

Substances chimiques et agents biologiques

Études et recherches

RAPPORT R-724



Synthèse des connaissances sur la trémolite contenue dans le talc

*Chantal Dion
Guy Perrault
Mounia Rhazi*



Solidement implanté au Québec depuis 1980, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) est un organisme de recherche scientifique reconnu internationalement pour la qualité de ses travaux.

NOS RECHERCHES

travaillent pour vous !

Mission

Contribuer, par la recherche, à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles ainsi qu'à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes.

Offrir les services de laboratoires et l'expertise nécessaires à l'action du réseau public de prévention en santé et en sécurité du travail.

Assurer la diffusion des connaissances, jouer un rôle de référence scientifique et d'expert.

Doté d'un conseil d'administration paritaire où siègent en nombre égal des représentants des employeurs et des travailleurs, l'IRSST est financé par la Commission de la santé et de la sécurité du travail.

Pour en savoir plus

Visitez notre site Web ! Vous y trouverez une information complète et à jour. De plus, toutes les publications éditées par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement. www.irsst.qc.ca

Pour connaître l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine Prévention au travail, publié conjointement par l'Institut et la CSST. Abonnement : 1-877-221-7046

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales
2012
ISBN : 978-2-89631-591-8 (PDF)
ISSN : 0820-8395

IRSST - Direction des communications
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : 514 288-1551
Télécopieur : 514 288-7636
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche Robert-Sauvé
en santé et en sécurité du travail,
janvier 2012

Substances chimiques et agents biologiques

Études et recherches

■ RAPPORT R-724

Synthèse des connaissances sur la trémolite contenue dans le talc

Avis de non-responsabilité

L'IRSST ne donne aucune garantie relative à l'exactitude, la fiabilité ou le caractère exhaustif de l'information contenue dans ce document. En aucun cas l'IRSST ne saurait être tenu responsable pour tout dommage corporel, moral ou matériel résultant de l'utilisation de cette information.

Notez que les contenus des documents sont protégés par les législations canadiennes applicables en matière de propriété intellectuelle.

Chantal Dion
Prévention des risques chimiques et biologiques, IRSST

Guy Perrault
Consultant

Mounia Rhazi
Institut Armand-Frappier

Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca



Cette publication est disponible
en version PDF
sur le site Web de l'IRSST.

Cette étude a été financée par l'IRSST. Les conclusions et recommandations sont celles des auteurs.

CONFORMÉMENT AUX POLITIQUES DE L'IRSST

Les résultats des travaux de recherche publiés dans ce document
ont fait l'objet d'une évaluation par des pairs.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier monsieur André Dufresne, de l'Université de Montréal, pour sa contribution importante dans l'élaboration du devis de recherche et pour les discussions et commentaires pertinents tout au long de l'évolution du projet. Nos remerciements s'adressent également à monsieur Jacques Blain et madame Maryse Gagnon, bibliothécaires, à l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST), pour leur contribution à la recherche bibliographique, ainsi qu'à mesdames France C. Lafontaine et Diane Laprés, secrétaires, pour leur aide à la mise en forme de ce document.

Nous tenons également à souligner la contribution financière de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES, France) et à remercier les experts du Groupe de travail "Talc trémolitique" pour les discussions et les commentaires constructifs lors de la finalisation de ce rapport.

SOMMAIRE

Le talc est largement utilisé dans différents milieux de travail, notamment dans les secteurs de la céramique, des peintures (peinture antirouille), des composés à joint pour gypse, des cosmétiques, du plastique et du caoutchouc. Puisque certains talcs peuvent contenir des amphiboles dont la trémolite, possiblement sous la morphologie asbestiforme (ou fibreuse) et non asbestiforme (fragments de clivage), il est important d'en connaître la provenance et la composition afin de mettre en place des stratégies de surveillance de l'exposition et des moyens de prévention adéquats pour les travailleurs et autres utilisateurs.

Plusieurs définitions et applications du terme amiante sont utilisées pour classer les amphiboles, que ce soit dans les études sur les effets sur la santé, en surveillance de l'exposition ou à des fins réglementaires. Compte tenu des différents avis et études contradictoires sur le plan des définitions, des méthodes d'analyse, de la réglementation, et sur les effets sur la santé de la trémolite non asbestiforme, la CSST¹ a demandé à l'IRSSST de réaliser un bilan de la littérature portant sur la trémolite, présente dans le talc et la vermiculite, afin de clarifier les impacts sur la santé et la sécurité des travailleurs et de faciliter la mise en œuvre des moyens de prévention dans le contexte québécois. Ce rapport couvre la synthèse des résultats obtenus pour la trémolite présente dans le talc. La vermiculite et ses constituants feront l'objet d'une autre étude.

L'objectif principal de cette étude est de produire un bilan et une synthèse des connaissances sur le talc trémolitique en relation avec les différentes morphologies, asbestiforme (amiante) et non asbestiforme (fragments de clivage), et en fonction des paramètres suivants :

- La métrologie (définitions, caractérisation des matériaux, échantillonnage et exposition);
- La réglementation (normes et les critères réglementaires appliqués dans les différents pays);
- Les données épidémiologiques sur les effets sanitaires.

Depuis le début des années 1990, plusieurs études se sont intéressées aux particules minérales allongées (PMAs) générées à partir du broyage et de la fracture de minéraux amphiboles non asbestiformes, définies comme les fragments de clivage. Plus particulièrement, les études ont porté sur la trémolite, contenue naturellement dans certains gisements de talc et de vermiculite, minerais qui sont utilisés dans différents produits de consommation. L'information est toutefois encore limitée sur les expositions et les effets sur la santé de ces PMAs.

Les experts, les analystes, les chercheurs et les scientifiques gouvernementaux n'ont pas réalisé de consensus sur la définition ou la différenciation des amphiboles asbestiformes et non asbestiformes (fragments de clivage). Si la distinction entre fragments de clivage et fibres asbestiformes est claire théoriquement, elle est plutôt obscure du point de vue analytique. L'utilisation de méthodes d'analyse complémentaires telles que la microscopie optique à contraste de phase, la microscopie électronique à balayage, la microscopie électronique à transmission avec la diffraction électronique en aire sélectionnée (MET) ou la microscopie électronique à transmission analytique (META : MET couplé à la spectrométrie de rayons X en dispersion d'énergie), permettrait de confirmer la présence de fibres d'amiante dans un minerai ou un matériau et, plus spécifiquement, de déterminer la concentration dans l'air de fibres, de fibres de trémolite asbestiforme, de fragments de clivage de trémolite et de fibres de talc, s'il y avait consensus sur les critères de différenciation à être utilisés.

¹ CSST : Commission de la santé et de la sécurité du travail, Québec, Canada

La plupart des études décrivant des effets sur la santé reliés à l'exposition au talc contiennent peu d'information sur la caractérisation du talc impliqué. Même si les méthodes d'analyse permettaient hors de tout doute de caractériser la présence d'amphiboles et de quantifier la partie asbestiforme et la partie non asbestiforme, il reste qu'il est peu probable que les études de toxicologie puissent être réalisées sur des produits complètement purs, car les talcs sont généralement un mélange de différents minéraux en concentration variable. Toutefois, ces informations seraient précieuses en épidémiologie pour tenter de mieux établir les relations dose/réponse.

L'exposition à la poussière de talc est associée à des maladies respiratoires telles que les NMRD², surtout des pneumoconioses, et au cancer du poumon, en présence d'autres agents cancérigènes. En effet, la poussière du minerai de talc peut causer la silicose, la talcose et des pneumoconioses mixtes, mais la part de causalité entre le talc, le quartz et les autres agents silicotiques n'est pas discernable.

Les travailleurs des moulins ne présentent pas d'augmentation de risque significatif de cancer du poumon, mais les mineurs pourraient montrer des tendances ou des augmentations significatives de risque en présence d'autres cancérigènes comme le radon, le quartz ou l'amiante. L'utilisation de la concentration pondérale (poussière ou poussière respirable), comme métriques d'exposition, est un mauvais prédicteur de la concentration en fibres ou en particules minérales allongées. Il s'ensuit une possibilité de mauvaises classifications des cas qui compliquent l'établissement d'une relation dose/réponse.

La possibilité de mésothéliomes liés à l'exposition à la poussière de talc demeure un sujet controversé. Les mésothéliomes présentent des difficultés de diagnostic et de reconnaissance de la causalité. Dans l'état actuel des connaissances, il n'y a pas de preuve qui permet de relier le mésothéliome et l'exposition au talc ne contenant pas d'amiante ou de fibre asbestiforme.

À partir des résultats que nous fournissent les études épidémiologiques, il est difficile de répondre de façon définitive, preuve à l'appui, à la question sur le risque pour la santé de la trémolite non asbestiforme (fragments de clivage), en raison des lacunes sur la caractérisation des expositions. En effet, aucune étude n'avait à sa disposition des résultats de concentration de fragments de clivage bien caractérisés et bien échantillonnés en zone respiratoire des travailleurs.

Compte tenu de toutes ces incertitudes sur les expositions et les effets sur la santé, des recherches sont encore nécessaires tant au niveau de la toxicologie et de l'épidémiologie que sur les mesures d'expositions, l'échantillonnage et les méthodes analytiques. De plus, les études minéralogiques des tissus pulmonaires (biométrie) pourraient permettre l'identification de surcharges anormales et la caractérisation de fibres et de PMAs. Ces recherches pourraient aider à définir les méthodes d'analyse et d'échantillonnage qui mesureront plus adéquatement les caractéristiques pertinentes de toxicité. Les résultats devraient aussi contribuer au développement de recommandations pour la protection des travailleurs.

² Anomalies respiratoires non malignes (NMRD, pour Non-Malignant Respiratory Disease)

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION	1
2. CONTEXTE	3
3. OBJECTIFS	5
4. MÉTHODOLOGIE	7
5. MÉTROLOGIE (DÉFINITIONS ET ANALYSES)	9
5.1 Définitions et terminologie	9
5.1.1 Amiante	9
5.1.2 Asbestiforme	10
5.1.3 Non asbestiforme (et fragments de clivage).....	10
5.1.4 Trémolite	11
5.1.5 Talc.....	12
5.1.6 Autres définitions	15
5.2 Caractérisation et analyse	18
5.2.1 Échantillonnage et analyse	18
5.2.2 Méthodes de référence	19
5.2.3 Exposition professionnelle à la poussière de talc.....	22
6. RÉGLEMENTATION ET RECOMMANDATIONS (AMIANTE ET TALC)	27
6.1 Normes et recommandations	27
6.2 Historique de la réglementation aux États-Unis	29
7. ÉTUDES ÉPIDÉMIOLOGIQUES	31
7.1 Revues	31
7.2 Articles scientifiques	31
7.3 Autres publications	32
7.4 Articles non retenus pour la section épidémiologie	32

7.5	Résumé des résultats des études épidémiologiques	33
8.	DISCUSSION ET CONCLUSION	35
8.1	Définitions et métrologie (caractérisation et réglementation).....	35
8.2	Études épidémiologiques.....	36
8.2.1	NMRD.....	36
8.2.2	Cancer du poumon	36
8.2.3	Mésothéliomes	37
8.2.4	Limites des interprétations des études épidémiologique.....	37
9.	RECOMMANDATIONS.....	39
10.	BIBLIOGRAPHIE	41
	ANNEXE A : SYNONYMES ET NOMS COMMERCIAUX DU TALC.....	47
	ANNEXE B : ÉTUDES ÉPIDÉMIOLOGIQUES.....	48
	Annexe B1. Revues	49
B1.1	ATS (1990).....	49
B1.2	Baan (2007) et CIRC (2010)	52
B1.3	Wild (2006).....	56
	Annexe B2. Articles scientifiques.....	61
B2.1	Gibbs et al. (1992)	61
B2.2	Gamble (1993).....	61
B2.3	Hull et al. (2002).....	62
B2.4	Roggli et al. (2002).....	62
B2.5	Honda et al. (2002)	63
B2.6	Ramanakumar et al. (2008)	64
B2.7	Wild et al. (2008).....	66
	Annexe B3. Autres publications.....	68
B3.1	OSHA (1992).....	68
B3.2	Guthrie (1992)	68
B3.3	Ilgren (2004).....	68
B3.4	Gamble et Gibbs (2008)	69

B3.5 Price (2010)	72
ANNEXE C : TABLEAUX TIRÉS DE WILD ET AL. (2006).....	73
ANNEXE D : TABLEAUX ADAPTÉS DU CIRC (2010).....	77

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Variétés asbestiformes et non asbestiformes de minéraux silicates sélectionnés, composition chimique et # CAS.....	9
Tableau 2 : Composition minéralogique de certains talcs européens et américains	16
Tableau 3 : Niveaux d'exposition professionnelle au talc	24
Tableau 4 : Valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) – talc et amiante	28
Tableau B1 : Grille d'analyse – Revues – ATS 1990 - Travailleurs.....	51
Tableau B2 : Grille d'analyse – Revues – Baan (2007) et CIRC (2010)	55
Tableau B3 : Grille d'analyse – Revues – Cancer du poumon Wild (2006).....	59
Tableau B4 : Grille d'analyse – Articles – Gibbs et al (1992)	61
Tableau B5 : Grille d'analyse – Articles – Gamble (1993).....	62
Tableau B6 : Grille d'analyse – Articles – Hull et al. (2002)	62
Tableau B7 : Grille d'analyse – Articles – Roggli <i>et al.</i> (2002)	63
Tableau B8 : Grille d'analyse – Articles – Honda (2002).....	64
Tableau B9 : Grille d'analyse – talc trémolitique – Ramanakumar et al. (2008)	65
Tableau B10 : Prévalence d'exposition vie entière au talc	65
Tableau B11 : Odds ratios (OR) du cancer du poumon suite à une exposition au talc.....	66
Tableau B12 : Grille d'analyse – Articles – Wild et al. (2008)	67
Tableau B13 : Summary of results for lung cancer and mesothelioma from studies of NY talc workers	70
Tableau C1 : Summary characteristics of talc exposed populations in talc producing companies.....	74
Tableau C2 : Summary characteristics of talc exposed populations in other industries	75
Tableau C3 : Lung cancer and mortality from all causes in the talc producing companies.....	75
Tableau C4 : Lung cancer relative risks in relation to talc exposure in other industries	76
Tableau D1 : Cohort studies of mortality from and incidence of lung cancer in populations occupationally exposed to non-asbestiform talc	78
Tableau D2 : Cohort studies of mortality from and incidence of lung cancer in workers occupationally exposed to non-asbestiform talc in user industries	84

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Cancer du poumon et mortalité par mésothéliome des travailleurs de l'État de New York et de Norvège	72
--	----

1. INTRODUCTION

L'amiante, représenté par six espèces minérales exploitées commercialement, est un des produits qui a été le plus étudié au monde et ses effets sur la santé des travailleurs sont bien connus. La littérature scientifique discute de particules minérales allongées (PMAs ou EMPs, pour *elongate mineral particles*) qui ont aussi été exploitées commercialement (wollastonite, attapulgitite et sépiolite) ou qui peuvent être présentes naturellement dans d'autres minéraux (talc, vermiculite et taconite) mais ne sont pas considérées comme de l'amiante. Depuis le début des années 1990, plusieurs études se sont intéressées aux PMAs générées à partir du broyage et de la fracture de minéraux amphiboles non asbestiformes, souvent définies comme les fragments de clivage. Plus particulièrement, les PMAs de trémolite, un minéral contenu naturellement dans certains gisements de talc et de vermiculite, qui sont utilisés dans différents produits de consommation. L'information est toutefois encore limitée sur les expositions et les effets sur la santé de ces PMAs (NIOSH, 2011).

