pour lequel on sait qu'un risque existe. Dès lors, ce manque d'information devrait être comblé par la création de matériel de référence et de recommandations à l'usage du particulier, afin d'encadrer les activités exposantes par des mesures de prévention telles que la nécessité d'une aspiration à la source, d'une humidification du matériau et du port d'équipement de protection personnelle. Combiné au diagnostic obligatoire et au développement/renforcement des outils de diagnostic destinés aux usagers, cela permettrait de limiter autant que possible l'exposition, et donc le risque associé, aux fibres d'amiante pour la population générale (acteurs de l'activité exposante, mais également occupants du bâtiment / objet concerné).

6.4 Actualiser et objectiver les valeurs seuils en vigueur en Suisse en procédant à une mise à jour du modèle du DECOS pour le contexte national, notamment en distinguant les types de fibres d'amiante

Les seuils actuels de 10'000 et 1'000 fibres d'amiante par mètre cube utilisés pour les populations professionnelles et générales, respectivement, sont obsolètes et insuffisamment protecteurs vis-à-

^o Dans ce contexte, il est important que le propriétaire (ou locataire) puisse exiger d'avoir connaissance de l'historique des éventuels D-AT conduits pour l'objet concerné. Cet accès à l'information n'est actuellement ni obligatoire, ni encouragé en Suisse.

vis des niveaux de risque tolérables. Il est nécessaire d'actualiser et d'objectiver ces valeurs en se basant sur un modèle robuste, basé sur une littérature scientifique de qualité, tel que l'a fait le DECOS au Pays-Bas, et en modifiant ce modèle par l'intégration de données épidémiologiques pour la population suisse.

Cette actualisation permettrait également de distinguer les effets des différentes formes d'amiante (serpentine, amphiboles). En effet, les modèles utilisés aujourd'hui en Suisse sont uniquement basés sur l'effet du chrysotile (amiante serpentine, forme la plus abondante dans la construction), connu pour être moins toxique que les formes amphiboles de l'amiante. L'intégration des fibres amphiboles dans le calcul de risque amènerait donc à un abaissement des valeurs seuils, et une protection renforcée des populations concernées. Cette révision des modèles dose-réponse passerait également par l'établissement, en Suisse, des taux de cancers du poumon liés à l'amiante, afin de pouvoir distinguer les pathologies dans le calcul de risque. Par ailleurs, une révision des méthodes de mesures (seuils de détection) sera également nécessaire afin que le moyen de contrôle soit adapté aux valeurs visées (cf. Chapitre 5 – 5F)^P.

^P Les valeurs seuils recommandées par le DECOS sont disponibles dans le tableau 13, en page 54 du présent rapport.

7 Références

1. IARC. Arsenic, Metals, Fibres, and Dusts - A review of human carcinogens. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer (IARC), World Health Organization; 2012.
2. DECOS. Asbestos: Risks of environmental and occupational exposure (2010/10E). Dutch Expert Committee on Occupational Safety, The Hague: Health Council of the Netherlands; 2010.
3. OFSP. Amiante dans les maisons. Berne, Suisse: Office Fédéral de la Santé Publique (OFSP), Confédération Suisse; 2005.
4. SUVA. Amiante: faits et chiffres (2960.f). Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents (SUVA); 2015.
5. Polludoc. Les Polluants du bâti [Available from: www.polludoc.ch/fr].
6. Rossi I, Ruf F, Vernez D. Serpentine et amiante - Note de l'Office du médecin cantonal. Direction générale de la santé - Département de la santé et de l'action sociale, Etat de Vaud. 2019.
7. Bilbao. Formations sur les polluants du bâtiment [Available from: <https://bilbau.ch/fr/node>].
8. ATSDR. Toxicological profile for asbestos. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, U.S. Department of Health and Human Services; 2001.
9. CFST. Directive CFST n°6583. Commission fédérale de coordination pour la sécurité au travail (CFST), Confédération Suisse; 2008.
10. FACH. Forum Amiante Suisse (FACH) [Available from: <http://www.forum-asbest.ch/fr/>].
11. Matrat M, Pairon JC, Paolillo AG, Joly N, Iwatsubo Y, Orlowski E, et al. Asbestos exposure and radiological abnormalities among maintenance and custodian workers in buildings with friable asbestos-containing materials. *Int Arch Occup Environ Health*. 2004;77(5):307-12.
12. Franzblau A, Demond AH, Sayler SK, D'Arcy H, Neitzel RL. Asbestos-containing materials in abandoned residential dwellings in Detroit. *Sci Total Environ*. 2020;714:136580.
13. Perret V. Office des Bâtiments - Amiante, Diagnostics Usage Normal (UN), Critères de sélection des matériaux à prélever & Interprétation des critères d'urgence selon FACH. TOXpro SA (Suisse); 2018.
14. Spasiano D, Pirozzi F. Treatments of asbestos containing wastes. *J Environ Manage*. 2017;204(Pt 1):82-91.
15. Madl AK, Gaffney SH, Balzer JL, Paustenbach DJ. Airborne asbestos concentrations associated with heavy equipment brake removal. *Ann Occup Hyg*. 2009;53(8):839-57.
16. Longo WE, Egeland WB, Hatfield RL, Newton LR. Fiber release during the removal of asbestos-containing gaskets: a work practice simulation. *Appl Occup Environ Hyg*. 2002;17(1):55-62.
17. Liukonen LR, Weir FW. Asbestos exposure from gaskets during disassembly of a medium duty diesel engine. *Regul Toxicol Pharmacol*. 2005;41(2):113-21.
18. Mlynarek S, Corn M, Blake C. Asbestos exposure of building maintenance personnel. *Regul Toxicol Pharmacol*. 1996;23(3):213-24.
19. Perkins RA, Hargesheimer J, Fourie W. Asbestos release from whole-building demolition of buildings with asbestos-containing material. *J Occup Environ Hyg*. 2007;4(12):889-94.
20. Stefani D, Wardman D, Lambert T. The implosion of the Calgary General Hospital: ambient air quality issues. *J Air Waste Manag Assoc*. 2005;55(1):52-9.
21. Landrigan PJ, Liroy PJ, Thurston G, Berkowitz G, Chen LC, Chillrud SN, et al. Health and environmental consequences of the world trade center disaster. *Environ Health Perspect*. 2004;112(6):731-9.
22. Luther L. CRS Report for Congress - Disaster Debris Removal After Hurricane Katrina: Status and Associated Issues. Congressional Research Service (CRS), USA; 2008.
23. Wallis SL, Emmett EA, Hardy R, Casper BB, Blanchon DJ, Testa JR, et al. Challenging Global Waste Management - Bioremediation to Detoxify Asbestos. *Front Environ Sci*. 2020;8.
24. Promentilla MAB, Peralta GL. An evaluation of landfill disposal of asbestos-containing waste and geothermal residues within a risk-assessment framework. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. 2003;5(1):13-21.

25. Kfoury A, Mitri G, Arab D, El Zakhem H, Aouad G. Risk assessment of asbestos-cement roof sheets in Chekka, North Lebanon. *Environ Monit Assess.* 2019;191(6):391.
26. Oberta AF, Poye L, Compton SP. Releasability of asbestos fibers from weathered roof cement. *J Occup Environ Hyg.* 2018;15(6):466-73.
27. Barlow CA, Grespin M, Best EA. Asbestos fiber length and its relation to disease risk. *Inhal Toxicol.* 2017;29(12-14):541-54.
28. Boulanger G, Andujar P, Pairon JC, Billon-Galland MA, Dion C, Dumortier P, et al. Quantification of short and long asbestos fibers to assess asbestos exposure: a review of fiber size toxicity. *Environ Health.* 2014;13:59.
29. Stayner L, Kuempel E, Gilbert S, Hein M, Dement J. An epidemiological study of the role of chrysotile asbestos fibre dimensions in determining respiratory disease risk in exposed workers. *Occup Environ Med.* 2008;65(9):613-9.
30. Dement JM, Myers D, Loomis D, Richardson D, Wolf S. Estimates of historical exposures by phase contrast and transmission electron microscopy in North Carolina USA asbestos textile plants. *Occup Environ Med.* 2009;66(9):574-83.
31. AFSSET. Les fibres courtes et les fibres fines d'amiante - Prise en compte du critère dimensionnel pour la caractérisation des risques sanitaires liés à l'inhalation d'amiante. Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (AFSSET); 2009.
32. Adib G, Labreche F, De Guire L, Dion C, Dufresne A. Short, fine and WHO asbestos fibers in the lungs of quebec workers with an asbestos-related disease. *Am J Ind Med.* 2013;56(9):1001-14.
33. Dodson RF, Brooks DR, O'Sullivan M, Hammar SP. Quantitative analysis of asbestos burden in a series of individuals with lung cancer and a history of exposure to asbestos. *Inhal Toxicol.* 2004;16(9):637-47.
34. Markowitz S. Asbestos-related lung cancer and malignant mesothelioma of the pleura: selected current issues. *Semin Respir Crit Care Med.* 2015;36(3):334-46.
35. Hamra GB, Loomis D, Dement J. Examining the association of lung cancer and highly correlated fibre size-specific asbestos exposures with a hierarchical Bayesian model. *Occup Environ Med.* 2014;71(5):353-7.
36. Berman DW, Crump KS. A meta-analysis of asbestos-related cancer risk that addresses fiber size and mineral type. *Crit Rev Toxicol.* 2008;38 Suppl 1:49-73.
37. Adamson IY, Bakowska J, Bowden DH. Mesothelial cell proliferation after instillation of long or short asbestos fibers into mouse lung. *Am J Pathol.* 1993;142(4):1209-16.
38. Davis JM, Jones AD. Comparisons of the pathogenicity of long and short fibres of chrysotile asbestos in rats. *Br J Exp Pathol.* 1988;69(5):717-37.
39. Dodson RF, Atkinson MA, Levin JL. Asbestos fiber length as related to potential pathogenicity: a critical review. *Am J Ind Med.* 2003;44(3):291-7.
40. Dement JM, Loomis D, Richardson D, Wolf SH, Kuempel ED. Estimates of historical exposures by phase contrast and transmission electron microscopy for pooled exposure--response analyses of North Carolina and South Carolina, USA asbestos textile cohorts. *Occup Environ Med.* 2011;68(8):593-8.
41. Baur X. Review on the adverse health effects of asbestiform antigorite, a non-regulated asbestiform serpentine mineral. *Am J Ind Med.* 2018;61(7):625-30.
42. Tran CL, Hankin SM, Ross B, Aitken RJ, Jones AD, Donaldson K, et al. An outline scoping study to determine whether high aspect ratio nanoparticles (HARN) should raise the same concerns as do asbestos fibres. Institute of Occupational Medicine (IOM); 2008.
43. Miozzi E, Rapisarda V, Marconi A, Costa C, Polito I, Spandidos DA, et al. Fluoro-edenite and carbon nanotubes: The health impact of 'asbestos-like' fibres. *Exp Ther Med.* 2016;11(1):21-7.
44. Guseva Canu I, Batsungnoen K, Maynard A, Hopf NB. State of knowledge on the occupational exposure to carbon nanotubes. *Int J Hyg Environ Health.* 2020;225:113472.
45. Felley-Bosco E, MacFarlane M. Asbestos: Modern Insights for Toxicology in the Era of Engineered Nanomaterials. *Chem Res Toxicol.* 2018;31(10):994-1008.
46. Klebe S, Leigh J, Henderson DW, Nurminen M. Asbestos, Smoking and Lung Cancer: An Update. *Int J Environ Res Public Health.* 2019;17(1).
47. BTS. Pleural plaques - Information for health care professionals. British Thoracic Society (BTS); 2011.
48. Kamp DW. Asbestos-induced lung diseases: an update. *Transl Res.* 2009;153(4):143-52.

49. Fubini B, Otero Areán C. Chemical aspects of the toxicity of inhaled mineral dusts. *Chemical Society Reviews*. 1999;28:373-81.
50. Stöhr S, Pletscher C, Rast H, Rodríguez M, Koller M. Factsheet - Maladies professionnelles causées par l'amiante. Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents (SUVA); 2019.
51. Neumann V, Loseke S, Nowak D, Herth FJ, Tannapfel A. Malignant pleural mesothelioma: incidence, etiology, diagnosis, treatment, and occupational health. *Dtsch Arztebl Int*. 2013;110(18):319-26.
52. Delgermaa V, Takahashi K, Park EK, Le GV, Hara T, Sorahan T. Global mesothelioma deaths reported to the World Health Organization between 1994 and 2008. *Bull World Health Organ*. 2011;89(10):716-24, 24A-24C.
53. McCormack V, Peto J, Byrnes G, Straif K, Boffetta P. Estimating the asbestos-related lung cancer burden from mesothelioma mortality. *Br J Cancer*. 2012;106(3):575-84.
54. Camargo MC, Stayner LT, Straif K, Reina M, Al-Alem U, Demers PA, et al. Occupational exposure to asbestos and ovarian cancer: a meta-analysis. *Environ Health Perspect*. 2011;119(9):1211-7.
55. Peng WJ, Mi J, Jiang YH. Asbestos exposure and laryngeal cancer mortality. *Laryngoscope*. 2016;126(5):1169-74.
56. Reid A, de Klerk N, Musk AW. Does exposure to asbestos cause ovarian cancer? A systematic literature review and meta-analysis. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev*. 2011;20(7):1287-95.
57. Ferster APO, Schubart J, Kim Y, Goldenberg D. Association Between Laryngeal Cancer and Asbestos Exposure: A Systematic Review. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg*. 2017;143(4):409-16.
58. Browne K, Gee JB. Asbestos exposure and laryngeal cancer. *Ann Occup Hyg*. 2000;44(4):239-50.
59. Kwak K, Paek D, Zoh KE. Exposure to asbestos and the risk of colorectal cancer mortality: a systematic review and meta-analysis. *Occup Environ Med*. 2019;76(11):861-71.
60. Huang Q, Lan YJ. Colorectal cancer and asbestos exposure-an overview. *Ind Health*. 2020;58(3):200-11.
61. Peng WJ, Jia XJ, Wei BG, Yang LS, Yu Y, Zhang L. Stomach cancer mortality among workers exposed to asbestos: a meta-analysis. *J Cancer Res Clin Oncol*. 2015;141(7):1141-9.
62. Fortunato L, Rushton L. Stomach cancer and occupational exposure to asbestos: a meta-analysis of occupational cohort studies. *Br J Cancer*. 2015;112(11):1805-15.
63. Li B, Tang SP, Wang KZ. Esophagus cancer and occupational exposure to asbestos: results from a meta-analysis of epidemiology studies. *Dis Esophagus*. 2016;29(5):421-8.
64. Fitzgerald RC, Rhodes JM. Ingested asbestos in filtered beer, in addition to occupational exposure, as a causative factor in oesophageal adenocarcinoma. *Br J Cancer*. 2019;120(12):1099-104.
65. Di Ciaula A. Asbestos ingestion and gastrointestinal cancer: a possible underestimated hazard. *Expert Rev Gastroenterol Hepatol*. 2017;11(5):419-25.
66. Kogan FM, Vanchugova NN, Frasch VN. Possibility of inducing glandular stomach cancer in rats exposed to asbestos. *Br J Ind Med*. 1987;44(10):682-6.
67. Jacobs R, Humphrys J, Dodgson KS, Richards RJ. Light and electron microscope studies of the rat digestive tract following prolonged and short-term ingestion of chrysotile asbestos. *Br J Exp Pathol*. 1978;59(5):443-53.
68. Varga C, Horváth G, Timbrell V. On the mechanism of cogenotoxic action between ingested amphibole asbestos fibres and benzo[a]pyrene: II. Tissue specificity studies using comet assay. *Cancer Letters*. 1999;139:173-6.
69. Boulanger M, Morlais F, Bouvier V, Galateau-Salle F, Guittet L, Marquignon MF, et al. Digestive cancers and occupational asbestos exposure: incidence study in a cohort of asbestos plant workers. *Occup Environ Med*. 2015;72(11):792-7.
70. Offermans NS, Vermeulen R, Burdorf A, Goldbohm RA, Keszei AP, Peters S, et al. Occupational asbestos exposure and risk of oral cavity and pharyngeal cancer in the prospective Netherlands Cohort Study. *Scand J Work Environ Health*. 2014;40(4):420-7.
71. Gamble J. Risk of gastrointestinal cancers from inhalation and ingestion of asbestos. *Regul Toxicol Pharmacol*. 2008;52(1 Suppl):S124-53.
72. Kjaerheim K, Ulvestad B, Martinsen JI, Andersen A. Cancer of the gastrointestinal tract and exposure to asbestos in drinking water among lighthouse keepers (Norway). *Cancer Causes Control*. 2005;16(5):593-8.
73. Conforti PM, Kanarek MS, Jackson LA, Cooper RC, Murchio JC. Asbestos in drinking water and cancer in the San Francisco Bay Area: 1969-1974 incidence. *J Chronic Dis*. 1981;34(5):211-24.