Le talc est largement utilisé dans différents milieux de travail, notamment dans les secteurs de la céramique, des peintures (peinture anti-rouille), des composés à joint pour gypse, des cosmétiques, du plastique, du caoutchouc, etc. Puisque certains talcs peuvent contenir de la trémolite, il est important d'en connaître la provenance et la composition afin de mettre en place des stratégies de surveillance de l'exposition et des moyens de prévention adéquats pour les travailleurs et autres utilisateurs.

Plusieurs terminologies sont utilisées pour classer les amphiboles, dont fait partie la trémolite, sous leur appellation asbestiforme ou non asbestiforme. La littérature scientifique véhicule plusieurs définitions et applications du terme amiante en lien avec les dimensions, les caractéristiques, la minéralogie, etc., que ce soit dans les études sur les effets sur la santé, en surveillance de l'exposition ou à des fins réglementaires. Les discussions se poursuivent entre spécialistes de diverses disciplines à plusieurs niveaux : la législation, les sciences géologiques ou minéralogiques, l'industrie minière, les sciences médicales (hygiéniste, médecin et toxicologue), la gestion du risque et autres. Compte tenu des différents avis et études contradictoires sur le plan des définitions, des méthodes d'analyse, de la réglementation, et sur les effets sur la santé de la trémolite non asbestiforme, la CSST³ a demandé à l'IRSSST de réaliser un bilan de la littérature portant sur la trémolite, présente dans le talc et la vermiculite, afin de clarifier les impacts sur la santé et la sécurité des travailleurs et de faciliter la mise en œuvre des moyens de prévention dans le contexte québécois. De son côté, l'ANSES⁴ (anciennement l'AFSSET⁵) a demandé à l'IRSSST de produire une synthèse de la littérature portant plus spécifiquement sur le talc trémolitique.

Ce rapport de recherche présente la synthèse des résultats obtenus pour la trémolite présente dans le talc.

³ CSST : Commission de la santé et de la sécurité du travail, Québec, Canada

⁴ ANSES : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (France)

⁵ AFSSET : Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (France)

2. CONTEXTE

L'American Thoracic Society (ATS), l'Occupational Safety and Health Administration (OSHA) et le National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH) ont examiné les évidences d'effets sur la santé de la trémolite non asbestiforme, autour des années 1990.

Ainsi, l'ATS a créé un comité, en 1988, pour documenter les effets sur la santé de la trémolite, du point de vue de l'épidémiologie et des études animales, de la minéralogie et de la réglementation. L'objectif était de statuer sur la distinction minéralogique entre une fibre asbestiforme (FA) et un fragment de clivage (FC) et de l'impact de cette distinction sur l'activité biologique (ATS, 1990). En raison du manque de consensus entre les minéralogistes et l'information limitée sur les données publiées concernant les espèces (FA ou FC) utilisées ou observées dans les études animales et chez les humains, l'ATS a décidé d'ignorer la distinction entre les deux morphologies et considérer plutôt des fibres de tailles différentes. Il était alors impossible de conclure sur les effets biologiques basés sur la distinction FC et FA. L'ATS, en invoquant le principe de précaution, a proposé de réglementer en conséquence et de prendre les mêmes mesures de prévention avec les fibres asbestiformes et non asbestiformes (fragments de clivage) de mêmes tailles. Des recommandations ont été énoncées pour la poursuite de recherches plus poussées sur les conséquences biologiques de chacune des distinctions minéralogiques reconnues et sur la possibilité de modifier la notion de « fibre réglementée » (rapport longueur/diamètre supérieur à 3:1; longueur supérieure à 5 µm) pour mieux refléter les effets biologiques.

L'OSHA, en 1986, a promulgué deux standards pour l'exposition à l'amiante, dans l'industrie en général et dans le secteur de la construction. Les six variétés d'amiante y étaient définies et l'actinolite, la trémolite et l'anthophyllite (ATA) étaient reconnues comme pouvant exister sous la forme asbestiforme et la forme non asbestiforme. Quoique l'OSHA reconnaissait l'existence d'une distinction minéralogique entre les deux formes, celles-ci étaient réglementées de la même façon, soit comme une exposition à l'« amiante vrai ». Une controverse s'est alors amorcée et a provoqué un délai dans l'adoption d'une réglementation pour ces portions jusqu'en 1990.

Historiquement, une exposition à l'amiante par l'OSHA est mesurée en considérant les fibres de longueur supérieure à 5 µm et dont le rapport longueur/diamètre (allongement) est supérieur à 3:1, en utilisant la microscopie optique à contraste de phase (MOCP). Un tel allongement, tel qu'utilisé par l'OSHA (et soutenu par ACGIH et NIOSH), permettrait de distinguer les fibres des particules dans un échantillon d'air. Cet énoncé n'est toutefois pas un critère minéralogique accepté universellement.

Les minéralogistes considèrent une fibre minérale comme une unité cristalline qui a crû individuellement en une forme allongée. Les fragments de clivage sont produits par une fracture des cristaux, parallèle à leurs faces. Les FC des ATA peuvent ressembler à des fibres et rencontrer les définitions d'une fibre par l'OSHA. Ces FC, aussi définis par des termes tels que « allongés, aciculaires, fibreux », ne sont pas considérés comme des fibres d'amiante « vraies » par plusieurs minéralogistes. L'OSHA est en accord avec le fait qu'une terminologie minéralogique identifie une formation minérale distincte et différente. Toutefois, à un niveau microscopique, tel qu'observé sur des échantillons d'air, cette différence n'est pas aussi claire. Pour les données sur les effets sur la santé, l'OSHA mentionne qu'il est impossible de distinguer clairement entre les expositions aux minéraux asbestiformes et celles aux minéraux non asbestiformes, puisqu'ils coexistent généralement en mélange (OSHA, 1992).

En 1990, l'OSHA propose de retirer sa réglementation précédente et de ne pas réglementer les ATA non asbestiformes de la même façon que l'amiante. L'OSHA conclut qu'il y a évidence insuffisante que la forme non asbestiforme de la trémolite, de l'actinolite et de l'anthophyllite produira des effets néfastes à la santé, de même type et de même sévérité, que ceux produits par une exposition chronique aux amiantes amphiboles.

Les deux organismes ont donc déduit que les évidences scientifiques n'étaient pas suffisantes pour conclure sur la présence ou sur l'absence d'effets sur la santé, mais que les effets constatés avec la trémolite non asbestiforme semblaient moins importants que ceux causés par la trémolite asbestiforme. L'OSHA a d'ailleurs élargi ces notions à d'autres amphiboles (anthophyllite et actinolite). Tandis que l'ATS, en invoquant le principe de précaution, a proposé de prendre les mêmes mesures de prévention avec les fibres asbestiformes et non asbestiformes, l'OSHA a décidé de ne plus réglementer les fibres non asbestiformes faute de preuve sur leur toxicité.

Parallèlement, le National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH, 1990) a révisé sa recommandation concernant l'exposition professionnelle aux fibres d'amiante. En raison de préoccupations autour des risques de santé potentiels associés à l'exposition des travailleurs aux PMAs, de composition minéralogique similaire aux fibres d'amiante, et de l'incapacité de la méthode d'analyse de routine (microscopie optique à contraste de phase, MOCP) à différencier les particules individuelles PMAs des fibres d'amiantes, NIOSH, par mesure de précaution, a défini les fibres d'amiante aéroportées pour englober non seulement les fibres des six minéraux d'amiante mais aussi les PMAs provenant de leur analogue non asbestiforme. NIOSH a retenu l'utilisation de la MOCP pour mesurer les concentrations de fibres aéroportées et compter les PMAs qui ont une longueur supérieure à 5 μm et un rapport d'allongement de 3:1 et plus. Depuis, plusieurs inquiétudes et discussions autour de cette recommandation ont été soulevées au NIOSH et sont présentées dans un document récent (NIOSH, 2011), dont (traduction libre) :

- L'inclusion des PMAs d'amphiboles non asbestiformes par NIOSH est basée sur des résultats peu concluants et va à l'encontre de l'approche réglementaire de l'OSHA et du MSHA (Mine Safety and Health Administration) ;
- Les PMAs des autres amphiboles asbestiformes (winchite et richterite) ou d'autres minéraux fibreux (érionite) qui ont été associés à des effets sur la santé similaires à ceux causés par l'amiante, ne sont pas pris en compte explicitement ;
- Le critère de dimension spécifié pour l'amiante (rapport d'allongement > 3:1 et longueur ≥ 5 μm) peut ne pas être optimal pour protéger la santé des travailleurs exposés puisqu'il n'est pas basé uniquement sur des problèmes de santé ;
- D'autres paramètres physico-chimiques, tels que la durabilité et l'activité de surface, peuvent être des paramètres toxicologiques importants, qui ne sont pas reflétés dans la définition de NIOSH ;
- La définition de NIOSH diffère de celle des minéralogistes et cette inconsistance mène à la confusion autour de la toxicité des PMAs.

3. OBJECTIFS

L'objectif principal de cette étude est de produire un bilan et une synthèse des connaissances sur le talc trémolitique en relation avec les différentes morphologies, asbestiforme ou non asbestiforme (fragments de clivage), et en fonction des paramètres suivants :

- La métrologie (définitions, caractérisation des matériaux, échantillonnage et exposition);
- La réglementation (normes et les critères réglementaires appliqués dans les différents pays);
- Les données épidémiologiques sur les effets sanitaires.

4. MÉTHODOLOGIE

La recherche bibliographique a été d'abord effectuée, à partir des années 1990 jusqu'en 2005, dans les sources bibliographiques suivantes : Chemical Abstracts, Medline/PubMed, Toxline, CISDOC (Bureau International du Travail), INRS, NIOSHTIC Biblio, Scirus, BIOSIS, BIOME, CANADIANA, HSELINE et CSST (ISST). Les mots clés utilisés, en français et en anglais, regroupaient les sujets suivants : actinolite, amiante, amiantiforme, amphibole, anthophyllite, asbestiforme, attapulgitite, non amiantiforme, non asbestiforme, palygorskite, richterite, talc, tré molite, vermiculite, winchite, wollastonite et zonolite; avec : caractérisation, danger, effet, épidémiologie, exposition, identification, impact, inhalation, mesures de l'exposition, poussières, santé, sécurité, sensibilisation et toxicologie. Deux mises à jour de la recherche bibliographique ont été faites en novembre 2009 et avril 2010, selon les mêmes critères (revues et mots-clés).

Pour s'assurer de la qualité et de l'accessibilité de ces connaissances, les articles retenus proviennent de journaux scientifiques avec révision par les pairs, de rapports d'organismes internationaux ou gouvernementaux d'envergure scientifique reconnue, de bases de données institutionnelles ou de thèses universitaires. Les motifs d'exclusion des articles non retenus sont : les histoires de cas, les lacunes méthodologiques, l'inaccessibilité, la langue (autre que français et anglais), les documents généraux sur l'amiante, les études environnementales et les articles traitant de l'usage thérapeutique et de l'usage périnéal du talc, des autres minéraux (vermiculite, sépiolite, wollastonite, attapulgitite, ériolite, etc.) ainsi que les études toxicologiques, animales ou mécanistiques.

Au total, près de 1325 publications, parues après 1990, ont été recensées par nos recherches bibliographiques. Après une première révision, environ 550 données ont été éliminées parce qu'elles étaient des doublons. Les publications qui n'étaient pas en langues anglaise ou française (14) ont ensuite été éliminées. Des 760 données restantes, plus de 650 ont été exclues pour leur non-pertinence avec le sujet ou pour les raisons énumérées ci-haut. Au final, 90 documents ont été conservés dont 34 seulement ont été cités dans la présente bibliographie. Selon l'usage en science, les références qui sont citées dans les articles ou rapports récents ne sont pas répétées, à moins qu'elles ne soient utilisées nommément dans le texte.

À partir des documents de l'ATS et de l'OSHA, la recherche de la littérature scientifique et technique a permis de déterminer la présence ou l'absence de nouvelles données sur l'évaluation de la toxicité et du risque pour la santé des fibres d'amphiboles, surtout de la tré molite asbestiforme et non asbestiforme, et de toute autre fibre minérale naturelle ou minerais qui pourraient être contaminés par la tré molite ou posséder les mêmes caractéristiques dimensionnelles que la tré molite. Une recherche bibliographique moins formelle a aussi été effectuée pour recueillir les outils d'information ou documents techniques qui ont été élaborés par les organismes gouvernementaux et privés à travers le monde, pour favoriser l'identification et la connaissance de ces différentes entités et pour recommander des moyens de contrôle.

Les articles sélectionnés ont été compilés dans la base de données Reference Manager et ont été regroupés en trois sections : métrologie (incluant les définitions), réglementation et épidémiologie. Les articles des sections métrologie et réglementation ont été examinés et évalués strictement selon leur contenu scientifique. Les articles sur les effets sur la santé de la section épidémiologie, ont été interprétés selon des critères plus exhaustifs. En effet, une seule étude peut ne pas donner de preuves définitives tandis que plusieurs études peuvent donner lieu à des

conclusions contradictoires. D'où l'importance de réaliser une revue générale de la littérature de façon systématique conformément à des critères et des règles, tels que ceux décrits dans les principes de Cochrane⁶. Des niveaux de preuve élevé (É), intermédiaire (I), faible (F) et absent (Ab) ont été utilisés afin de comparer la qualité des études citées et de déterminer si l'absence de biais (en particulier, relativement à la connaissance de l'exposition), est telle que l'on peut considérer les résultats fiables⁷.

Le niveau de preuve est une interprétation, par les auteurs du présent rapport, du niveau de preuve déterminé par la revue ou l'article consulté. Pour s'appuyer sur cette interprétation, le rapport utilise les critères suivants :

- « faible » : sans ajustement pour les facteurs confondants et sans relation dose/réponse ;
- « intermédiaire » : l'une ou l'autre de ses deux conditions est manquante ;
- « élevé » : les deux critères sont satisfaits.

Toutefois, l'interprétation peut être modulée par les remarques ou les explications dans le texte, le plus souvent dans la discussion ou dans la conclusion. Par exemple, l'auteur de l'article ou de la revue consulté peut argumenter de façon convaincante que la possibilité d'un ajustement pour un facteur confondant ne soit pas un facteur déterminant.

Pour simplifier la présentation, les effets sur la santé ont été regroupés sous la terminologie suivante :

- A : anomalies respiratoires non malignes (NMRD, pour Non-Malignant Respiratory Disease), plaques pleurales, anomalies interstitielles, bronchite chronique, etc. ;
- P : pneumoconiose (silicose, amiantose, pneumoconiose mixte, etc.);
- M : mésothéliome, décrit selon leur nombre;
- C : cancer du poumon.

La section 5 du rapport traitera de la métrologie, en terme de définitions et terminologie, pour l'amiante, les morphologies asbestiforme et non asbestiforme, la trémolite et le talc, ainsi que de la caractérisation, des méthodes d'échantillonnage et d'analyse des talcs, et de l'exposition professionnelle à la poussière de talc. La réglementation et les recommandations pour l'amiante et le talc sont traitées à la section 6. Les effets sur la santé sont déduits à partir des études épidémiologiques et sont résumés à la section 7. Les grilles d'analyse des revues et articles scientifiques sont présentées à l'annexe B. La description détaillée des données épidémiologiques des différents articles peut être consultée à l'annexe C, aux tableaux C1 à C4 (tirés de Wild, 2006) et à l'annexe D, aux tableaux D1 et D2 (tirés de CIRC, 2010).

⁶ M.W. van Tulder, W. J.J. Assendelft, B.W. Koes, L.M. Bouter, and the Editorial board of the Cochrane Collaboration Back Review Group. Method Guidelines for Systematic reviews in the *Cochrane Collaboration* Back Review Group for Spinal Disorders.

⁷ C. Lessard. Atelier méthodologique. La production et l'utilisation de méta-analyses et de revues systématiques de la littérature. Élaboration d'une revue systématique et d'une méta-analyse. 8^{es} journées annuelles de santé publique. Montréal. 29 novembre au 2 décembre 2004.

5. MÉTROLOGIE (DÉFINITIONS ET ANALYSES)

5.1 Définitions et terminologie

5.1.1 Amiante

L'amiante est un terme commercial qui décrit six minéraux naturels, les silicates hydratés, répartis en deux groupes : la serpentine et les amphiboles. L'amiante se présente sous la forme fibreuse (asbestiforme) et différentes propriétés lui confèrent sa valeur commerciale : faible conductivité électrique et thermique, stabilité chimique, durabilité, haute résistance à la traction, flexibilité, etc. La plupart des données sur les risques pour la santé touchent la terminologie des minéraux commerciaux. Il existe toutefois une confusion associée à la nomenclature et aux définitions de l'amiante, qui ne sont pas appliquées de façon uniforme (USGS, 2002; Meeker *et al.*, 2003). En effet, la terminologie « amiante » est très différente selon son utilisation par les minéralogistes, les hygiénistes et les médecins du travail, les épidémiologistes, les chimistes ou analystes et les organismes réglementaires.

Plusieurs silicates peuvent se présenter sous deux formes, asbestiformes et non asbestiformes. Le tableau 1 énumère les six minerais dont la variété fibreuse (asbestiforme) est réglementée sous le vocable « amiante » ainsi que leur équivalent particulaire ou non fibreux (non asbestiforme).

Tableau 1 : Variétés asbestiformes et non asbestiformes de minéraux silicates sélectionnés, composition chimique et # CAS¹

Variétés asbestiformes (# CAS) ¹	Composition chimique ²	Variétés non asbestiformes (# CAS) ¹
	Groupe de la serpentine	
Chrysotile (12001-29-5)	3MgO.2SiO ₂ .2H ₂ O	Antigorite (12135-86-3)
	Groupe des amphiboles	
Amiante actinolite (77536-66-4)	2CaO.4MgO.FeO.8SiO ₂ .H ₂ O	Actinolite (13768-00-8)
Amiante anthophyllite (77536-67-5)	7MgO.8SiO ₂ .H ₂ O	Anthophyllite (17068-78-9)
Amiante trémolite (77536-68-6)	2CaO.5MgO.FeO.8SiO ₂ .H ₂ O	Trémolite (14567-73-8)
Amosite (grunerite) (12172-73-5)	11FeO.3MgO.8SiO ₂ .H ₂ O	Grunerite (14567-61-4)
Crocidolite (12001-28-4)	Na ₂ O.Fe ₂ O ₃ .FeO.8SiO ₂ .H ₂ O	Riebeckite (17787-87-0)

¹ : CAS (Chemical Abstract Service) ; ² : D'après Kirk Othmer (1978).

Dans le groupe des amphiboles, les formes asbestiformes et non asbestiformes de la trémolite, de l'actinolite et de l'anthophyllite ne portent pas un nom différent; c'est pourquoi, dans différents textes réglementaires, le terme amiante ou asbestiforme est ajouté au nom du minéral. Chaque minéral non asbestiforme et son équivalent asbestiforme ont la même composition chimique, mais diffère dans leur croissance cristalline.

5.1.2 Asbestiforme

Le terme asbestiforme fait référence à une morphologie provenant d'une cristallisation naturelle d'un minéral en cristaux fins, en fibre d'apparence de cheveux (unidimensionnel). Cette morphologie confère au minéral des caractéristiques particulières dont un rapport d'allongement (rapport longueur/diamètre) élevé, des propriétés mécaniques accrues, force, flexibilité et durabilité. Dans la morphologie asbestiforme, les cristaux ont crû en formant des fibres longues et filiformes. Ces fibres sont retrouvées dans des agglomérats pouvant facilement se séparer en plus petites fibres (fibrilles) qui, durant des procédés, maintiennent leur propriétés de surface et d'activité. L'OSHA (1992) précise que le critère asbestiforme dépend non pas de la structure cristalline mais plutôt de la manière que le cristal croît ou sa formation cristalline. Quand une pression est appliquée sur une fibre d'amiante, elle pliera plutôt que de briser. Les fibres peuvent se séparer en fibrilles d'un diamètre plus petit, souvent moindre que $0,5 \mu\text{m}$. Cet effet réfère à la terminologie « polyfilamenteux » qui correspond à la caractéristique la plus importante de l'amiante (MSHA, 2005). Le terme asbestiforme n'a pas été défini pour des besoins réglementaires. Toutefois, l'EPA a une définition de la morphologie asbestiforme qui permet de différencier les minéraux asbestiformes des fragments de clivage (EPA, 1993) (traduction libre):

« un minéral qui est comme l'amiante, c'est-à-dire cristallisé dans une morphologie d'amiante. Certains minéraux asbestiformes peuvent ne pas avoir les qualités qui donnent à l'amiante sa valeur commerciale, tels que des fibres longues et une haute résistance à la traction. Avec le microscope optique, la morphologie asbestiforme est généralement reconnue par les caractéristiques suivantes :

- Rapport d'allongement (longueur/diamètre) variant de 20:1 jusqu'à 100:1 et plus pour des fibres plus longues que $5 \mu\text{m}$. Les rapports d'allongement doivent être déterminés pour les fibres et non pour les faisceaux ;
- Fibrilles très fines, $< 0,5 \mu\text{m}$ de diamètre ;
- Et deux caractéristiques ou plus parmi les suivantes :
 - Fibres parallèles regroupées en faisceaux
 - Faisceaux de fibres avec des extrémités effilochées
 - Agglomérats de fibres individuelles enchevêtrées
 - Fibres incurvées.»

5.1.3 Non asbestiforme (et fragments de clivage)

Les variétés minérales non asbestiformes présentées au tableau 1, pour la plupart, ont eu peu de signification commerciale parce qu'elles sont moins solides et moins résistantes. Ces variétés, de même formule chimique que leur correspondant asbestiforme, ne se développent pas de façon unidimensionnelle en longues fibres, mais plutôt de façon bi ou tridimensionnelle, donnant lieu à une morphologie plus massive. Lorsque la pression est appliquée, les minéraux non asbestiformes se fracturent facilement en des particules prismatiques, les **fragments de clivage**, qui résultent de la rupture ou du clivage des particules. Certaines particules sont aciculaires (en forme d'aiguilles) et le clivage en escalier sur les côtés de certaines particules est commun (Srebro, 1994). Les particules dans cette morphologie peuvent toutefois correspondre à la définition de fibre respirable ou fibre OMS (Organisation mondiale de la santé) lorsqu'observées sous un microscope (NIOSH, 2010). La différence se situe donc dans leur processus de cristallisation. En d'autres mots, les fragments de clivage ont la même composition chimique que les fibres

correspondantes d'amiante sans en avoir toutes les caractéristiques de dimension (longueur, diamètre et rapport d'allongement), les propriétés chimiques et physiques ou la performance mécanique des fibres asbestiformes.

De façon générale, les variétés asbestiformes d'amiante sont caractérisées par des fibres longues et fines tandis que les fragments de clivage des variétés non asbestiformes correspondantes sont constitués des fibres courtes dont le diamètre est plus large. Une distinction claire entre les fragments de clivage et les fibres d'amiante serait que la largeur des fragments de clivage est fonction de la longueur, tandis que la largeur des fibres d'amiante est relativement constante, peu importe la longueur (Siegrist, 1980).

Les fragments de clivage peuvent être formés lorsque des minéraux amphiboles non fibreux (non asbestiforme) sont broyés, par exemple lors de l'extraction ou de l'exploitation du minerai. Les fragments de clivage ne sont pas asbestiformes et ne sont pas englobés dans la définition du MSHA (2005). Au sein d'une population de fragments de clivage d'amphiboles non asbestiformes, une fraction de particules peut correspondre à la définition d'une fibre telle qu'adoptée dans différentes réglementations. Les distributions dimensionnelles de fibres d'amiante peuvent être différenciées de celles des fragments de clivage, mais il peut s'avérer difficile, en présence d'une seule particule, de distinguer s'il s'agit d'un fragment de clivage ou d'une fibre d'amiante (ATSDR, 2001; Meeker *et al.*, 2003).

Dans son témoignage à l'OSHA lors de la révision des normes en 1986, la Dre Wylie a indiqué que : « Chaque particule minérale conçue par une rupture régulière s'appelle un **fragment de clivage**. Minéralogiquement, une fibre ou une fibrille est un cristal qui a atteint sa forme par la croissance, contrairement à un fragment de clivage qui a atteint sa forme par une rupture régulière. La forme des fragments de clivage des amphiboles dépend de la procédure de rupture de l'échantillon minéral. Certaines amphiboles, une fois écrasées, produisent des particules ayant un allongement moyen de 5:1 à 6:1, tandis que d'autres amphiboles une fois écrasées peuvent produire des particules dont les allongements s'approchent de 8:1, 10:1, 20:1 ou plus » (OSHA, 1992). »

5.1.4 Trémolite

La trémolite est une espèce minérale appartenant au groupe des amphiboles, un silicate hydraté de magnésium et de calcium ($\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$). La structure moléculaire des amphiboles se compose de deux chaînes des molécules SiO_4 qui sont liées aux atomes d'oxygène. Les chaînes sont collées ensemble par des cations (calcium, magnésium, fer, etc.). Deux groupements hydroxydes sont rattachés au cation central et sont entièrement contenus dans la structure qui est composée d'un empilement de rubans. La structure cristalline de base de tous les amphiboles est identique, mais la composition chimique diffère.

La trémolite peut se retrouver comme contaminant naturel de la forme d'amiante chrysotile, dans certains gisements de talc (État de New-York) et de vermiculite (Mine de Libby, Montana). Distribuée de façon abondante à la surface de la terre, la trémolite présente une composition chimique très variée, liée aux variations des teneurs en magnésium, en fer, en calcium et en sodium (Langer, 1991).

La trémolite peut se présenter sous les deux types de morphologie, asbestiforme et non asbestiforme. La trémolite non asbestiforme est la forme prédominante retrouvée dans la croûte terrestre quoique la trémolite asbestiforme soit présente un peu partout dans le monde (incluant

les états du Maryland et de la Californie) et dans les matériaux naturels (Veblen et Wylie, 1993). L'amiante trémolite a été rarement trouvé dans les dépôts minés commercialement, aux États-Unis. Par contre, jusqu'en 1996, des gisements d'amiantes anthophyllite et trémolite ont été exploités commercialement, pour utilisation dans le ciment, dans la région de Rajasthan en Inde. L'amiante trémolite et d'autres amiantes amphiboles seraient présents dans certains gisements commerciaux de talc et de vermiculite (ATSDR, 2001).

5.1.5 Talc

Le terme « talc » réfère généralement au minéral talc pur, et aux produits minéraux industriels, commercialisés sous le nom de « talc », qui en contiennent comme un des ingrédients principaux, dans une proportion variant de 35% à près de 100% (CIRC, 2010). Les gisements de talc sont constitués de mélanges complexes de particules minérales et peuvent varier substantiellement en composition, en fonction du gisement, et même à l'intérieur de zones géographiques relativement rapprochées (Zazenski, 1995). Les talcs industriels sont très variés dans leur contenu en talc et en d'autres minéraux (CIRC, 2010). Une liste de synonymes ou produits commerciaux englobant le talc est présentée à l'annexe A.

Les particules de talc se présentent surtout sous la forme de plaques. Plus rarement, elles peuvent prendre la forme de fibres longues et fines (talc fibreux), en agglomérat qui peuvent être facilement séparées (talc asbestiforme). Il ne faut pas confondre le talc asbestiforme avec le talc contenant de l'amiante (ACGIH, 2010).

5.1.5.1 Minéralogie

La formule chimique du talc (No. CAS 14807-96-6), aussi appelé pierre à savon, stéatite et poudre de talc, est assez stable et montre très peu de substitution des ions au sein de son réseau minéral : $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$. Le talc est caractérisé par deux structures dimensionnelles en feuillets, séparées par de faibles forces (Van der Waals); il est sécable et très mou, ce qui lui confère son toucher gras caractéristique, avantageux pour certaines applications industrielles. Il est considéré comme un matériau passablement inerte, hydrophobe et très peu soluble dans l'eau.

Le talc est formé à partir de l'altération ou du métamorphisme de roches existantes, par des fluides contenant du silicium et/ou du magnésium. La composition chimique du talc et la présence de minéraux associés dépendront du type de roche originale et de la nature de la transformation. C'est pourquoi il est souvent associé avec d'autres minéraux : calcite, dolomite, magnésite, amphiboles asbestiformes et non asbestiformes - trémolite et anthophyllite, quartz, pyrophyllite, micas, chlorites et serpentines – antigorite et beaucoup plus rarement chrysotile et lizardite. Le talc dérivé de carbonate magnésien peut contenir du quartz et peu ou pas d'amphiboles. Par contre, dans les dépôts provenant de roches riches en dolomites siliceuses ou en magnésium, les amphiboles peuvent être très abondantes (30 à 70%), tel que dans le comté Gouverneur dans l'état de New York (CIRC, 2010).

5.1.5.2 Production et utilisations du talc

Le talc est extrait dans plusieurs pays et transformé dans une multitude d'industries manufacturières pour une utilisation dans divers produits. On le retrouve en dépôts un peu partout dans le monde : en Amérique (le long de la chaîne des Appalaches, en Californie et au Texas), en Europe (Allemagne, Italie; Autriche, Écosse), et en Afrique du Sud (région du Transvaal)

(ATSDR, 2001). Aux États-Unis, en 2008, 8 mines de talc (pierre à savon, stéatite, talc) étaient opérées dans 5 états : Montana, New York, Californie, Texas et Vermont. Les opérations, dans ces mines à ciel ouvert, ont contribué à 99% de la production nationale. Les cinq principaux producteurs états-uniens sont, en ordre décroissant de production : Luzenac North America (membre du groupe Luzenac), American Talc Co., Specialty Minerals Inc. (Barretts, MT), Gouverneur Talc Co. (filiale de R.T. Vanderbilt Co., Inc.) et Protech Minerals Inc. (Virta, 2009a). En début de 2008, Gouverneur Talc Co. a arrêté de façon permanente l'extraction de talc à ses installations de Gouverneur, NY, en opération depuis 1948. La compagnie a fonctionné à partir de stocks, le reste de l'année, pour remplir les commandes de ses clients (Virta, 2009a).

La production mondiale de talc et de pyrophyllite en 2008 a été estimée à 7,51 millions de tonnes tandis que celle de talc aux États-Unis a été de 545,000 tonnes. La Chine a été le premier producteur mondial de talc, suivi par les États-Unis, l'Inde, la Finlande et la France (brut) (Virta, 2009a, 2009b). Plus de 36% de la production de talc des États-Unis a été exportée.

Les utilisations du talc sont : céramique (31%), papier (21%), peintures (19%), toiture (roofing – 8%), plastique (5%), caoutchouc (4%), cosmétiques (2%) et autres (10%) (Virta, 2009b). Différents grades sont disponibles sur le marché et présentent des caractéristiques physiques spécifiques à certaines applications. Par exemple, pour l'utilisation dans les céramiques, la présence de manganèse et de fer n'est pas souhaitable; pour les isolateurs à hautes fréquences, de faibles quantités d'impuretés sont tolérées : < 0,5% d'oxyde de calcium, 1,5% d'oxyde de fer et 4% d'oxyde d'aluminium. Dans le domaine des cosmétiques et de la pharmacie, le talc doit être sans grains, fin, chimiquement pur et de couleur « agréable » (CIRC, 1987 et 2010).