74. Wolff H, Vehmas T, Oksa P, Rantanen J, Vainio H. Asbestos, asbestosis, and cancer, the Helsinki criteria for diagnosis and attribution 2014: recommendations. *Scand J Work Environ Health*. 2015;41(1):5-15.
75. Karjalainen A, Anttila S, Vanhala E, Vainio H. Asbestos exposure and the risk of lung cancer in a general urban population. *Scand J Work Environ Health*. 1994;20(4):243-50.
76. Banks DE, Shi R, McLarty J, Cowl CT, Smith D, Tarlo SM, et al. American College of Chest Physicians consensus statement on the respiratory health effects of asbestos. Results of a Delphi study. *Chest*. 2009;135(6):1619-27.
77. Pinter M, Trauner M, Peck-Radosavljevic M, Sieghart W. Cancer and liver cirrhosis: implications on prognosis and management. *ESMO Open*. 2016;1(2):e000042.
78. Karamitsakos T, Tzilas V, Tringidou R, Steiropoulos P, Aidinis V, Papiris SA, et al. Lung cancer in patients with idiopathic pulmonary fibrosis. *Pulm Pharmacol Ther*. 2017;45:1-10.
79. Ballester B, Milara J, Cortijo J. Idiopathic Pulmonary Fibrosis and Lung Cancer: Mechanisms and Molecular Targets. *Int J Mol Sci*. 2019;20(3).
80. Oksa P, Klockars M, Karjalainen A, Huuskonen MS, Vattulainen K, Pukkala E, et al. Progression of asbestosis predicts lung cancer. *Chest*. 1998;113(6):1517-21.
81. Ngamwong Y, Tangamornsuksan W, Lohitnavy O, Chaiyakunapruk N, Scholfield CN, Reisfeld B, et al. Additive Synergism between Asbestos and Smoking in Lung Cancer Risk: A Systematic Review and Meta-Analysis. *PLoS One*. 2015;10(8):e0135798.
82. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, Group P. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS Med*. 2009;6(7):e1000097.
83. Mossman BT, Eastman A, Landesman JM, Bresnick E. Effects of crocidolite and chrysotile asbestos on cellular uptake and metabolism of benzo(a)pyrene in hamster tracheal epithelial cells. *Environ Health Perspect*. 1983;51:331-5.
84. Churg A, Sun J, Zay K. Cigarette smoke increases amosite asbestos fiber binding to the surface of tracheal epithelial cells. *Am J Physiol*. 1998;275(3):L502-8.
85. Nishimura Y, Maeda M, Kumagai-Takei N, Lee S, Matsuzaki H, Wada Y, et al. Altered functions of alveolar macrophages and NK cells involved in asbestos-related diseases. *Environ Health Prev Med*. 2013;18(3):198-204.
86. Olsson AC, Vermeulen R, Schuz J, Kromhout H, Pesch B, Peters S, et al. Exposure-Response Analyses of Asbestos and Lung Cancer Subtypes in a Pooled Analysis of Case-Control Studies. *Epidemiology*. 2017;28(2):288-99.
87. El Zoghbi M, Salameh P, Stucker I, Brochard P, Delva F, Lacourt A. Absence of multiplicative interactions between occupational lung carcinogens and tobacco smoking: a systematic review involving asbestos, crystalline silica and diesel engine exhaust emissions. *BMC Public Health*. 2017;17(1):156.
88. Dave SK, Edling C, Jacobsson P, Axelson O. Occupation, smoking, and lung cancer. *Br J Ind Med*. 1988;45(11):790-2.
89. Bovenzi M, Stanta G, Antiga G, Peruzzo P, Cavallieri F. Occupational exposure and lung cancer risk in a coastal area of northeastern Italy. *Int Arch Occup Environ Health*. 1993;65(1):35-41.
90. Luce D, Bugel I, Goldberg P, Goldberg M, Salomon C, Billon-Galland MA, et al. Environmental exposure to tremolite and respiratory cancer in New Caledonia: a case-control study. *Am J Epidemiol*. 2000;151(3):259-65.
91. Gustavsson P, Nyberg F, Pershagen G, Scheele P, Jakobsson R, Plato N. Low-dose exposure to asbestos and lung cancer: dose-response relations and interaction with smoking in a population-based case-referent study in Stockholm, Sweden. *Am J Epidemiol*. 2002;155(11):1016-22.
92. Villeneuve PJ, Parent ME, Harris SA, Johnson KC, Canadian Cancer Registries Epidemiology Research G. Occupational exposure to asbestos and lung cancer in men: evidence from a population-based case-control study in eight Canadian provinces. *BMC Cancer*. 2012;12:595.
93. Newhouse ML, Thompson H. Mesothelioma of pleura and peritoneum following exposure to asbestos in the London area. *Br J Ind Med*. 1965;22(4):261-9.
94. Magnani C, Terracini B, Ivaldi C, Botta M, Mancini A, Andron A. Pleural malignant mesothelioma and non-occupational exposure to asbestos in Casale Monferrato, Italy. *Occup Environ Med*. 1995;52(6):362-7.
95. Mirabelli D, Calisti R, Barone-Adesi F, Fornero E, Merletti F, Magnani C. Excess of mesotheliomas after exposure to chrysotile in Balangero, Italy. *Occup Environ Med*. 2008;65(12):815-9.
96. Nielsen LS, Baelum J, Rasmussen J, Dahl S, Olsen KE, Albin M, et al. Occupational asbestos exposure and lung cancer—a systematic review of the literature. *Arch Environ Occup Health*. 2014;69(4):191-206.
97. Huang SX, Jaurand MC, Kamp DW, Whysner J, Hei TK. Role of mutagenicity in asbestos fiber-induced carcinogenicity and other diseases. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev*. 2011;14(1-4):179-245.