Aux États-Unis, les talcs commerciaux sont classés en grade cosmétique, qui ne contient pas d'amiante, et en grade industriel, qui peut contenir des particules asbestiformes ou non asbestiformes, selon l'usage prévu. Une source importante de talc de qualité industrielle extrait dans l'état de New York est dénommé talc trémolitique, car il contient une quantité significative de trémolite (ATSDR, 2001).

Les produits de talc contenant plus de 95% de minéral talc sont utilisés dans les cosmétiques, la poudre pour bébé, en pharmaceutique, les céramiques, le papier et le caoutchouc. Le talc relativement pur est utilisé dans les cosmétiques (plus de 98% de talc) et en pharmaceutique (plus de 99% de talc). La poudre de talc est de grade cosmétique (Zazenski, 1995; CIRC, 2010). Notons toutefois que la comparaison entre la réglementation ou les usages des différents pays est difficile en raison de l'hétérogénéité des définitions et des classifications de « médicaments » et de « cosmétiques » (Risk & Policy Analysts Limited, 2004).

Le Food Chemical Codex fournit des spécifications pour le talc de grade alimentaire. Un guide sur une base volontaire a été initié en 1976, par les industries des cosmétiques, des produits de toilette, Fragrance Association, la pharmacopée des États-Unis et Food Chemical Codex qui établit des spécifications d'assurance de la qualité sur les talcs pour assurer la pureté de leurs produits (Zazenski, 1995 ; CIRC, 2010).

5.1.5.3 Composition des talcs

Le tableau 2 résume la composition de différents talcs européens et américains tel que rapportée par différents auteurs et dans les revues du CIRC (1987, 2010).

Une étude réalisée sur plusieurs échantillons de talc en vrac britanniques a montré une composition très variable dans le contenu du minéral talc. Les contaminants majeurs du talc identifiés sont le chlorite, les carbonates et le quartz (généralement < 2%, sauf pour un talc : > 5%). Les fibres de trémolite ont été trouvées dans trois échantillons, en phase majeure dans un d'entre eux. Il n'y avait pas d'autres variétés d'amiante. En fait, il n'y a qu'une seule source de talc sur les îles Britannique (Shetland) qui produit une faible partie du marché. La majorité des talcs utilisés en Grande-Bretagne est donc importée sous forme de poudre ou de roche concassée et broyée selon les besoins. Ils provenaient, au moment de l'étude de : la Norvège, de la France, de l'Italie, de la Chine, de l'Inde, de la Belgique, des États-Unis, etc. (Pooley and Rowlands, 1977).

Une enquête sur les poudres de talc cosmétiques provenant des marchés italiens et internationaux, à l'aide de la microscopie électronique, la diffraction des électrons et l'analyse dispersive des rayons X, a montré que l'amiante a été détecté dans 6 des 14 échantillons de talc provenant de la pharmacopée européenne (Paoletti *et al.*, 1984). Le chrysotile seul a été identifié dans 3 échantillons, l'amiante trémolite et l'amiante anthophyllite ont été trouvés dans 2 échantillons et le chrysotile et l'amiante trémolite ont été mis en évidence dans un échantillon. Les auteurs ont noté que, dans toutes les poudres de talc analysées, des particules fibreuses de talc étaient fréquemment présentes, morphologiquement semblables aux fibres d'amiante d'amphibole. En tenant compte des fibres ayant un rapport d'allongement > 3:1 et de diamètre < 3 µm, les pourcentages de fibres d'amiante ont varié de < 0,03 à 0,13% pour 4 échantillons, et étaient de 18 à 22% pour les deux autres échantillons (ATSDR, 2001).

Une étude de Rohl *et al.*, en 1976 (citée dans CIRC, 2010), a examiné 20 poudres pour bébés et talcs pour le visage et un talc pharmaceutique, achetés dans des magasins de détail de New York entre 1971 et 1975. Les concentrations de trémolite, d'anthophyllite, de quartz et autres minéraux ont été estimées par diffraction des rayons X, MOCP et MET. Un échantillon sur les 21 était entièrement composé d'amidon de maïs et un autre contenait de la pyrophyllite et une petite quantité de talc. Le quartz a été retrouvé dans 9 échantillons, la trémolite a été rapportée dans 9 échantillons, l'anthophyllite a été dans 7 échantillons et le chrysotile a été mis en évidence dans deux échantillons.

Une étude de Jehan, rapportée par le CIRC (2010), a été réalisée sur des talcs cosmétiques (poudre de talc de corps et poudre pour bébé). L'analyse de 60 échantillons par différentes techniques a mis en évidence la présence de chrysotile, de trémolite et d'anthophyllite, asbestiformes et non asbestiformes, ainsi que du quartz. Ces talcs ont été utilisés au Pakistan entre 2000 et 2004 (CIRC, 2010).

5.1.5.4 Talc Gouverneur de l'état de New York

Le talc industriel extrait dans l'état de New York, connu également sous le nom de talc Gouverneur ou talc trémolitique, contiendrait des variétés fibreuses de talc, de trémolite et d'anthophyllite (Van Gosen, 2007). Une évaluation d'hygiène du travail par le NIOSH, en 1980, a rapporté que la poussière de talc de New York, provenant de la mine de R.T. Vanderbilt (RTV), contenait de l'amiante (chrysotile, trémolite et anthophyllite) ou des analogues non asbestiforme (NIOSH, 2011). Ces données ont fait l'objet de débats sur la présence d'amphiboles fibreuses

rencontrant la définition de fibres d'amiante mais aussi de « fibres de transition » composées partiellement de talc et d'anthophyllite.

La littérature scientifique indique que ces gisements de talc et leurs produits industriels peuvent contenir de l'amiante (ATS, 1990; NTP 1993). En 1992, l'OSHA a constaté que la discussion autour de la teneur minéralogique du talc de New York était non concluante, mais que la présence du talc asbestiforme dans le minerai a pu avoir mené à l'identification de trémolite et d'anthophyllite asbestiformes. Un rapport de l'OSHA suggère que des fragments de clivage de trémolite et d'anthophyllite non asbestiformes dans le minerai de talc et les produits aient pu avoir été identifiés incorrectement comme de l'amiante. Le minerai de talc de New York serait composé de trémolite non asbestiforme, d'anthophyllite non asbestiforme, de talc massif et asbestiforme, et de faibles quantités d'autres minerais (ATSDR, 2001). Des particules ayant une définition minéralogique différente, autres que les minerais asbestiformes et non asbestiformes, ont été également identifiées. Ce sont les fibres « intermédiaires » ou « de transition », qui se situent entre l'anthophyllite et le talc et qui ont une morphologie plus similaire à l'amiante, avec des rapports d'allongement $> 20 : 1$ et même jusqu'à $100 : 1$ (OSHA, 1992).

Dans le cadre d'une évaluation d'hygiène industrielle menée dans les mines de RTV par le NIOSH, les analyses des échantillons de talc, à l'aide de la diffraction des rayons X et de la microscopie pétrographique, ont montré qu'ils contenaient de 4,5-15% d'anthophyllite (dont certaines particules ont été classées comme de l'amiante). Par contre, un document préparé par Kelse, en 2005, aurait plutôt rapporté de 1-5% d'anthophyllite non asbestiforme (NIOSH, 2011).

Des échantillons d'air prélevés par NIOSH (1980) à la mine et au moulin ont été analysés par microscopie électronique à transmission (MET) : 65% des PMAs $> 5 \mu\text{m}$ étaient de l'anthophyllite et 7%, de la trémolite (une grande partie, de la trémolite de morphologie non fibreuse).

Les minéraux de serpentine et des amphiboles se développent généralement par l'altération d'autres minéraux. Par conséquent, ils peuvent exister sous forme de minéraux partiellement altérés présentant des variations dans les compositions élémentaires, souvent appelés « minéraux de transition ». Ainsi, la composition élémentaire des particules minérales individuelles peut varier dans un gisement minéral contenant des minéraux de transition, ce qui pourrait expliquer les différences signalées dans la composition de talc de la mine de RTV (NIOSH, 2011).

5.1.6 Autres définitions

NIOSH (2011), en annexe de son *Current Intelligence Bulletin 62*, donne des définitions des termes minéralogiques généraux et des minéraux spécifiques provenant de différentes sources.

Tableau 2 : Composition minéralogique de certains talcs européens et américains

Identification et localisation	Composition et morphologie	Méthodes d'analyse	Référence
Talc d'Italie (Val Chisone) Grade 00000	Faibles quantités de fibres de trémolite (quelques échantillons seulement) et de silice mais aussi quartz, muscovite, chlorite, grenat, calcite, magnésite. 92% talc; 3% chlorite; 1% carbonate et < 1% quartz. Pas d'amiante trémolite ni chrysotile. Trémolite.		Rubino (1976) cité dans EPA (1992) et CIRC (1987, 2010) Wagner (1977) Cité dans CIRC (1987) EPA (1992) et CIRC (1987)
Talcs cosmétiques d'Italie et de marchés internationaux	Amiante détecté dans 6/14 talcs de la pharmacopée européenne (<0,3 à 22%): chrysotile (3 échantillons); trémolite et anthophyllite (2 échantillons, jusqu'à 20%); chrysotile et trémolite (1 échantillon). Particules de talc fibreux, de morphologie similaire aux fibres d'amphiboles ont été mises en évidence.	ME, EDAX et SAED Rapport d'allongement : >3 :1 Diamètre < 3 µm	Paoletti (1984) Cité dans ATSDR (2001)
Talc d'Autriche (3 mines, Alpes styriennes)	(1) Mélange de talc-chlorite (0,5 – 4% quartz); (2) Mélange de talc-dolomite (25% de talc et <1% quartz); (3) Mélange en proportions égales de quartz, chlorite et mica.		Wild (2002)
Talc de France (Pyrénées)	Mélange de chlorite de talc avec une contamination de quartz < 3%.		Wild (2002)
Talc Luzenac, 15M00	90% talc, 8% chlorite, 1% dolomite. Pas d'amiante.		CIRC (1987)
Talc de Norvège	Principalement talc et magnésite et traces de quartz, trémolite et anthophyllite.		Wergeland (1990)

Identification et localisation	Composition et morphologie	Méthodes d'analyse	Référence
<p>Talcs de New York:</p> <p>St. Lawrence County (Gouverneur)</p> <p>Nytaal 100</p> <p>Smith-Tremolitic Talc IT-3X, Vanderbilt Co.</p>	<p>Composition diffère significativement selon la localisation. Composante fibreuse majeure : trémolite et anthophyllite.</p> <p>Variétés fibreuses de talc, de trémolite et d'anthophyllite.</p> <p>Talc trémolitique : proportion élevée de trémolite et de talc, talc de transition/anthophyllite, antigorite, lizardite et quartz. Amphiboles non asbestiformes.</p> <p>14-48% talc, 37-59% trémolite (fibreux et non fibreux), 4,5-15% anthophyllite (fibreux et non fibreux); 0,25- 2,6% quartz, <1% calcite et dolomite et 10-15% serpentines (lizardite et antigorite).</p> <p>30–50% trémolite, 20–40% talc, 20–30% serpentine, 2–10%, anthophyllite et 0,14% quartz. Amphiboles et serpentine (fragments de clivage).</p> <p>Toutes les amphiboles seraient des fragments de clivage (non asbestiformes) : 50% trémolite, 10% antigorite, 35% talc (dont 25% fibreux), 2-5% chlorite. Longueur moyenne des particules : 8,5 µm; Diamètres (2000x) : < 1 µm = 20%; 1-2 µm = 36%; 2-4 µm = 32%; 4-6 µm = 8%; 6-8 µm = 2%; 10 µm = 2%; Longueur de trémolite : 1 µm à 40-50 µm; Talc fibreux fin (mélange de talc et amphibole riche en magnésium) avec un allongement élevé. La trémolite est sous forme de fragment de clivage (non asbestiforme).</p>	<p>ME</p> <p>DRX et analyses pétrographiques</p>	<p>Kleinfeld (1973) cité dans CIRC (1987) (Van Gosen, 2007)</p> <p>Gamble (2008) Skinner (1988) CIRC (2010)</p> <p>Dement (1980) cité dans CIRC (1987)</p> <p>CIRC (2010)</p> <p>Plusieurs auteurs cités dans Gamble (2008)</p>
<p>Talc du Vermont</p>	<p>Talc (enroulé et particules allongées) et magnésite (20-100%), chlorite et dolomite (5-20%) et < 5%: dolomite, calcite, quartz (trace), biotite, ankérite, chromite, phlogopite et oligoclase. Aucun amiante.</p>	<p>DRX ME analytique</p>	<p>Boundy (1979) Selevan (1979) Cités dans CIRC (1987, 2010) et EPA (1992)</p>
<p>Talc de Georgie</p>	<p>Talc (70%), dolomite (20-30%), trémolite (10%) et peu ou pas de silice cristalline.</p>		<p>EPA (1992) CIRC (1987, 2010)</p>
<p>Talc du Montana</p>	<p>Talc et peu de chlorite, dolomite, calcite et quartz < 0,8%. Pas de fibre.</p>		<p>Greife (1980) et Gamble (1982) cités par CIRC (1987, 2010), EPA (1992)</p>
<p>Talc du Texas</p>	<p>Trémolite et antigorite fibreux : diamètre : 0,5-3 µm; longueur : 4-30 µm. Peu ou pas d'amphibole.</p>	<p>MET</p>	
<p>Talc de la Caroline du Nord</p>	<p>Fragments de clivage aciculaires : L/D jusqu'à 100:1; certains diamètres < 0,1 µm.</p>		

ME : Microscopie électronique; ME analytique : Microscopie électronique combinant EDAX et/ou SAED; EDAX : Spectrométrie de rayons X en dispersion d'énergie ; SAED : Diffraction électronique en aire sélectionnée (SAED : Selected Area Electron Diffraction); DRX : diffraction des rayons X.

5.2 Caractérisation et analyse

Le talc, étant formé par altération ou métamorphisme des roches, est souvent associé à d'autres minéraux, dont certains sont connus pour leur activité biologique (CIRC, 1987). Une caractérisation des échantillons est donc nécessaire pour distinguer les différentes composantes des matériaux en vrac et des poussières aéroportées. Compte tenu des discussions autour de la toxicité distincte entre les fibres d'amiante et les fragments de clivage, il serait souhaitable de pouvoir différencier ces deux morphologies de façon à consolider les données sur les expositions (NIOSH, 2011).

L'OSHA (1992) définit les fragments de clivage comme des particules minérales formées lors du broyage des minerais, caractérisées par des côtés relativement parallèles et des rapports d'allongement modérés (moins de 20:1). La plupart des fragments de clivage de minerais d'amiante pourraient être facilement distingués des vraies fibres d'amiante (traduction libre). Les « vrais » fragments de clivage auraient majoritairement des diamètres supérieurs à 1 µm. Il n'y a toutefois pas de procédures écrites claires dans les différentes méthodes pour la détermination d'une fibre individuelle.

Une fibre est généralement définie comme une particule ayant un rapport d'allongement d'au moins 3:1 et une longueur minimale de 5 µm. Une telle définition ne permet pas au microscopiste de distinguer les fibres d'amiante des particules amphiboles non asbestiformes, puisque toutes les particules allongées sont prises en compte dans l'analyse. Si les particules asbestiformes et les particules non asbestiformes sont généralement bien définies, les critères de comptage développés dans les méthodes d'analyse ne permettent toutefois pas d'éliminer la phase non asbestiforme. Ceci a pour effet de surestimer la concentration de fibres chez les populations exposées à l'amiante mais aussi de biaiser les études sur la nocivité des fibres d'amiante de la même façon que celle des fragments de clivage (Gamble et Gibbs, 2008). Le défi actuel pour une caractérisation optimale du talc et de la trémolite, est de différencier les amphiboles non asbestiformes des amphiboles asbestiformes.