98. van der Bij S, Koffijberg H, Lenters V, Portengen L, Moons KG, Heederik D, et al. Lung cancer risk at low cumulative asbestos exposure: meta-regression of the exposure-response relationship. *Cancer Causes Control*. 2013;24(1):1-12.
99. Furuya S, Chimed-Ochir O, Takahashi K, David A, Takala J. Global Asbestos Disaster. *Int J Environ Res Public Health*. 2018;15(5).
100. IST. Evaluation des risques liés à l'amiante au Collège des Dents-du-Midi à Aigle (rapport d'expertise n°1525.007_IST). Institut universitaire romand de Santé au Travail (IST); 2016.
101. 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.
102. Dalsgaard SB, Wurtz ET, Hansen J, Roe OD, Omland O. Environmental asbestos exposure in childhood and risk of mesothelioma later in life: a long-term follow-up register-based cohort study. *Occupational and Environmental Medicine*. 2019;76(6):407-13.
103. Wagner JC, Sleggs CA, Marchand P. Diffuse pleural mesothelioma and asbestos exposure in the North Western Cape Province. *Br J Ind Med*. 1960;17:260-71.
104. Madl AK, Scott LL, Murbach DM, Fehling KA, Finley BL, Paustenbach DJ. Exposure to chrysotile asbestos associated with unpacking and repacking boxes of automobile brake pads and shoes. *Ann Occup Hyg*. 2008;52(6):463-79.
105. INSERM. Effets sur la santé des principaux types d'exposition à l'amiante. Paris, France: INSERM; 1997.
106. Goswami E, Craven V, Dahlstrom DL, Alexander D, Mowat F. Domestic asbestos exposure: a review of epidemiologic and exposure data. *Int J Environ Res Public Health*. 2013;10(11):5629-70.
107. Ev@lutil, Base de données sur l'évaluation des expositions professionnelles aux fibres et aux particules nanométriques: Santé Publique France, Institut de Santé Publique, d'Epidémiologie et de Développement (ISPED), Université de Bordeaux; [Available from: [https://ssl2.isped.u-bordeaux2.fr/eva_003/\(S\(1ov0r1npo14udbw5w05byl4h\)\)/recherche.aspx](https://ssl2.isped.u-bordeaux2.fr/eva_003/(S(1ov0r1npo14udbw5w05byl4h))/recherche.aspx)].
108. Vernez D, Duperrex O, Herrera H, Perret V, Rossi I, Regamey F, et al. Exposure to Amosite-Containing Ceiling Boards in a Public School in Switzerland: A Case Study. *Int J Environ Res Public Health*. 2019;16(24).
109. Müller Y. Bedeutung von Asbest in Materialproben, im Liegestaub und bei Luftmessungen - Erfahrungen, erforderliche Massnahmen - Präsentation au Forum Amiante Suisse (FACH). République et Canton de Genève, VD, Suisse - Département de l'environnement, des transports et de l'agriculture - Service de l'air, du bruit et des rayonnements non ionisants (SABRA); 2016.
110. Hein MJ, Stayner LT, Lehman E, Dement JM. Follow-up study of chrysotile textile workers: cohort mortality and exposure-response. *Occup Environ Med*. 2007;64(9):616-25.
111. Berry G, de Klerk NH, Reid A, Ambrosini GL, Fritschi L, Olsen NJ, et al. Malignant pleural and peritoneal mesotheliomas in former miners and millers of crocidolite at Wittenoom, Western Australia. *Occup Environ Med*. 2004;61(4):e14.
112. Seidman H, Selikoff IJ, Gelb SK. Mortality experience of amosite asbestos factory workers: dose-response relationships 5 to 40 years after onset of short-term work exposure. *Am J Ind Med*. 1986;10(5-6):479-514.
113. Sullivan PA. Vermiculite, respiratory disease, and asbestos exposure in Libby, Montana: update of a cohort mortality study. *Environ Health Perspect*. 2007;115(4):579-85.
114. Peto J, Doll R, Hermon C, Binns W, Clayton R, Goffe T. Relationship of mortality to measures of environmental asbestos pollution in an asbestos textile factory. *Ann Occup Hyg*. 1985;29(3):305-55.
115. Orbach D, Andre N, Brecht IB, Lopez Almaraz R, Ben-Ami T, Vermersch S, et al. Mesothelioma in children and adolescents: the European Cooperative Study Group for Pediatric Rare Tumors (EXPeRT) contribution. *Eur J Cancer*. 2020;140:63-70.
116. Reid A, Franklin P, Berry G, Peters S, Sodhi-Berry N, Brims F, et al. Are children more vulnerable to mesothelioma than adults? A comparison of mesothelioma risk among children and adults exposed non-occupationally to blue asbestos at Wittenoom. *Occup Environ Med*. 2018;75(12):898-903.
117. CC. Statement on the relative vulnerability of children to asbestos compared to adults. Committee on carcinogenicity (CC) of chemical in food, consumer products and the environment, U.K.; 2013.
118. Silvestri S, Di Benedetto F, Raffaelli C, Veraldi A. Asbestos in toys: an exemplary case. *Scand J Work Env Hea*. 2016;42(1):80-5.
119. Berry G, Wagner JC. Effect of age at inoculation of asbestos on occurrence of mesotheliomas in rats. *Int J Cancer*. 1976;17(4):477-83.

120. Hansen J, de Klerk NH, Musk AW, Hobbs MS. Environmental exposure to crocidolite and mesothelioma: exposure-response relationships. *Am J Respir Crit Care Med*. 1998;157(1):69-75.
121. SUVA. Statistique des accidents LAA 2020 (2386.f). Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents (SUVA); 2020.
122. Kettunen E, Aavikko M, Nymark P, Ruosaari S, Wikman H, Vanhala E, et al. DNA copy number loss and allelic imbalance at 2p16 in lung cancer associated with asbestos exposure. *Br J Cancer*. 2009;100(8):1336-42.
123. NICER. National Institute for Cancer Epidemiology and Registration, Statistiques 2013-2017 [Available from: <https://www.onec.ch/fr/statistiques-atlas/>].
124. Confédération Suisse. Ordonnance sur la sécurité et la protection de la santé des travailleurs dans les travaux de construction (Ordonnance sur les travaux de construction, OTConst) 2005 [Available from: <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2005/560/fr>].
125. Confédération Suisse. Ordonnance sur la limitation et l'élimination des déchets (OLED) 2016 [Available from: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/dechets/info-specialistes/politique-des-dechets-et-mesures/revision-de-l-ordonnance-sur-le-traitement-des-dechets---preserv.html>].
126. OFEV. La substitution de l'amianté en Suisse. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEV); 1989.
127. Roselli M. Amiante & Eternit, Fortunes et forfaits. Editions d'en bas & CAOVA ed. Lausanne, Suisse, 2008.

8 Annexes

8.1 Liste des questions évaluatives de la DGS

8.1.1 Objectif 1 : Identifier l'état actuel des connaissances scientifiques sur l'évaluation des risques d'une exposition à l'amiante

Evaluation des expositions :

- Selon les recommandations de l'OMS, seules les fibres en-dessus d'une certaine longueur et d'un certain diamètre sont prises en compte dans les mesures de la concentration en fibres d'amiante. Quel est l'état de la connaissance scientifique quant au danger pour la santé généré par les fibres courtes et les fibres « minces » ?
- Il existe différents types de fibres d'amiante : l'amiante serpentine qui correspond à la chrysotile, et l'amiante amphibole qui comprend la crocidolite, l'amosite, l'anthophyllite, l'actinolite et la trémolite. Quels sont les types de fibres qui ont été utilisés en Suisse, et pour quelles applications ?
- Aujourd'hui, quels sont les types de fibre des matériaux amiantés encore présents dans les bâtiments ?
- Quels sont les matériaux faiblement et fortement agglomérés et sur quelle base repose cette distinction ?
- Une distinction plus fine est-elle recommandée, sur la base de l'état des connaissances scientifiques ?
- Quelles sont les différents scénarios d'exposition à un matériau faiblement aggloméré, et les valeurs relatives ? Par exemple, en présence d'un faux-plafond ou d'un flocage amiantés ?

Estimation de la dose-réponse :

- Rappel des pathologies en lien avec l'amiante
- En raison de l'absence de la mention de la profession dans le registre des tumeurs, ainsi que de la prise en considération restrictive du nombre de cas par la SUVA, nous ne connaissons pas le nombre de cas et de décès du cancer du poumon en lien avec l'amiante en Suisse. Pourtant, les estimations réalisées dans d'autres pays laissent penser que le nombre de cancers du poumon en lien avec l'amiante est beaucoup plus important que le nombre de mésothéliomes. Sous quelle forme et dans quelles conditions une étude pourrait-elle être entreprise pour obtenir ces informations pour la Suisse ?

- Selon Jost et al., « l'asbestose est par ailleurs liée à un risque accru de carcinome broncho-pulmonaire » ; pour l'INRS : « Toute asbestose s'accompagne d'un risque accru de cancer broncho-pulmonaire ». La relation entre asbestose et cancer broncho-pulmonaire est-elle causale ?
- Plusieurs revues systématiques et méta-analyses estiment que le fardeau du cancer du poumon lié à l'exposition à l'amiante est plus important là où le taux de fumeurs est élevé, en raison d'un effet synergique entre l'amiante et le tabac. L'existence d'une synergie amiante-tabac est-elle prouvée ? Si c'est le cas, quel est l'impact de cette synergie sur les données épidémiologiques et les modèles dose-réponse ?
- Quelle est la validité scientifique des modèles dose-réponse actuellement utilisés, en lien avec les éléments suivants : taille et forme des fibres, types d'amiante, exposition des travailleurs d'aujourd'hui, exposition non-professionnelle et para-professionnelle d'aujourd'hui, exposition des populations vulnérables et des enfants en particulier ?
- Quelles sont les recommandations quant à l'utilisation d'un modèle dose-réponse pour de futures analyses de risque ?

Autres :

- Plusieurs articles scientifiques projettent un « pic » des incidences du mésothéliome entre 2010 et 2030 environ. En Suisse, la SUVA présente ce « pic » suivi d'une chute du nombre de cas. L'association entre la quantité d'amiante importée et le nombre de cas déclarés de mésothéliome est-elle pertinente ?
- Quelles projections sont envisagées pour la suite, en tenant compte notamment de l'exposition des travailleurs depuis l'interdiction de l'amiante ?
- Statistiques sur la consommation d'amiante en Suisse (importation brute, exportation de produits transformés, autres statistiques disponibles par secteur d'activité)

8.1.2 Objectif 2 : Caractériser le risque de l'exposition à l'amiante pour les différentes catégories de population

Evaluation des expositions :

- Quel est le processus de libération des fibres d'amiante ?
- Quelles sont les voies d'exposition chez l'être humain ? En particulier, l'exposition par voie gastro-intestinale est-elle prouvée et pertinente ?
- Quels sont les principaux matériaux amiantés qui ont été utilisés en Suisse, et pour quelles applications ?
- Aujourd'hui, quels sont les matériaux amiantés encore présents dans les bâtiments ?
- Les modèles de dose-réponse ont été construits sur la base de l'exposition à l'amiante des travailleurs des années 1950 à 1980 (?), qui manufacturaient et installaient les matériaux amiantés. La question se pose de savoir ce qu'il en est d'une exposition pour

la population en général, hors travailleurs. Les catégories de population suivantes doivent être examinées (liste non-exhaustive) : travailleurs de la construction et du second œuvre, enfants et jeunes, bricoleurs, concierges, employés des déchetteries, occupants des bâtiments, famille des travailleurs de la construction et du second œuvre, habitants ou passants situés à proximité de chantiers, employés des entreprises de transports des déchets, employés des entreprises de recyclage des déchets, personnes qui fréquentent des dépôts d'amiante naturelle ou des sites miniers, population en général. Pour ces différentes catégories, quelles sont les sources potentielles d'exposition et le niveau d'exposition estimé ? Est-il possible de se prononcer sur les risques ?

- En particulier, la distinction entre exposition à faible dose et exposition à forte dose est-elle pertinente ? Sur quelles valeurs cette distinction est-elle basée ?
- La problématique des « *take-home exposures* » est-elle encore d'actualité ?
- Quelles sont les populations vulnérables les plus à risque d'une exposition à l'amiante ?
- Les bébés, les enfants et les adolescents sont-ils une population particulièrement à risque ? Pour quelles raisons ?
- En tenant compte des éléments identifiés ci-dessus (sources d'exposition et populations exposées), est-il possible de définir des scénarii génériques d'exposition, qui identifieraient la fréquence et la durée des activités potentiellement exposantes à des fibres d'amiante, pour les différentes catégories de population ?

Estimation de la dose-réponse

- Certaines maladies liées à l'amiante sont-elles sans seuil ? Lesquelles, et sur la base de quelles preuves scientifiques ?
- Quelles sont les implications sur l'analyse du risque ?
- Dès lors, quelle courbe dose-réponse utiliser ?

Caractérisation du risque

- Sur la base de l'évaluation de l'exposition et de l'estimation de la dose-réponse ci-dessus, la question se pose de connaître, pour chaque catégorie de la population, son « niveau de risque ».
- Quelles sont les populations les plus à risque, et dans quels contextes ?
- Quels sont les résultats de l'évaluation des risques ?

Autres

- Au vu des réponses apportées aux questions ci-dessus selon l'état actuel des connaissances scientifiques, quelles sont les éventuelles recommandations quant aux valeurs réglementaires en Suisse ?

8.2 Statistiques de la consommation d'amiante en Suisse

Dans les années précédant l'interdiction de l'importation, commercialisation et vente de produits à base d'amiante (1989), la Suisse a été une grande consommatrice d'amiante, majoritairement d'amiante brut ou de produits amiantés importés. Cette consommation (uniquement la forme brute) a représenté jusqu'à 26'000 tonnes d'amiante par année (chiffre pour l'année 1973, où la consommation a culminé dans notre pays (126)). La consommation a ensuite progressivement baissé dès la fin des années 1970, pour stagner aux environs de 6'000 tonnes par années à la fin des années 1980, soit juste avant l'entrée en vigueur de l'interdiction d'utilisation des produits amiantés. L'amiante était importé sous forme brute, en tant que garnitures de friction ou sous forme d'amiante-ciment.

La vaste majorité (environ 90%) de l'amiante consommé sous forme brute était utilisé dans le domaine de la construction, et particulièrement en tant que matériau incorporé au ciment dans le but d'en créer des plaques d'amiante-ciment (fibrociment). Cette part importante de la production d'amiante-ciment était due à la forte présence nationale du groupe mondial Eternit SA, dont le siège était situé en Suisse et les usines les plus importantes à Niederurnen et Payerne. Le reste de la consommation, soit moins de 10% était utilisé, entre autres, dans l'industrie textile ou en tant que matériaux papier, carton et filtres. Les importations suisses d'amiante brut et de différents types de produits contenant de l'amiante sont illustrées dans la figure 4 ci-dessous pour les années 1973 à 1987.