5.2.1 Échantillonnage et analyse

Les méthodes d'échantillonnage et d'analyse des fibres dans l'air utilisées avant 1970 consistaient principalement à la collecte des poussières à l'aide d'un impinger (milieu liquide) et le comptage des particules par microscopie optique (mpccf : million particles per cubic foot). Par la suite, d'autres techniques se sont ajoutées, pour l'analyse d'échantillons d'air prélevés sur membrane, dont la gravimétrie (mg/m³), la microscopie optique à contraste de phase (MOCP, f/mL), la microscopie électronique à balayage (MEB, f/mL) et la microscopie électronique à transmission avec la diffraction électronique en aire sélectionnée (SAED : Selected Area Electron Diffraction) (MET, f/mL) ou la microscopie électronique à transmission analytique (META : MET couplée à la spectrométrie de rayons X en dispersion d'énergie (EDAX)). Pour les échantillons en vrac, l'analyse semi-quantitative par microscopie optique à lumière polarisée (MLP) et l'analyse quantitative par la technique de diffraction des rayons X (DRX) sont très utilisées, plus particulièrement pour mettre en évidence les différents minéraux cristallins contenus dans le talc (amphiboles, chrysotile, magnésite, quartz, etc.) avec une sensibilité analytique de 1-2%. La DRX ne peut toutefois fournir de l'information sur la morphologie (Pooley et Rowlands, 1977).

L'utilisation complémentaire de ces différentes méthodes dans l'analyse et la caractérisation des matériaux en vrac ou des échantillons d'air permet une approche plus précise pour identifier l'amiante et estimer les concentrations de fibres dans l'air. Plusieurs paramètres peuvent ainsi être observés : la taille, la morphologie, la composition élémentaire, la structure cristalline et la composition de surface (ATSDR, 2001; NIOSH, 2011).

La microscopie optique à contraste de phase (MOCP) est largement utilisée pour la numération des fibres dans l'air des milieux de travail. Cette technique comporte toutefois des limitations en termes de résolution et de spéciation des fibres. La méthode par MOCP ne permet pas l'identification de la nature des fibres et n'est basée que sur des critères dimensionnels, tels que toutes les particules répondant à la définition d'une fibre respirable (OMS, 1998) : longueur (L) > 5 μm , diamètre (d) < 3 μm et rapport d'allongement (L/d) > 3:1. La microscopie électronique analytique (EDAX) et la diffraction des électrons dans une aire sélectionnée (SAED) permettront d'obtenir des informations sur la morphologie, la structure, la chimie sur une particule individuelle de talc ou des minéraux associés (EPA, 1992). Le diamètre minimum mesurable est de 0,2 μm en MOCP et MEB. Toutefois, la MEB permet d'analyser chimiquement les fibres. Par contre, la META permettant de réaliser une analyse chimique des éléments, peut identifier les fibres, mêmes très fines (inférieures à 0,01 μm), sur la base de leurs caractéristiques morphologiques, cristallographiques et chimiques.

Les fibres peuvent être analysées différemment selon la méthode, optique ou électronique, en fonction des règles de comptage: en MOCP, fibres $\geq 5 \mu\text{m}$ et rapport longueur/diamètre > 3:1; en MET, fibres $\geq 0,5 \mu\text{m}$ avec un rapport $L/d \geq 5:1$. Certains laboratoires appliquent des critères identiques à la MOCP en ne prenant en compte que les fibres optiques équivalentes pour l'analyse en MET. La plupart des réglementations, à l'exception des États-Unis, tiennent compte de la définition d'une fibre OMS en ajoutant le critère du diamètre, soit < 3 μm . Pour la détection des fibres d'amiante dans les matériaux en vrac, les particules $\geq 5 \mu\text{m}$ avec un rapport longueur/diamètre $\geq 5:1$ sont alors prises en compte. Notons que les différentes méthodes d'analyse réglementaires pour le comptage des fibres ne font pas la distinction entre la variété asbestiforme et les fragments clivés. Il y a aussi des différences dans la définition de la morphologie asbestiforme en utilisant les méthodes optiques ou électroniques, puisque les caractéristiques de l'amiante varient selon le grossissement (Millette et Bandli, 2005).

5.2.2 Méthodes de référence

5.2.2.1 Méthodes d'échantillonnage

Les fibres d'amiante et autres fibres minérales sont généralement prélevées sur un filtre à membrane logé dans une cassette avec extension, selon des méthodes d'échantillonnage et d'analyse décrites par la plupart des organismes de référence dont : OMS (1998), NIOSH 7400 (1994), IRSST 243 (1995), OSHA ID-160 (1998), MDHS 39/4 (HSE, 1995) et ISO 8672 (1993).

Deux études ont examiné la performance des échantillonneurs thoraciques pour les PMAs (Jones *et al.*, 2005; Maynard, 2002). Les échantillonneurs thoraciques permettent le prélèvement de particules en suspension qui répondent à la définition aérodynamique de taille thoracique (largeur $\leq 3 \mu\text{m}$), soit les PMAs considérées les plus pathogènes. Les résultats des études ont montré que l'efficacité de prélèvement de certains échantillonneurs thoraciques est indépendante de la longueur des PMAs, au moins jusqu'à 60 μm , indiquant que les caractéristiques de prélèvement

pour un aérosol de particules allongées ne devraient pas être différentes de celles d'un aérosol isométrique. Dans l'étude de Jones *et al.* (2005), la capacité relative de l'échantillonneur thoracique à produire des distributions uniformes de particules allongées sur la surface de la membrane a également été testée. Deux échantillonneurs semblaient répondre aux critères de biais de sélection minime par rapport à la longueur des particules allongées et une distribution uniforme sur les filtres. Cependant, aucun de ces échantillonneurs n'a été testé dans des conditions d'utilisation sur le terrain.

NIOSH évalue actuellement ces deux échantillonneurs thoraciques et la cassette avec extension traditionnelle dans l'environnement de trois mines. Les résultats de ces études montrent que chacun des échantillonneurs donne des concentrations de fibres en proportion de leur taux de chargement de fibres (Lee *et al.*, 2008 et 2010). Toutefois, ces échantillonneurs thoraciques ne peuvent pas être recommandés tant que l'impact de ces résultats sur l'analyse du risque ait été évalué (NIOSH, 2011).

5.2.2.2 Méthodes d'analyse

Afin d'appliquer la réglementation en vigueur dans différents pays pour les fibres, la surveillance des milieux professionnels de travail en routine est supportée par des méthodes de référence, en MOCP, dont : XP X43-269 (2002), ISO 8672 (1993), OMS (1998); NIOSH 7400 critères A (1994a); HSE – MDHS 39/4 (1995); IRSST 243 (1995), etc.

Pour mesurer les expositions environnementales aux fibres ou dans des cas particuliers ou pour des besoins de recherche, des méthodes de référence ont été validées en microscopie électronique en transmission analytique (META) et sont reconnues par différentes réglementations: ISO 10312 (1995); ISO 13794 (1999); NFX 43-050 (1996), NIOSH 7402 (1994b), ASTM 6281-04 (2004); ATSM D5755-02 (2002a); ASTM D5756-02 (2002b), ASTM 6480-99 (1999) et EPA (2003). La META est utilisée plus rarement en raison du coût élevé et de la complexité de cette instrumentation. La microscopie électronique à balayage (MEB) est utilisée, surtout en Allemagne, ISO 14966 (2002) et VDI-3492 (2004) (AFSSET 2009).

Pour caractériser les fibres dans les poussières en vrac, les poussières déposées, les matériaux ou les produits, les méthodes par META (comme pour les mesures dans l'air) ou par microscopie optique à lumière polarisée (MLP) peuvent être utilisées. Plusieurs méthodes de références par MLP sont disponibles, dont EPA-600/R-93/116 (1993), IRSST 244 (1999), NIOSH 9002 (1994b), OSHA ID-191 (1992) et MDHS 77 (1994). La MLP permet une identification des fibres à l'aide de différentes propriétés optiques, mais la limite de détection exige une granulométrie assez grossière des fibres. La META permet l'observation des fibres très fines (< 0,01 µm) et l'identification formelle des fibres.

5.2.2.3 Méthodes d'analyse différentielle

Plusieurs études ont été publiées dans le but de proposer des critères de comptage, généralement en MOCP, permettant de faire la distinction entre les amphiboles asbestiformes et les amphiboles non asbestiformes. Toutefois, le manque de données fiables et de méthodes d'analyse validées, qui peuvent faire ces distinctions sur des fibres individuelles, constitue une limitation majeure dans l'application des définitions de fibres d'amiante aéroportées.

Une technique de « comptage différentiel », a été suggérée comme approche pour distinguer les PMA asbestiformes des non asbestiformes, dans une annexe de la norme OSHA. Il y est toutefois précisé que l'application de cette technique différentielle de comptage nécessite « beaucoup d'expérience » et « n'est pas recommandée à moins qu'elle ne soit juridiquement nécessaire ». Dans cette technique, les PMA jugées non asbestiformes par le microscopiste ne sont pas comptées; toutes les PMA dont la morphologie n'est pas claire, doivent être comptées comme des fibres d'amiante. Une source additionnelle de variabilité est ainsi ajoutée par l'effet de cette lecture différentielle. Cette technique n'a pas été formellement validée et n'a pas été recommandée par le NIOSH.

Pour le comptage des fibres d'amiante dans les mines et carrières, l'ASTM a proposé un « comptage discriminatoire » intégrant des critères de comptage différentiel. La méthode utilise la MOCP et la MET de façon séquentielle. Des échantillons d'air sont d'abord analysés par MOCP. Si la concentration initiale de fibres dépasse la limite d'exposition admissible (LEA), la MET est effectuée pour déterminer la concentration équivalente optique pour les fibres d'amiante réglementées seulement. Si la concentration initiale de fibres MOCP se situe entre 0,5 et une fois la LEA, un « comptage discriminatoire » est ensuite réalisé. Le « comptage discriminatoire » est limité aux faisceaux de fibres, aux fibres de longueur $> 10 \mu\text{m}$ et aux fibres de diamètre $< 1 \mu\text{m}$. Si le nombre de fibres « discriminatoires » est de 50% et plus du nombre de fibres MOCP initial, la MET est effectuée pour déterminer un nombre équivalent de fibres d'amiante MOCP réglementées seulement. Ces résultats sont ensuite comparés aux limites réglementaires (ASTM, 2006).

Harper *et al.* (2008) ont également proposé une méthode alternative en faisant une distinction basée sur le diamètre des particules et sur l'hypothèse qu'une bonne proportion des fragments de clivage aurait un diamètre supérieur à $1 \mu\text{m}$. Le diamètre des fragments de clivage aéroportés est plus large que celui des fibres d'amiante, quoiqu'un chevauchement est possible dans le cas des fragments de clivage très fins ou des agglomérats de fibres épais. La différence au niveau des longueurs n'étant pas si grande, le chevauchement entre les morphologies est plus important. Toutefois, une distinction claire entre les fragments de clivage et les fibres d'amiante serait que le diamètre des fragments de clivage est fonction de leur longueur tandis que le diamètre des fibres d'amiante est relativement constant, peu importe leur longueur. Harper a procédé avec la méthode ASTM D7200-06, qui inclut déjà une procédure pour déterminer si les particules observées sous le MOCP correspondent à des fibres asbestiformes ou à des fragments de clivage. La méthode ASTM comporte trois classes de particules :

- Classe 1, potentiellement asbestiforme, peu importe ses dimensions : particules rencontrant la définition d'une fibre selon NIOSH (longueur $> 5 \mu\text{m}$ et allongement $> 3:1$) ainsi que : courbée, bouts évasés ou agglomérats de fibres;
- Classe 2, fibres potentiellement asbestiformes : particules rencontrant la définition d'une fibre selon NIOSH et aussi longueur $> 10 \mu\text{m}$ ou diamètre $< 1 \mu\text{m}$;
- Classe 3, qui correspond à toutes les autres particules rencontrant la définition d'une fibre selon NIOSH, incluant les fragments de clivage possibles.

La population de fibres asbestiformes est la somme des classes 1 et 2. Les résultats démontrent que la méthode pourrait être suggérée, mais seulement après revalidation et formation des analystes (NIOSH, 2011). En utilisant un critère supplémentaire pour la classe 2 (longueur $> 10 \mu\text{m}$ et diamètre $< 1 \mu\text{m}$), le nombre de particules dans cette classe serait grandement réduit. La

littérature rapporte toutefois que jusqu'à 50% des fibres d'amiante aéroportées ont une longueur $< 10 \mu\text{m}$ et qu'environ 30% des fibres d'amiante ont une longueur entre $5 \mu\text{m}$ et $10 \mu\text{m}$. L'adoption du critère supplémentaire pour la classe 2 aurait donc pour effet de classer ces dernières fibres comme des particules non asbestiformes et les exclurait du compte de fibres d'amiante (NIOSH, 2011).

D'autres procédures ont été suggérées pour exclure les fragments de clivage, dont l'étude des informations géologiques disponibles et des résultats d'analyse des échantillons en vrac, afin d'établir la présence d'amiante ou de spécifier les critères de dimension compatibles avec une population de fibres d'amiante (par exemple, un allongement $> 20 :1$).

Lee (2005) a formulé un ajout à la définition d'une fibre d'amiante de MSHA, soit un critère portant sur la présence de côtés parallèles. Ainsi, une fibre amphibole, dont la largeur est généralement de $0,2 - 0,3 \mu\text{m}$, serait définie par : un allongement $> 20:1$, des cotés parallèles, des terminaisons régulières et un contour de diffraction interne.

Chatfield (2008) a également formulé des règles de discrimination pour conclure à une fibre d'amiante :

- fibres $> 5 \mu\text{m}$ et $\leq 10 \mu\text{m}$ avec allongement $> 35:1$;
- fibres $> 10 \mu\text{m}$ et $\leq 20 \mu\text{m}$ avec allongement $> 30:1$;
- fibre $> 20 \mu\text{m}$ avec allongement $> 20:1$.

Un groupe de recherche a proposé une méthodologie de comptage de fibre différentiel par MOCP pour les échantillons d'air. La méthode NIOSH 7400 a été améliorée par l'utilisation d'un réticule Walton & Beckett modifié permettant la mesure des particules $> 5 \mu\text{m}$ dont l'allongement est supérieur à $3:1$ et des particules plus longues que $10 \mu\text{m}$ et de diamètre inférieur ou égal à $0,5 \mu\text{m}$. Si 50% de la population de fibres présente une longueur égale ou supérieure à $10 \mu\text{m}$ ou un diamètre égal ou inférieur à $0,5 \mu\text{m}$, l'exposition est considérée comme asbestiforme. Ce type d'échantillon doit être réanalysé par ME afin d'évaluer la morphologie, la chimie et la structure cristalline. Le pourcentage de fibres optiques équivalentes qui correspond à de l'amiante est donc calculé et comparé aux valeurs de référence. Un schéma décisionnel pour la caractérisation de la structure asbestiforme est présenté dans le rapport (Bailey *et al.*, 2004).

NIOSH (2011) mentionne qu'il est très important qu'une méthode analytique, capable de distinguer clairement entre les PMAs asbestiformes et les non asbestiformes soit développée, validée et utilisée. Toutefois, il n'est pas encore clair si ces nouvelles procédures peuvent assurer adéquatement la protection des travailleurs exposés.