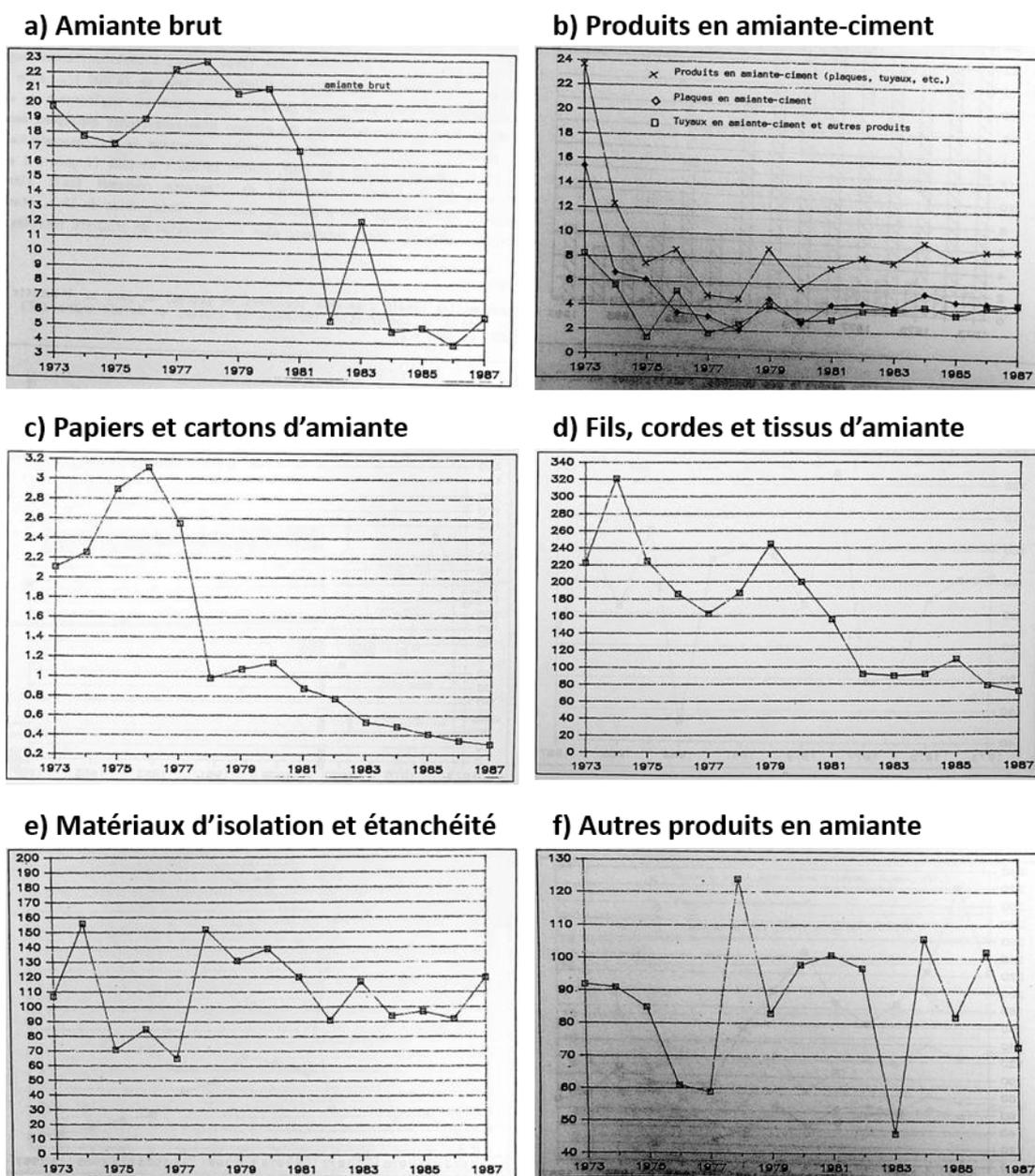


Figure 4 Imports suisses d'amiante brut et de divers produits contenant de l'amiante pour les années 1973 à 1989, en milliers de tonnes par année (a-d) et en tonnes par année (e-f)

A titre d'exemple, les importations et exportations d'amiante brut, de produits à base d'amiante-ciment, et d'autres produits à base d'amiante, ainsi que leur teneur en amiante, sont également illustrées dans la figure 5 et le tableau 15 ci-dessous, pour l'année 1986.

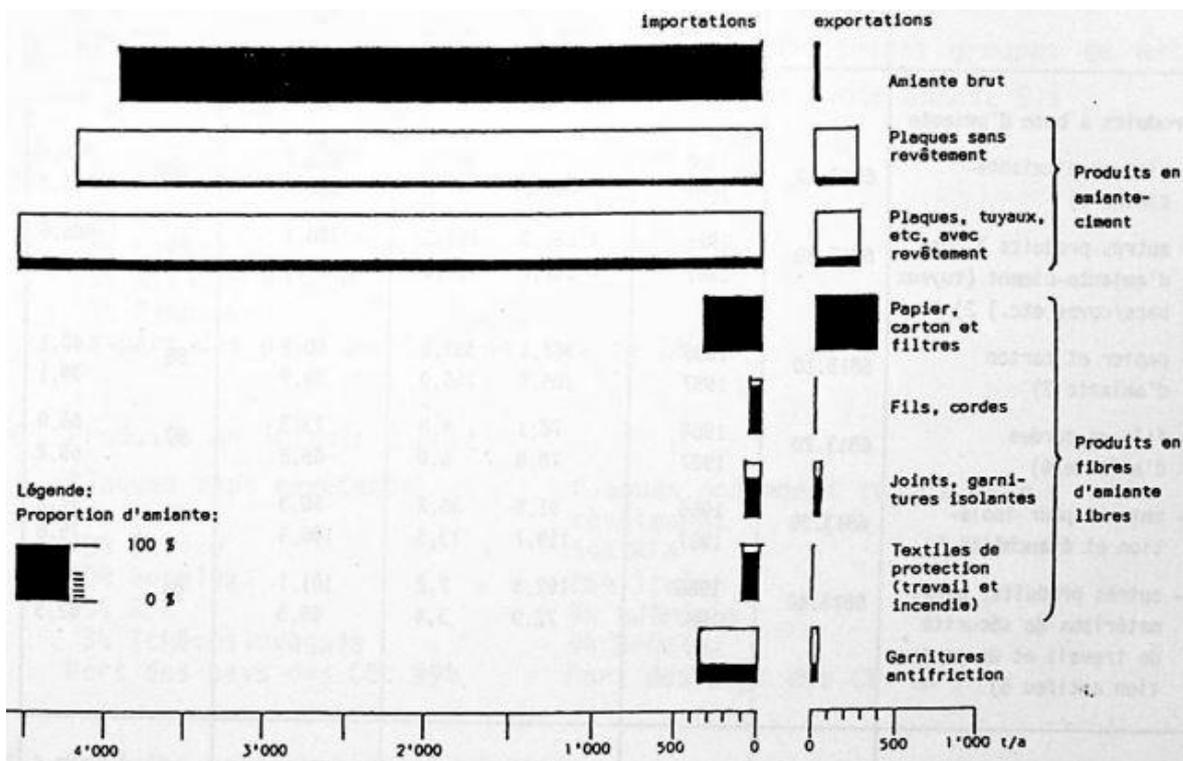


Figure 5 Statistiques d'importations et d'exportations suisses d'amiante brut et de produits amiantés et proportion de l'amiante dans ces produits pour l'année 1986

Tableau 15 Statistiques d'importations et d'exportations suisses d'amiante brut et de produits amiantés et proportion de l'amiante dans ces produits pour l'année 1986

Désignation	Importations *	Exportations *	Solde importateur *	Teneur en amiante	
				En %	En tonnes / année
Amiante brut	3'923.5	15.1	3908,2	100	3'908.2
Produits à base d'amiante					
Plaques d'amiante-ciment	4'222.6	258.6	3'964.0	10	396.4
Autres produits à base d'amiante-ciment (<i>tuyaux, bacs/cuves, etc.</i>)	4'580.3	252.2	4'328.1	20	865.6
Papier, carton et filtres	342.1	382.2	-40.1	98	-40.1
Fils et cordes	78.1	4.8	73.3	90	66
Amiante pour isolation et étanchéité (<i>joints, raccords, etc.</i>)	91.5	35.2	56.3	75	42.2
Autres produits, p.ex. matériaux de sécurité de travail et de protection antifeu (<i>couvertures, survêtements de travail, etc.</i>)	102.3	2.2	101.1	90	90.1
Garnitures antifriction	327.5	20.1	307.4	35	107.6
Consommation approximative totale d'amiante en Suisse					5'384.2

Source : reproduit et adapté d'après le tableau 2-1 du rapport 'La substitution de l'amiante en Suisse' de 1989 par l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (actuellement OFEV) (126) (calculs basés sur la statistique annuelle du commerce extérieur de la Suisse, Direction générale des douanes).