5.2.3 Exposition professionnelle à la poussière de talc

Les expositions à la poussière de talc se produisent lors de l'exploitation minière, du broyage, de la sélection, de l'ensachage, du chargement et lors de l'utilisation du talc, comme dans l'industrie du caoutchouc et lors d'ajout de talcs aux argiles de céramiques et d'émaux. Puisque le talc industriel est un mélange de différents minéraux, l'exposition professionnelle est associée à un mélange de poussières minérales dont le quartz et l'amiante (trémolite/anthophyllite), présents comme contaminants dans certains dépôts de ce minéral. Les dépôts de talc diffèrent dans leur composition minérale tel que montré au tableau 2. L'exposition professionnelle à la poussière de talc a été principalement mesurée dans les mines et les moulins et dans quelques usines de caoutchouc, tel que résumée au tableau 3. L'information recueillie se situe surtout au niveau

qualitatif parce que les données sont fragmentaires et la description des techniques est incomplète dans la grande majorité des cas; les concentrations de talc dans l'air documentées ne doivent pas être utilisées comme évaluation de l'exposition, ni pour estimer le risque.

Pour mettre en perspective les valeurs du tableau 3, notons que la très grande majorité des emplacements dépasse largement les valeurs d'exposition admissibles de l'ACGIH de 3 mg/m³ en poussière respirable, de 0,025 en quartz et de 0,1 fibre/centimètre cube d'air (f/cc) en amiante.

Tableau 3 : Niveaux d'exposition professionnelle au talc

Identification et localisation	Concentration de talc (mppcf ¹ , mg/m ³ ou f/cm ³)	Méthodes d'analyse	Référence
Talcs d'Autriche et de France	<p><u>Employés de bureau</u> : aucune exposition (0,2 mg/m³)</p> <p><u>Employés de maintenance</u>, mécaniciens, etc. : < 5 mg/m³ (0,05-4,61 mg/m³)</p> <p><u>Travailleurs à la production</u> : >30 mg/m³, jusqu'à 159 mg/m³</p> <p><u>Autres travailleurs</u> : 5-30 mg/m³</p> <p>1988-2003 : 1,46 mg/m³</p> <p>Site français :</p> <p><u>Électriciens</u> : 2000-2004 : 3,7 mg/m³ > 1990 : 5,1 mg/m³</p> <p><u>Opérateurs au moulin</u> : 1985-1989 : 2,2 mg/m³ 1968-1982 : estimée à 8 mg/m³ < 1968 : estimée à 20 mg/m³</p> <p><u>Moulin</u> : exposition générale : 1986 : 1,95 mg/m³ 2003 : 0,80 mg/m³</p> <p><u>Nettoyeurs</u> : 1985-1989 : 11,3 mg/m³</p> <p><u>Travailleurs de bureau</u> : 0,16 mg/m³ 2000-2004 :</p> <p><u>Poste de granulation</u>, valeur la plus élevée : 9,7 mg/m³</p> <p><u>Procédé automatique</u> : 0,1 mg/m³, valeur la plus basse.</p> <p><u>À l'extraction</u> : 1990 : 0,67 mg/m³ 2003 : 0,37 mg/m³</p> <p>Expositions les plus élevées, au <u>laboratoire</u> où les échantillons sont broyés : 1990-1994 : 18,8 mg/m³ 2000-2004 : 5,6 mg/m³</p> <p>Site autrichien :</p> <p><u>Moulin</u> : 1988-1995 : 0,75 mg/m³ 1996 : 0,30 mg/m³</p> <p><u>À l'extraction</u> : 1992-1994 : 0,65 mg/m³ 1994-2000 : 0,32 mg/m³</p>	<p>Gravimétrie Échantillonnage personnel, fraction respirable</p> <p>Poussières de talc, fraction respirable - gravimétrie; Échantillonnage personnel; CIP10</p> <p>Port de masque</p>	<p>Wild (2002)</p> <p>Wild (2008)</p>
Talc d'Italie (Piémont)	<p>> 1965 : 0,8 – 3 mppcf (<u>mine</u>) 2 – 8 mppcf (<u>moulin</u>) Fibres >5 µm : 0,01 f/cm³ (<u>mine et moulin</u>)</p>	<p>Silice cristalline : 6 % (mine); < 1% (moulin)</p>	<p>EPA (1992)</p>

Identification et localisation	Concentration de talc (mppcf ¹ , mg/m ³ ou f/cm ³)	Méthodes d'analyse	Référence
Italie Val Chisone, Turin	<u>Mineurs</u> : 0,5-2,5 mg/m ³ (moyenne 1,1 mg/m ³) 0,3-2,0 mg/m ³ (moyenne 1,0 mg/m ³)	Fraction respirable Talc seulement (méthodes analytiques non décrites)	Coggiola (2003) CIRC (2010)
Italie (usine de caoutchouc)	1972 : Poussières totales : 5,4-199 mg/m ³ Fibres : 4,7-19,2 fibres > 5 µm/cm ³	2-3% fibres de silice	EPA (1992)
Talc de Norvège	1980-1982 : 0,94-97,35 mg/m ³ (<u>mine</u>) 1,4-54,1 mg/m ³ (<u>moulin</u>) Fibres : 0,2-0,9 f/ml Fibres de trémolite, anthophyllite et talc (définition d'une fibre) Silice : < 1%	Poussières totales (personnel) MOCP ME DRX	Wergeland (1990)
Talc St.Lawrence County (Gouverneur)	>1945 : 5-19 mppcf (<u>mine</u>) 7-36 mppcf (<u>moulin</u>) 1972 : 2-3 f > 5 µm/cm ³ (<u>mine</u>) 25-62 f > 5 µm/cm ³ (<u>moulin</u>)	Échantillonnage sur membrane Comptage des fibres	Kleinfield (1974) cité par EPA (1992)
État de NY (nord) Même dépôt ?	0,23-1,29 mg/m ³ (<u>mine</u>) 0,25-2,95 mg/m ³ (<u>moulin</u>) Fibres > 5 µm : 4,5 f/cm ³ (<u>mine</u>) 5,0 f/cm ³ (<u>moulin</u>); pic à 29,1 f/cm ³	ME: composition des fibres > 5 µm :	Dement (1980) cité dans EPA (1992)
Talc (trémolitique) industriel Upstate New York	Concentration de talc respirable estimé : 0,1-1,7 mg/m ³	65% anthophyllite et 7 % trémolite	Honda (2002)
Talc Vermont (3 mines et moulins)	Concentration moyenne : 0,5-5,1 mg/m ³ (mine) 0,5-2,9 mg/m ³ (moulin) Souvent > 20 mppcf (talc non fibreux) Jusqu'à 60 f/cm ³	Poussières respirables Compte fibre optique	EPA (1992) CIRC (1987, 2010) Selevan (1979) Boundy (1979) Wegman (1982) Cités dans EPA (1992)
Usines de caoutchouc	15-50 mppcf < 2 fibres > 5 µm/cm ³		Fine (1976) cité dans EPA (1992), CIRC (2010)
Talc de Georgie	<1970 : exposition moyenne : 32-855 mppcf (<u>mine</u>) 17-1672 mppcf (<u>moulin</u>)		EPA (1992)
Talcs : Montana Texas Caroline du Nord	Concentration moyenne (mg/m ³): 0,66 (mine); 1,1 (moulin) 0,45 (mine); 1,56 (moulin) 0,14 (mine); 0,26 (moulin)	Poussières respirables	NIOSH (1979) cité dans EPA (1992) CIRC (2010)
Mines et moulins de talc aux États-Unis	Concentration médiane : 1,20 mg/m ³ 90 % des expositions > 2,78 mg/m ³	362 échantillons, poussières respirables, journée entière	NIOSH (1979) cité dans EPA(1992) et CIRC (1987, 2010)

1 : mppcf = Million particles per cubic foot

6. RÉGLEMENTATION ET RECOMMANDATIONS (AMIANTE ET TALC)

Aux États-Unis, l'OSHA et le MSHA ont l'autorité première pour réglementer les expositions professionnelles à l'amiante. EPA réglemente les expositions à l'amiante de l'état et des travailleurs gouvernementaux dans les états qui ne sont pas couverts par la réglementation de l'OSHA. La Consumer Product Safety Commission (CPSC) réglemente les expositions à l'amiante non professionnelles (par exemple pour les utilisateurs de produits de consommation, tels que les composés à joints). Des agences gouvernementales et des groupes scientifiques ont abordé les questions impliquant des agents cancérogènes, dont l'amiante : National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) et National Toxicology Program (NTP).

Des organisations d'autres pays, Royaume-Uni (Health and Safety Executive), Allemagne (Deutsche Forschungsgemeinschaft), ont également abordé les questions d'exposition à l'amiante et à d'autres cancérogènes.

Le Centre international de recherche sur le Cancer (CIRC) a publié une monographie sur l'amiante et les évidences sur sa cancérogénicité (CIRC, 1987). Le CIRC a récemment publié la monographie no. 93 portant sur le noir de carbone, le dioxyde de titane et le talc (CIRC, 2010).

6.1 Normes et recommandations

Plusieurs organismes fédéraux aux États-Unis (OSHA, MSHA, NIOSH, EPA) et internationaux ont développé des normes ou des recommandations sur les valeurs d'exposition limites ou acceptables pour l'amiante, la trémolite et le talc. Par ailleurs, dans la réglementation de plusieurs de ces organismes dont l'OSHA et le MSHA, ni les amphiboles non asbestiformes, ni les fragments de clivage d'amphiboles non asbestiformes sont réglementés comme étant de l'amiante.

Une fibre ayant une longueur supérieure à 5 μm et dont le rapport longueur/diamètre (l'allongement) est supérieur ou égal à 3:1 correspond à la définition la plus utilisée par les agences de normalisation ou de réglementation. Une limite supérieure sur le diamètre de la fibre à 3 μm a également été retenue pour restreindre la numération aux fibres respirables (WHO, 1987).

Les valeurs limites d'exposition professionnelles (VLEP) pour le talc et l'amiante promulguées dans différents pays sont rapportées au tableau 4. En général, pour le talc, les valeurs se situent de 0,25 – 2 mg/m^3 en poussière respirable et de 2 mg/m^3 en poussière inhalable ou totale. Le Québec différencie le talc non-fibreux à 3 mg/m^3 en poussière respirable et le talc fibreux à 1 f/cm^3 . Pour l'amiante, la valeur prédominante est de 0,1 f/cc . Le Québec a adopté une VEMP (valeur d'exposition moyenne pondérée) de 1 f/cc sauf pour la crocidolite et l'amosite dont l'usage est prohibé et la VEMP pour les matériaux en place est fixée à 0,2 f/cc . Selon Gestis, l'Allemagne, la France, l'Italie et l'Union Européenne n'ont pas de valeur spécifique pour le talc. Des valeurs limites pour les poussières sans effets spécifiques n'ont pas été documentées par notre recherche bibliographique.

Tableau 4 : Valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) – talc et amiante¹

Pays	Talc (mg/m ³)	Amiante (f/cc)
Allemagne (AGS) ²		0,1 ^{(a)(c)} 0,015 ^(b) 0,01 ^(d)
Autriche	2 –aérosol respirable	0,25 VLEP courte durée : 1
Belgique	2 (sans fibre d'amiante)	0,1
Canada – Québec	Non-fibreux : 3 – poussière respirable Talc fibreux ³ : 1 f/cm ³	(actinolite, anthophyllite, chrysotile, trémolite) : VEMP* : 1 VLEP courte durée : 5 (amosite, crocidolite) : VEMP* : 0,2 VLEP courte durée: 1
Danemark	0,3 – aérosol respirable VLEP courte durée : 0,6 – aérosol respirable	0,1 VLEP courte durée: 0,2
Espagne	2 – aérosol respirable	
États-Unis (ACGIH)	2 ⁴	0,1
États-Unis (NIOSH)	2 ⁴	0,1
États-Unis (OSHA)	20 mppcf	
Espagne	2 – aérosol respirable	0,1
France		0,1 ⁵
Hongrie	2 – aérosol respirable	0,1
Italie		0,1
Japon	0,5 (respirable) ⁶ 2 (total) ⁶	2 ⁷
Pays-Bas	0,25 – aérosol respirable	0,01
Royaume-Uni	1 – aérosol respirable	0,1
Suède	2 – aérosol inhalable 1 – aérosol respirable	0,1
Suisse	2 – aérosol respirable	0,01
Union Européenne		0,1

* : VEMP : valeur d'exposition moyenne pondérée

¹ Tiré de GESTIS International limit values 2006. Internationale Grenzwerte für chemische Substanzen : Valeurs limites internationales des substances chimiques. http://bgia-online.hvbg.de/LIMITVALUE/WebForm_gw.aspx

² (a) Bindung Occupational Exposure Limit Value - BOELV (EU) ; (b) Reference value - individual measures are related to this LV ; (c) workplace exposure concentration corresponding to the proposed tolerable cancer risk (see background document: Germany AGS) (d) workplace exposure concentration corresponding to the proposed preliminary acceptable cancer risk (see background document: Germany AGS)

³ Notation du RSST (réglementation sur la santé et sécurité du travail, au Québec) : C1 (effet cancérigène démontré chez l'humain)

⁴ Containing no asbestos

⁵ Sur une heure

⁶ CIRC section 1.4 (CIRC, 2010)

⁷ Except amosite and crocidolite

6.2 Historique de la réglementation aux États-Unis

En 1986, l'OSHA a révisé la norme pour l'exposition professionnelle à toutes les formes d'amiante (asbestiformes et non asbestiformes), à 0,2 f/ml (8 heures) (OSHA, 1986)⁸. Historiquement, l'exposition aux minerais considérés comme amiante par l'OSHA est déterminée par le nombre de fibres, ayant une longueur supérieure à 5 µm et dont le rapport longueur/diamètre (allongement) est supérieur ou égal à 3:1, en utilisant la microscopie optique à contraste de phase (MOCP). L'utilisation de cet allongement est courant (soutenu par ACGIH et NIOSH) mais, il n'est pas un critère minéralogique universellement admis. Les minéralogistes considèrent les fibres minérales en tant qu'unités cristallines qui atteignent leurs formes par croissance contrairement aux fragments de clivage qui atteignent leur forme par rupture. Ainsi, Campbell *et al.* (1979) ont proposé de nouveaux critères pour définir les minerais asbestiformes, en n'incluant que les particules ayant une longueur supérieure à 5 µm, de diamètre inférieur à 3 µm, avec un rapport d'allongement supérieur à 20:1, ainsi qu'au moins deux des caractéristiques suivantes: fibres parallèles en faisceaux; faisceaux de fibres avec extrémités effilochées; fibres en forme d'aiguilles fines; agglomérats de fibres individuelles et fibres incurvées.

Suite aux inquiétudes vis-à-vis de la distinction minéralogique entre les fibres et les fragments de clivage qui pourrait avoir des implications biologiques, une assemblée scientifique sur la santé environnementale et santé au travail, organisée par l'ATS (American Thoracic Society), a nommé en 1988 un comité pour évaluer et critiquer la connaissance scientifique sur les risques sanitaires des expositions à la trémolite. Sur le plan minéralogique, la question fondamentale était de savoir si deux particules fibreuses de taille et de forme identiques auront différentes propriétés biologiques sachant que la première catégorie de fibre a acquis sa forme en se brisant (fragments de clivage) par opposition à la deuxième catégorie de fibre qui a atteint sa forme par croissance géologique (fibres asbestiformes).

Par la suite, de nombreuses confusions concernant les résultats des études toxicologiques ont incité l'OSHA à réviser encore une fois ses normes, en 1992, et à retirer sa réglementation sur les mesures de protection et de prévention de l'exposition concernant l'amiante non asbestiforme en raison du manque d'évidence d'effets sur la santé. Dans son évaluation, l'OSHA a constaté une évidence insuffisante que les ATA (anthophyllite, trémolite, actinolite) non asbestiformes représentent un risque semblable à leurs homologues asbestiformes, principalement en utilisant l'extrapolation des données concernant l'amiante. L'évidence d'une confirmation fiable manquait; les études expérimentales animales montraient l'absence ou le peu d'effet produit par les ATA non asbestiformes, les études épidémiologiques concernant les ATA non asbestiformes sont peu concluantes, et les hypothèses de la cancérogénicité semblaient proposer seulement des explications imprécises. Ainsi, l'évaluation de l'OSHA ne contenait pas une évidence substantielle pour maintenir la décision que les ATA non asbestiformes présentent un risque sanitaire semblable à l'amiante.

Depuis ce temps, quelques études ont révisé l'état des connaissances sur la trémolite, entre autres NIOSH (2011), EPA (2002) et ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2001). Notons que cette dernière étude fait plutôt une revue narrative des données, sans

⁸ http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=PREAMBLES&p_id=790

méthodologie précise ou règles pré-établies, d'où la difficulté d'évaluer le poids des évidences. Ces organismes invitent à la prudence, compte tenu du manque d'évidences sur les risques pour la santé.

7. ÉTUDES ÉPIDÉMIOLOGIQUES

7.1 Revues

Depuis 1990, trois grandes revues ont présenté les résultats des études épidémiologiques sur les effets sur la santé du talc trémolitique, chacune avec un but légèrement différent⁹. Ce sont :

- l'American Thoracic Society (ATS), en 1990, dont le but était d'évaluer le risque pour la santé de la trémolite présente dans différents minerais dont le talc ;
- le Centre international de Recherche sur le cancer (CIRC) qui a réuni un groupe d'experts, en 2006, pour réviser l'évaluation de la cancérogénicité du talc ne contenant pas d'amiante ou de fibre asbestiforme. Un résumé des résultats a été publié par Baan (2007)¹⁰ et la version finale est parue en 2010, dans la monographie No. 93 du CIRC (CIRC, 2010) ;
- Wild, en 2006, pour mettre à jour les évidences épidémiologiques sur la cancérogénicité du talc qui ne contient pas de fibres asbestiformes.

7.2 Articles scientifiques

Quelques articles scientifiques n'ont pas été cités par les auteurs des trois grandes revues soit parce qu'ils ont été publiés à une date postérieure, soit parce qu'ils ne rencontraient pas les critères de sélection de la revue en question ou pour toute autre raison indéterminée. Ce sont :

- Gibbs *et al.* (1992), la pneumoconiose du talc;
- Gamble (1993), le cancer du poumon de la cohorte de New York;
- Hull *et al.* (2002), mésothéliomes dans la cohorte de New York;
- Roggli *et al.* (2002), analyses minéralogiques de la rétention pulmonaire en fibres de 312 mésothéliomes;
- Honda *et al.* (2002), suivi de l'enquête de mortalité sur la cohorte de New York;
- Ramanakumar *et al.* (2008), étude cas/témoins sur le cancer du poumon;

Wild *et al.* (2008), les effets du talc sur la santé respiratoire.

⁹ La revue en épidémiologie comparative de Gamble et Gibbs est traitée à la section B3.4.

¹⁰ Le CIRC a réuni, en mars 2009, un groupe d'experts qui a revu, entre autres, la cancérogénicité du talc. Les résultats de cette réunion seront publiés dans la monographie #100 et contiendra la mention suivante, sous le vocable « amiante » : les substances minérales (e.g. talc ou vermiculite) qui contiennent de l'amiante doivent être considérées comme cancérogène chez l'homme (traduction libre).

(<http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/ClassificationsGroupOrder.pdf>, consulté le 25/07/2010).

7.3 Autres publications

D'autres organismes ou auteurs ont présenté des publications qui ne se prêtent pas, à cause de leur format ou de leur méthodologie, à l'analyse du niveau de la preuve. Le but de chacune de ces revues donne une bonne indication de la variabilité des approches :

- OSHA (Occupational Safety and Health Administration) (1992), l'évaluation des effets sur la santé des travailleurs de la trémolite, de l'anthophyllite et de l'actinolite non asbestiformes;
- G.D. Guthrie Jr. (1992), la diffusion des connaissances sur les effets biologiques connus des minéraux inhalés par les travailleurs, aux scientifiques du secteurs des minéraux;
- E.B. Ilgren (2004), la démonstration que la toxicité des fragments de clivage respirables serait tellement plus faible que celle des fibres amphiboles, que les fragments de clivage seraient, à toute fin raisonnable, biologiquement inoffensifs;
- Gamble et Gibbs (2008), la comparaison des risques de cancer du poumon et du mésothéliome pour les travailleurs exposés à des fragments de clivage respirables d'amphiboles avec les travailleurs exposés à des amphiboles analogues qui forment des fibres d'amiante; et dont un des objectifs secondaires, est de comparer les travailleurs exposés à des poussières de minerai contenant des fragments de clivage d'amphibole à des travailleurs exposés à des poussières de minerai similaire qui ne contient pas d'amiante ou de fragments de clivage d'amphibole;
- B. Price (2010), le but de cet article de revue (Industrial-grade talc exposure and the risk of mesothelioma) n'est pas spécifié par l'auteur. Il s'agit probablement de prouver que la poussière de talc ne cause pas de mésothéliome.

7.4 Articles non retenus pour la section épidémiologie

L'article de Srebro *et al.* (1994) intitulé « Asbestos-Related Disease Associated With Exposure to Asbestiform Tremolite » n'a pas été retenu parce que sur les sept cas de mésothéliome examinés par analyse minéralogique, un seul aurait été exposé à du chrysotile et du talc.

L'article de Dodson *et al.* (1995) intitulé « Quantitative Comparison of Asbestos and Talc Bodies in an Individual With Mixed Exposure » a été rejeté parce qu'il s'agit d'une histoire de cas.

L'article de Scancarello *et al.* (1996), « Respiratory Disease as a Result of Talc Inhalation », n'a pas été considéré car il décrit l'histoire de trois cas de travailleurs exposés à la poussière de talc dans des fonderies. Il illustre cependant, l'utilité de la caractérisation de la charge pulmonaire pour supporter le diagnostic et pour proposer des liens de causalité.

7.5 Résumé des résultats des études épidémiologiques

Le tableau 5 résume les résultats de l'analyse des revues et articles scientifiques sur l'exposition à la poussière de talc par inhalation. La démarche de l'analyse des revues et articles scientifiques ainsi que le résumé d'autres publications de nature diverse sont détaillés à l'annexe B.

La plupart des organismes et épidémiologistes qui se sont intéressés à la question de la cancérogénicité du talc, comme le CIRC (2010) et Wild (2006), ont distingué l'exposition au talc sans amphibole de l'exposition au talc avec amphiboles ou autres particules minérales allongées (PMAs), assimilables aux fibres d'amphiboles, contrairement à l'ATS (1990). Toutes ces revues arrivent à une évaluation d'absence de confirmation de la cancérogénicité pulmonaire du talc sans amiante ou autres fibres asbestiformes. De plus, l'ATS et Wild soulignent la paucité (petit nombre) des données sur l'exposition.

Les articles scientifiques qui ont été publiés sans être cités par les revues de l'ATS, de Baan et de Wild supportent la confirmation d'absence de cancérogénicité du talc sans amiante ou fibres asbestiformes mais alimentent les discussions sur la présence ou l'absence de cas de mésothéliomes. Deux de ces articles (Gibbs, 1992 ; Honda, 2002) ainsi que la publication de Gamble et Gibbs (2008) supportent cependant la causalité du talc dans les cas de pneumoconioses.

Les « autres » publications, en utilisant les mêmes références, arrivent à des conclusions similaires à celles de Gamble et Gibbs (2008), à l'effet que le talc « pur » ne cause pas d'augmentation de cancer du poumon ou de mésothéliome. Par contre, le NIOSH dans son Roadmap (NIOSH, 2011) conclut, en se basant sur les études américaines, que cette observation sur le cancer pulmonaire est non concluante, par opposition à une évidence négative.

Tableau 5 : Sommaire des études épidémiologiques reliées à l'exposition au talc

Organisme	Risque significatif				Niveau de preuve				Remarques
	A	P	M*	C	Ab	F	I	É	
Revue									
ATS (1990)				non			x		L'ensemble des études ne supporte pas la cancérogénicité de la trémolite, asbestiforme ou non, dans le talc, mais il y a très peu de données sur la teneur en trémolite du talc.
Baan (2007) et CIRC (2010)			0	non			x ¹¹		Évidence inadéquate pour la cancérogénicité du talc inhalé qui ne contient ni amiante, ni fibres asbestiformes (Groupe 3).
Wild (2006) Moulins				non			x		Pas d'études de mortalité qui indiquent une augmentation du risque de cancer. Peu d'études avec des informations adéquates sur l'exposition.
Mines et industries utilisatrices				Possible		x			Talc + autres cancérogènes.
Articles scientifiques									
Gibbs (1992)		oui				x			Causalité partagée entre une variété de minéraux. Supporte l'existence de la talcose chez les travailleurs du talc presque sans trémolite.
Gamble (1993)				non		x			Augmentation du risque avec le nombre d'années en poste; pente négative après ajustement pour le tabagisme. Pas de relation dose/effet. Résultats plus congruents avec une étiologie au tabac qu'au talc.
Hull (2002)			5			x			Rapport de cas (5) sans évaluation de risque sauf une tendance d'augmentation du nombre de mortalités par mésothéliome dans le(s) comté(s) entre 1950 et 1997. Aucune mention de l'histoire professionnelle.
Rogli (2002)			Oui **			x			Semble indiquer que la trémolite provenant du chrysotile et du talc pourrait être l'agent causal et que la trémolite n'est pas éliminée lors du broyage.
Honda (2002)				non		x			Conclut à une relation avec l'exposition au talc pour les NMRD mais pas pour l'excès de cancer même s'il était significatif.
		oui					x		
Ramanakumar (2008)				non			x		Faible nombre de travailleurs exposés à de fortes concentrations. Plus d'utilisateurs que de producteurs de talc.
Wild (2008)	non						x		Petites opacités radiologiques et fonctions respiratoires significativement reliées à l'exposition cumulative à l'inclusion, mais pas à l'exposition, durant la période de l'étude.

A : anomalies broncho-pulmonaires de différentes natures, P : pneumoconiose, M : mésothéliome, C : cancer du poumon, Ab : absente, F : faible, I : intermédiaire, É : élevée, * : indique le nombre de mésothéliome observé;

** : il s'agit d'une étude minéralogique de 312 cas de mésothéliomes dont 193 montraient une présence de talc

¹¹ Le groupe d'experts a classé le talc, dans la classe 2B : possiblement cancérogène chez l'homme par voie périnéale.

8. DISCUSSION ET CONCLUSION

8.1 Définitions et métrologie (caractérisation et réglementation)

Les experts, les analystes, les chercheurs et les scientifiques gouvernementaux n'ont pas obtenu un consensus sur la définition ou la différenciation des amphiboles asbestiformes et non asbestiformes ou fragments de clivage. Si la distinction entre fragments de clivage et fibres asbestiformes est claire théoriquement, elle est plutôt obscure du point de vue analytique. C'est l'analyste qui choisit la méthode la plus adéquate en fonction des demandes et des objectifs de l'analyse. Rappelons que c'est l'OSHA même, dans sa méthode ID-160, qui spécifie que « when in doubt, count » (OSHA, 1997).

En fonction de la méthode d'analyse choisie, il y a des différences dans la définition d'un matériau fibreux, la définition d'une fibre d'amiante et les règles de comptage. Malgré que plusieurs publications sur des méthodes différentielles d'analyse discutent des critères permettant de différencier les fibres d'amiante amphibole (asbestiformes) des fragments de clivage (amphiboles non asbestiformes) (voir section 5.4.2), la plupart de ces discussions ne sont pas incorporées dans les méthodes d'analyses officielles. Du point de vue analytique, les méthodes ne décrivent pas clairement comment prendre des décisions sur ce qu'il faut compter et ne pas compter, et sur ce qui constitue un fragment de clivage.

Des développements ont été réalisés sur les méthodologies de comptage différentiel par MOCP pour les échantillons d'air. En appliquant certains critères de comptage différentiel, l'exposition peut être considérée positive à des particules asbestiformes. Il faut toutefois confirmer les résultats à l'aide de la microscopie électronique afin de bien évaluer l'exposition en fonction de la morphologie, la chimie et la structure cristalline (Bailey *et al.*, 2004). L'utilisation de telles méthodes complémentaires permettrait ainsi de confirmer la présence de fibres d'amiante et, plus spécifiquement avec les talcs trémolitiques, de déterminer la concentration de fibres, de fibres de trémolite asbestiforme, de fragments de clivage et de fibres de talc, s'il y avait consensus sur les critères à utiliser.

La plupart des études décrivant des effets sur la santé reliés à l'exposition au talc contiennent peu d'information sur la caractérisation du talc impliqué. Même si les méthodes d'analyse permettraient hors de tout doute de caractériser la présence d'amphiboles et de quantifier la partie asbestiforme et la partie non asbestiforme, il reste qu'il est peu probable que les études de toxicologie puissent être réalisées sur des produits complètement purs, car les talcs sont généralement un mélange de différents minéraux en concentration variable.

Des besoins de recherche pour améliorer les méthodes d'échantillonnage et d'analyse actuelles sont nécessaires afin de : 1) réduire les variabilités inter-analystes et inter-laboratoires; 2) développer une méthode pratique permettant le comptage, la mesure et l'identification des PMAs biologiquement actives; 3) développer et valider des méthodes d'échantillonnage sélectif pour recueillir et quantifier des fibres et autres PMAs de granulométrie thoracique. Ces développements devraient avoir comme retombées : l'identification des paramètres physico-chimiques (compositions chimiques, dimensions – longueur, diamètre, allongement – durabilité) comme prédicteur de la biopersistence, ainsi que les caractéristiques de surface ou d'activités de stress oxydatif dans la détermination de la toxicité.

Les résultats attendus des recherches pourraient aider à définir les méthodes d'analyse et d'échantillonnage qui mesureront plus adéquatement les caractéristiques pertinentes de toxicité. Les résultats devraient aussi contribuer au développement de recommandations pour la protection des travailleurs (NIOSH, 2011).

8.2 Études épidémiologiques

Le tableau 5 résume les résultats des revues et articles scientifiques portant sur l'exposition à la poussière de talc par inhalation. L'ensemble indique que la grande majorité des études, depuis 1990, se sont attaquées à la problématique de la cancérogénicité du talc « pur » et du talc contenant de l'amiante. Il reste apparent que l'exposition à la poussière de talc est associée à des maladies respiratoires telles que les NMRD, surtout des pneumoconioses, et au cancer du poumon, en présence d'autres agents cancérogènes. La possibilité de mésothéliomes demeure un sujet controversé.

8.2.1 NMRD

Depuis 1990, deux articles regroupent les données sur le consensus déjà établi à l'effet que la poussière du minerai de talc peut causer des NMRD tels que la silicose, la talcose et des pneumoconioses mixtes, mais que la part de causalité entre le talc, le quartz et les autres agents silicotiques, n'est pas toujours discernable. Ce sont Honda (2002) pour la cohorte de New York et Gamble et Gibbs (2008) qui rapportent des risques significatifs pour les cohortes de New York, du Vermont et d'Italie mais non-significatifs pour la France¹², l'Autriche et la Norvège. Selon Gamble et Gibbs, le faible nombre de cas de NMRD en Norvège est surprenant étant donné les expositions relativement fortes.