* en tonnes / années.

Par ailleurs, les calculs basés sur la statistique annuelle du commerce extérieur de la Suisse (Direction générale des douanes) du rapport de l'OFEV (126) permettent également de distinguer les principaux pays importateurs d'amiante pour la Suisse. Ces données sont détaillées dans le tableau 16 ci-dessous, pour l'année 1986. Il est à noter que le type d'amiante (serpentine vs. amphibole) peut éventuellement être déduit en fonction de l'origine géographique de l'amiante – l'Afrique du Sud étant par exemple connue pour ses carrières de crocidolite (amphibole), tandis que le Canada, l'URSS et le Zimbabwe sont connus pour leurs mines de chrysotile (amiante serpentine) (127). Cela ne fonctionnerait cependant que pour l'importation d'amiante brute, car les produits contenant de l'amiante ne sont pas forcément manufacturés dans le pays dans lequel l'amiante lui-même est extrait. D'après ces déductions, l'on pourra donc noter que la vaste majorité de l'amiante brut importé, et donc des produits en amiante-ciment usinés en Suisse (par Eternit SA) semble être de type serpentine (chrysotile).

Tableau 16 Principaux pays importateurs (compte tenu des exportations) d'amiante brut et de produits amiantés pour la Suisse, pour l'année 1986

Désignation	Solde importateur	RFA	France	Italie	Benelux	Grande-Bretagne	Suède, Danemark & Norvège	Autriche	Tchécoslovaquie	USA	Canada	URSS	Afrique du Sud	Zimbabwe
Amiante brut	3908,2	12.8	---	---	41.0	---	---	---	---	7.3	1'408.2	1'421.5	887.5	105.5
Produits à base d'amiante														
Plaques d'amiante-ciment	3'964.0	610.0	52.6	1'942.0	1'186.6	42.1	---	49.0	109.8	---	---	---	---	---
Autres produits en amiante-ciment (tuyaux, etc.)	4'328.1	2'327.2	110.9	1'114.2	177.6	---	---	387.1	166.2	---	---	---	---	---
Papier, carton et filtres	-40.1	125.0	5.4	30.9	---	6.8	16.0	8.2	---	22.0	48.2	---	---	---
Fils, pièces et tissus en amiante	73.3	47.8	---	8.4	---	9.0	---	---	---	3.2	---	---	---	---
Isolants et joints	56.3	72.9	2.7	2.5	---	---	---	---	---	2.6	---	---	---	---
Autres produits telles que les nattes de sécurité pour le travail et de protection antifeu	101.1	55.8	18.0	1.8	---	---	---	9.6	---	---	---	---	---	---
Garnitures antifriction	307.4	127.3	23.6	13.4	25.9	48.7	46.3	6.0	---	17.8	---	---	---	---

Source : reproduit et adapté d'après l'annexe 5 du rapport 'La substitution de l'amiante en Suisse' de 1989 par l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (actuellement OFEV) (126) (calculs basés sur la statistique annuelle du commerce extérieur de la Suisse, Direction générale des douanes).
Données en tonnes / année.

8.3 Annexe au chapitre 4 – 4C

Cette annexe regroupe les scénarios d'expositions et valeurs relatives extraits de la base de données française « Ev@lutil » (Université de Bordeaux), pour des activités historiques d'installation de matériaux amiantés, ainsi que pour des activités de désamiantage conduites par des professionnels avertis.

Pour chaque activité ('acte exposant'), les informations relatives aux métiers correspondants, au matériau amianté considéré, au type de fibre d'amiante ainsi qu'à la durée et au type de prélèvement ('ambiant' si le prélèvement concerne l'environnement de travail de manière générale ; 'individuel' s'il concerne la zone respiratoire personnelle – l'espace environnant directement le nez et la bouche des travailleurs) sont indiquées lorsqu'elles sont disponibles. Les valeurs minimales, maximales et moyennes (en fibres par millilitre (f/mL)) relevées au cours des analyses effectuées dans ces différentes études sont mises en évidence en rosé. Certaines valeurs manquent en raison de leur absence dans la documentation de la base Ev@lutil. Les valeurs inférieures à la limite de quantification analytique (« *Limit Of Quantification* » ; LOQ) sont identifiées comme telles (« < LOQ »). La valeur moyenne indique la moyenne arithmétique, sauf si cela est spécifié autrement⁹.

⁹ (G) : la valeur indiquée est une moyenne géométrique.

Illustration 1 – Annexe : Exemple du faux-plafond en plaques contenant de l’amiante – Quantification des fibres d’amiante (fibres par millilitres d’air – f/mL) en fonction du type d’activité et des matériaux contenant de l’amiante (MCA)

Tableau 17 Installation, mise en place du matériau amianté- Dalles de plafond

Activité (acte exposant)	Profession	MCA	Fibres	Prélèvement	Durée [min]	#Echant.	Min.	Max.	Moyenne	Pays	Année
Dépose des dalles de plafond	Ouvrier du bâtiment	Dalles de plafond	---	Ambiant	---	1	---	---	1.2 (G)	USA	1984
				Individuel	---	11	0.02	1.4	0.14 (G)	---	---

Illustration 2 – Annexe : Exemple de floccages amiantés – Quantification des fibres d’amiante (fibres par millilitres d’air – f/mL) en fonction du type d’activité et des matériaux contenant de l’amiante (MCA)

Tableau 18 Installation, mise en place du matériau amianté - Floccage

Activité (acte exposant)	Profession	MCA	Fibres	Prélèvement	Durée [min]	#Echant.	Min.	Max.	Moyenne	Pays	Année
Projection de floccage	Calorifugeur	Floccage	---	Ambiant (à 3 mètres)	---	2	70	71	---	USA	1972
				Ambiant (à 5 mètres)	---	1	---	---	17	USA	1972
				Ambiant (à 6 mètres)	---	2	37,6	66	---	USA	1972
				Ambiant (à 10 mètres)	---	1	---	---	10	USA	1972

Activité (acte exposant)	Profession	MCA	Fibres	Prélèvement	Durée [min]	#Echant.	Min.	Max.	Moyenne	Pays	Année
				Ambiant (à 25 mètres)	---	1	---	---	46	USA	1972
				Individuel	---	8	30	100	---	USA	1972
				Individuel	---	7	20	99	---	USA	1972
				---	---	---	---	400	---	Allemagne	1993
		Progypsol	---	Individuel	---	1	---	---	5,8	France	1974
				Individuel	---	1	---	---	0,59	France	1974
		Flocage (mélange d'amiante, de ciment et d'eau)	Amosite	Ambiant	---	3	0,02	0,03	0,03	UK	1975
		Mélange prêt pour le flocage	Amosite	Individuel	---	3	0,01	0,01	0,01	---	---
Projection de flocage	Ouvriers voisins d'un calorifugeur	Flocage	---	---	---	---	8	40	---	Allemagne	1993
30min. après projection	---	Flocage	---	Ambiant	---	4	1,01	4,22	---	USA	1972
60min. après projection	---	Flocage	---	Ambiant	---	5	0,26	0,76	---	USA	1972

Tableau 19 Traitement du matériau amianté

Activité (acte exposant)	Profession	MCA	Fibres	Prélèvement	Durée [min]	#Echant.	Min.	Max.	Moyenne	Pays	Année
Pulvérisation d'eau enrichie de surfactant (humidification sans aspiration)	Ouvrier du bâtiment	Flocage de charpentes	Chrysotile (80% des sites), Amosite	---	---	7	---	---	0,2	USA	1985
Coffrage (à l'intérieur)	Ouvrier du bâtiment	Flocage	Amphibole	Individuel	---	2	0,11	0,69	0,4	France	1993

Tableau 20 Déflocage – A sec, sans aspiration

Activité (acte exposant)	Profession	MCA	Fibres	Prélèvement	Durée [min]	#Echant.	Min.	Max.	Moyenne	Pays	Année
Déflocage	Ouvrier du bâtiment, Opérateur de déflocage	Flocage	---	---	---	---	---	300	---	Allemagne	1993
			---	Individuel	---	11	57,5	106,9	82,2	USA	1977
			Chrysotile	Individuel	30 à 60	79	---	---	16,4 (G)	USA	1983
Déflocage (à l'intérieur)	Ouvrier du bâtiment, Opérateur de déflocage	Flocage de charpentes	Chrysotile (80% des sites), Amosite	---	---	8	8,1	117,8	38,9	USA	1985
Déflocage au grattoir, spatules, racles, et chalumeaux) (à l'intérieur)	Ouvrier du bâtiment, Opérateur de déflocage	Flocage au niveau des murs et des plafonds	---	Ambiant	90	4	---	<i>Filtres saturés</i>	<i>Filtres saturés</i>	France	1997
				Ambiant	30	6	23	45	31	France	1991
				Individuel	92 à 175	2	0,07	0,076	0,073	---	---
Déflocage (avec confinement dynamique de la zone et port des gants + protection resp.)	Ouvrier du bâtiment, Opérateur de déflocage	Flocage	Amphibole	Individuel	---	---	5,16	29,3	17,33	France	2010
Déflocage (avec masque, à l'intérieur)	Electricien	Flocage de plafond	Chrysotile	Individuel	---	3	7	10	9	France	1992

Tableau 21 Déflocage – Avec humidification, sans aspiration

Activité (acte exposant)	Profession	MCA	Fibres	Prélèvement	Durée [min]	#Echant.	Min.	Max.	Moyenne	Pays	Année
Déflocage	Ouvrier du bâtiment	Flocage	Chrysotile	Individuel	---	15	---	---	0,5 (G)	USA	1983
				Individuel	---	6	18,2	28	23,1	USA	1977
				Individuel	---	13	1,4	7	4,2	USA	1977

Activité (acte exposant)	Profession	MCA	Fibres	Prélèvement	Durée [min]	#Echant.	Min.	Max.	Moyenne	Pays	Année
Déflocage (humidification par imprégnation avec enduits/peinture)	Ouvrier du bâtiment	Flocage	---	---	---	56	0,4	5,2	2,8	USA	1979
				Individuel	---	10	---	---	8,1	USA	1977
Déflocage avec confinement dynamique de la zone et port des gants + protection resp. (humidification par imprégnation avec enduits/peinture)	Ouvrier du bâtiment	Flocage	Amphibole	Individuel	---	---	0,04	0,87	0,29	France	2010
Déflocage avec confinement dynamique de la zone et port des gants + protection resp. (humidification par pulvérisation)	Ouvrier du bâtiment	Flocage	Amphibole	Individuel	---	---	2,93	9,59	6,85	France	2010

Tableau 22 Déflocage – Avec aspiration

Activité (acte exposant)	Profession	MCA	Fibres	Prélèvement	Durée [min]	#Echant.	Min.	Max.	Moyenne	Pays	Année
Déflocage au grattoir avec confinement du matériau	Monteur-démonteur	Flocage	Amosite	Ambiant	10 à 14	4	0,14	0,25	0,19	France	1991
				Individuel	21	3	16,7	22,9	17,9	---	---
Déflocage avec confinement dynamique de la zone et port des gants + protection resp.	Monteur-démonteur	Flocage	Amphibole	Individuel	---	---	0,02	1,38	0,71	France	2010
Déflocage au grattoir manuel et couteau (avec humid.), Ensachage des débris	Ouvrier de désamiantage	Flocage composé de plâtre (20%) et d'amiante (80%)	---	Individuel	57-137	6	2,6	10	---	USA	2007

Tableau 23 Déflocage – Conditions non-spécifiées

Activité (acte exposant)	Profession	MCA	Fibres	Prélèvement	Durée [min]	#Echant.	Min.	Max.	Moyenne	Pays	Année	
Déflocage	Ouvrier du bâtiment, Ouvrier d'entretien de construction,	Flocage de charpentes métalliques	Chrysotile, Amosite	Ambiant	---	226	< LOQ	37,1	1,1	USA	1985	
				Individuel	---	13	0,7	2,9	1,6	---	---	
	Ouvrier de désamiantage, Décalorifugeur	Flocage au plafond	Crocidolite	---	---	---	40	6,5	62	20	Finlande	1986
				---	Ambiant	308	10	0,003	0,019	---	---	---
		Flocage	---	Ambiant	308	3	0,006	0,049	0,018	---	---	
				Individuel	179	3	---	0,047	0,028	---	---	
				Individuel	415	3	0,006	0,067	0,027	---	---	
				Individuel	308	4	0,015	0,115	---	USA	1994	
Crocidolite	---	---	6	0,5	6,3	3,2	Finlande	1986				
Déflocage, Ensachage des débris	Ouvrier du bâtiment, Ouvrier d'entretien de construction, Ouvrier de désamiantage, Décalorifugeur	Flocage au niveau de gaines de ventilation	Crocidolite?	Individuel	10-122	1	> 100	---	---	Finlande	1998	
				Individuel	31-91	1	4,6	---	---	Finlande	1998	
				Individuel	10-122	1	209	---	---	Finlande	1998	
				Individuel	31-90	1	0,3	---	---	Finlande	1998	
Déflocage au marteau-couteau-pied de biche, Ensachage des débris	Ouvrier du bâtiment, Ouvrier d'entretien de construction, Ouvrier de désamiantage, Décalorifugeur	Flocage au niveau de gaines de ventilation	Crocidolite?	Individuel	10-122	1	> 100	---	---	Finlande	1998	
				Individuel	31-91	1	---	0,01	---	Finlande	1998	
				Individuel	10-122	1	> 100	---	---	Finlande	1998	
				Individuel	31-90	1	---	0,01	---	Finlande	1998	

Activité (acte exposant)	Profession	MCA	Fibres	Prélèvement	Durée [min]	#Echant.	Min.	Max.	Moyenne	Pays	Année
Retrait de calorifuge par grattage (à l'intérieur), Ensachage des débris	Ouvrier du bâtiment,	Flocage	Plâtre, amosite et fibres de verre	Ambiant	---	10	---	---	0,9	France	1991
	Ouvrier d'entretien de construction, Ouvrier de désamiantage, Décalorifugeur		Chrysotile, amosite et autres fibres	Ambiant	---	10	0,05	2,11	0,3	France	1991
Emballage de débris	Ouvrier du bâtiment	Flocage de charpentes	Chrysotile 80% des sites et amosite	---	---	8	< LOQ	8,1	3,9	USA	1985

unisanté

Centre universitaire de médecine générale
et santé publique · Lausanne