8.2.2 Cancer du poumon

Les travailleurs des moulins ne présentent pas d'augmentation de risque significatif de cancer du poumon mais les mineurs pourraient montrer des tendances ou des augmentations significatives de risque en présence d'autres cancérogènes comme le radon, le quartz ou l'amiante. Dans les industries utilisatrices, la situation devient plus confuse à cause de la présence de divers autres agents cancérogènes et les carences des données sur l'exposition. La plupart des organismes et épidémiologistes qui se sont intéressés à la question de la cancérogénicité du talc, comme le CIRC (tableaux 5 et B2) et Wild (tableaux 5 et A3), ont distingué l'exposition à du talc sans amphibole et l'exposition à du talc avec amphibole ou autres composantes assimilables aux amphiboles. Toutes les études ont des limitations importantes dont le faible nombre de cohortes ou de cas. Il n'y a pas de preuve globale à partir des études épidémiologiques chez l'homme permettant d'évoquer une relation causale entre le talc libre de fibres asbestiformes et le cancer pulmonaire (Wild, 2006). De la même façon, Gamble et Gibbs (2008) concluent que : « ...le talc « pur » ne cause pas d'augmentation de cancer du poumon ou de mésothéliome ». Enfin, le

¹² : Notons qu'en France, le risque est non significatif pour les NMRD mais est significatif pour les pneumoconioses (SMR 3/0,5 = 5,56 (1,12-16,2)).

NIOSH, dans son Roadmap (NIOSH, 2011), conclut, en se basant sur les études américaines, que cette observation sur le cancer pulmonaire est non concluante, par opposition à une évidence négative. L'utilisation de la concentration en poussière ou en poussière respirable, comme métriques d'exposition, pourrait être un mauvais prédicteur de la concentration en fibres ou en particules minérales allongées. Il s'ensuit une possibilité de mauvaises classifications des cas qui compliquent l'établissement d'une relation dose/réponse.

8.2.3 Mésothéliomes

Les mésothéliomes présentent toujours les mêmes difficultés de diagnostic et de reconnaissance de la causalité. Comme dans les autres dossiers d'exposition à l'amiante, le nombre de cas varie de façon importante selon qu'ils sont identifiés par les auteurs à partir de registres des cancers ou de registres professionnels d'indemnisation. Dans la plupart des cas de mésothéliomes qui ont été évoqués chez les travailleurs du talc, le diagnostic a été questionné à cause de la confusion sur les codes de classification, la présence d'agents confondants, l'exposition dans des emplois préalables et la durée de latence trop courte. Le faible taux d'incidence des mésothéliomes, l'existence d'un certain pourcentage ($\approx 20\%$) des cas qui ne sont pas explicables par une exposition à l'amiante et le faible nombre de travailleurs dans la plupart des cohortes justifient un questionnement sur la puissance suffisante des études pour se prononcer sur la question des mésothéliomes causés par la poussière du minerai de talc. Dans l'état actuel des connaissances, il n'y a pas de preuve qui permettent de relier mésothéliome et exposition au talc sans fibres asbestiformes.

8.2.4 Limites des interprétations des études épidémiologique

En 1990, l'ATS a dû ignorer la distinction entre les fibres et les fragments de clivage, faute de consensus entre les experts sur leur identification et leur caractérisation (ATS, 1990). Wild, dans sa revue sur la cancérogénicité du talc sans amiante, déplore dans sa conclusion la rareté des études avec des informations adéquates sur l'exposition (Wild, 2006). En 2008, Gamble et Gibbs terminent leur article sur la cancérogénicité des fragments de clivage en admettant que les résultats des mines de talc de New York et du Vermont sont inexplicables dans l'état de nos connaissances actuelles sur la toxicité de ces particules et l'exposition des travailleurs. Devant ce constat, le document de planification de NIOSH (NIOSH, 2011) pour les prochaines années recommande les objectifs suivants :

- développer une compréhension plus large et plus claire des principaux déterminants de la toxicité des particules minérales allongées (PMAs ou EMPs, pour *elongate mineral particles*) ;
- développer les informations sur l'exposition des travailleurs aux diverses PMA et aux risques pour la santé associés à cette exposition ;
- améliorer les méthodes d'échantillonnage et d'analyse des fibres d'amiantes et des autres PMAs.

Les études épidémiologiques ont vérifié la relation dose/effet en se basant sur le temps en emploi, les concentrations moyennes de poussières respirables, quelques résultats de concentrations de fibres par microscopie optique à contraste de phase ou, récemment par microscopie électronique, ou d'évaluations par des groupes d'experts. Aucune étude n'avait à sa disposition des résultats de

concentrations de fragments de clivage bien caractérisés et bien échantillonnés en zone respiratoire des travailleurs. De plus, en se basant sur nos connaissances sur l'amiante et la silice, il se peut fort bien que les deux métriques de masse et de nombres de particules par volume d'air soient souhaitables pour étudier les fragments de clivage.

Malheureusement, dans l'état actuel des connaissances que nous fournissent les études épidémiologiques, il est difficile de répondre de façon définitive, preuve à l'appui, à la question sur le risque pour la santé de ces particules (fragments de clivage ou particules minérales allongées).

Quant à leur fibrogénicité, nous n'avons pas trouvé, depuis 1990, d'information épidémiologique sur le pouvoir fibrosant des fragments de clivage. À cause de la présence concomitante de quartz, un agent fibrosant puissant qui se retrouve dans presque tous les emplacements d'extraction du talc, des fibres d'amiante et des autres particules minérales qui, elles aussi, peuvent avoir une certaine activité, il est extrêmement difficile, sinon impossible, de dissocier la part de causalité des différents agents fibrosants.

Quant à la cancérogénicité des fragments de clivage, leur comparaison avec les fibres amphiboles de même composition semble indiquer que leur pouvoir cancérogène est moins élevé que celui des amiantes. Certaines publications vont même jusqu'à dire que ces particules ne sont tout simplement pas cancérogènes. Toutefois, ces démarches d'épidémiologie comparative sont difficiles à évaluer à cause de l'accumulation d'hypothèses qui permettent la comparaison des données mais qui peuvent nous mener sur de fausses pistes si elles ne sont pas confirmées.

De plus, notons que le talc trémolitique n'est qu'une partie de la problématique de l'établissement de la toxicité des fibres minérales allongées ou des fragments de clivage. La vermiculite a posé des problèmes de santé beaucoup plus graves et évidents que le talc et la wollastonite. Le talc lui-même peut être contaminé par d'autres amphiboles que la trémolite, notamment l'anthophyllite et l'actinolite. Pour certaines fibres minérales telles que l'attapulgite (palygorskite) (classification du CIRC : 2B pour les fibres > 5 µm), les connaissances scientifiques sur les risques pour la santé sont extrêmement limitées. De plus, la question du risque pour la santé des particules minérales allongées suscite des préoccupations à propos des différentes exploitations minières telles que la grunérite qui peut se retrouver dans certaines mines d'or et la taconite pour l'extraction du fer.

Compte tenu des incertitudes sur les expositions et les effets sur la santé, des recherches sont donc nécessaires tant au niveau de la toxicologie et de l'épidémiologie que sur les mesures d'expositions, d'échantillonnage et des méthodes analytiques.

9. RECOMMANDATIONS

Puisqu'il est impossible de conclure sur les effets biologiques en se basant sur la distinction entre les fragments de clivage et les fibres d'amiante, le principe de précaution incite à prendre les mêmes mesures de prévention avec les fibres non asbestiformes (fragments de clivage) qu'avec les fibres asbestiformes de mêmes tailles.

Lors de révisions sur la classification de la cancérogénicité du talc, il faudrait considérer ce minéral comme étant un cancérogène chez l'humain lorsqu'il contient de l'amiante.

Pour étayer la contribution des particules minérales allongées (PMAs) aux pneumoconioses et au cancer du système respiratoire, il est recommandé d'élaborer une stratégie de caractérisation et de dosage des PMAs qui viendrait compléter le portrait environnemental de l'exposition des travailleurs dans les mines et les moulins ainsi que pour les utilisateurs éventuels.

Puisque la vermiculite, un minéral largement utilisé comme isolant et dans les produits de jardinage, peut être contaminée par de l'amiante trémolite, d'autres amphiboles ou PMAs, la même démarche de recherche bibliographique qui a été utilisée pour le talc devrait être effectuée.

Puisqu'il est peu probable que les études de toxicologie puissent être réalisées sur des produits complètement purs, car les talcs sont généralement un mélange de différents minéraux en concentration variable, des recherches futures pourraient aider à définir les méthodes d'analyse et d'échantillonnage qui mesureront plus adéquatement les caractéristiques pertinentes de toxicité afin de supporter l'établissement de relation dose/réponse dans les études épidémiologiques. De plus, les études minéralogiques des tissus pulmonaires (biométrie) pourraient permettre l'identification de surcharges anormales et la caractérisation des fibres et des PMAs. Les résultats de ces recherches devraient aussi contribuer au développement de recommandations pour la protection des travailleurs.

10. BIBLIOGRAPHIE

American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH). Documentation of the Threshold Limite Values and Biological Exposure Indices. Talc. (2010).

AFSSET. Les fibres courtes et les fibres fines d'amianté. Prise en compte du critère dimensionnel pour la caractérisation des risques sanitaires liés à l'inhalation d'amianté. (2009). http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/880943923695047004708603758030/fibres_courtes_a_miante_avis_rapport_Afsset_2009.pdf

American Society for Testing and Materials, ASTM Work Item WK3160 New Standard Test Method for Sampling and Counting Airborne Fibers, Including Asbestos Fibers, in Mines and Quarries, by Phase Contrast Microscopy, ASTM International, PA (2006).

American Society for Testing and Materials, ASTM D7200-06. Standard Practice for Sampling and Counting Airborne Fibers, Including Asbestos Fibers, in Mines and Quarries, by Phase Contrast Microscopy and Transmission Electron Microscopy (2006).

American Society for Testing and Materials, ASTM 6281-04, Standard Test Method for Airborne Asbestos Concentration In Ambient and Indoor Atmospheres as Determined by Transmission Electron Microscopy Direct Transfer (2004).

American Society for Testing and Materials, ASTM D5755-02, Standard Test Method for Microvacuum Sampling and Indirect Analysis of Dust by Transmission Electron Microscopy for Asbestos Structure Number Surface Loading (2002a).

American Society for Testing and Materials, ASTM D5756-02, Standard Test Method for Microvacuum Sampling and Indirect Analysis of Dust by Transmission Electron Microscopy for Asbestos Mass Surface Loading (2002b).

American Society for Testing and Materials, ASTM 6480-99, Standard Test Method for Wipe Sampling of surfaces, Indirect Preparation, and Analysis for Asbestos Structure Number Concentration by Transmission Electron Microscopy (1999).

American Thoracic Society, Health Effect of Tremolite. American Review of Respiratory Disease. 142(6): 1453-1458 (1990).

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). Tremolite Asbestos Health Consultation. Chemical-Specific Health Consultation : Tremolite Asbestos and Other Related Types of Asbestos. (2001). http://www.atsdr.cdc.gov/asbestos/more_about_asbestos/health_consultation

Baan R.A. Carcinogenic hazards from inhaled carbon black, titanium dioxide, and talc not containing asbestos or asbestiform fibers: recent evaluations by an IARC Monographs Working Group. Inhal Toxicol. 19 Suppl 1:213-28 (2007).

Baan R.A. Carcinogenicity of Carbon Black, Titanium Dioxide and Non-Asbestiform Talc. Summaries and Evaluations. The Lancet Oncology. 7(6): 295-296 (2006)

Bailey K.F., Wylie A.G. , Kelse J. and Lee R.J. The Asbestiform and Prismatic Mineral Growth Habit and Their Relationship to Cancer Studies. A Pictorial Presentation, March 2004.

<http://www.cdc.gov/niosh/docket/archive/pdfs/NIOSH-099A/0099A-030104-Pictorialpresentation.pdf>

Campbell W.J., Steel E.B., Virta R.L. and Eisner M.H. Characterization of cleavage fragments and asbestiform amphibole particulates. In: R. Lemen, J.M. . (Eds.), *dusts and Disease*. Pathotox Publishers, Park Forest South, Illinois, pp. 276-285 (1979).

Chatfield E. A procedure for quantitative description of fibrosity in amphiboles minerals. Communication. Johnson Conference. (2008).

CIRC (Centre international de recherche sur le cancer). IARC Monographs on the Evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans. Carbon Black, Titanium Dioxide, and Talc. Vol. 93, 477 p. (2010).

CIRC (Centre international de recherche sur le cancer). Talc. Perineal use of talc-based body powder (Group 2B). Inhaled talc not containing asbestos or asbestiform fibres (Group 3). Summary of Data reported. Vol. 93 (2006).

CIRC (Centre international de recherche sur le cancer). IARC Monographs on the Evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans. Silica and some silicates. Vol. 42. 289 p. (1987).

Coggiola M., Bosio D., Pira E., Piolatto P.G., La Vecchia C., Negri E., Michelazzi M. and Bacaloni A. An Update of a Mortality Study of Talc Miners and Millers in Italy. *American Journal of Industrial Medicine*. 44:63-69 (2003).

Cullinan P. and McDonald J.C. Respiratory disease from occupational exposure to non-fibrous phyllosilicates. NATO ASI Series, Vol. G21, *Health Related Effects of Phyllosilicates*, Edited by J. Bignon. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. (1990).

Dodson R.F., O'Sullivan M., Corn C.J. and Hamar S.P. Quantitative comparison of asbestos and talc bodies in an individual with mixed exposure. *Am J. Ind. Med.* 27(2): 207-215 (1995).

EPA (U.S. Environmental Protection Agency). Method for the Determination of Asbestos in bulk building Materials. EPA-600/R-93/116, July 1993. <http://www.rti.org/pubs/Test-Method-for-Determination.pdf>

EPA (U.S. Environmental Protection Agency). Health Assessment Document for Talc. EPA-600/8-91/217, March 1992.

EPA (U.S. Environmental Protection Agency). Code of Federal Regulations. 40 CFR – Part 763 – Asbestos (2003). <http://www.epa.gov/asbestos/pubs/2003pt763.pdf>

J.F. Gamble and G. W. Gibbs. An evaluation of the risks of lung cancer and mesothelioma from exposure to amphibole cleavage fragments. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 52:S154–S186 (2008).

Gamble J.F. A nested case control study of lung cancer among New York talc workers. *Int. Arch. Occup. Environ. Health*. 64:449-456 (1993).

Gibbs A.E., Poole F.D., Griffiths D.M., Mirtha R., Craighead J.E. and Ruttner J.R. Talc pneumoconiosis: A pathologic and mineralogic study. *Hum. Pathol.* 23:1344-1354 (1992).

Guthrie G.D. Jr. Biological Effects of Inhaled Minerals. *The American Mineralogist*. 77 (3-4): 225-243 (1992).

Harper M., Lee E.G., Doorn S.S. and Hammond O. Differentiating Non-Asbestiform Amphibole and Amphibole Asbestos by Size Characteristics. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 5:761-770 (2008).

Health and Safety Executive (HSE). Methods for the Determination of Hazardous substances (MDHS) 39/4, Asbestos fibres in air – Sampling and evaluation by Phase contrast Microscopy (PCM) under the Control of Asbestos at Work Regulations. London, HSE (1995).

Honda Y., Beall C., Delzell E., Oestenstad K., Brill I. and Matthews R. Mortality among Workers at a Talc Mining and Milling Facility. *Ann. Occup. Hyg.* 46(7): 575-585 (2002).

Hull M.J., Abraham J.L. and Case B.W. Mesothelioma among Workers in Asbestiform Fiber-bearing Talc Mines in New York State. *Ann. Occup. Hyg.*, 46 : Supplement 1, 132–135 (2002).

Ilgren E.B. The biology of cleavage fragments: A brief synthesis and analysis of current knowledge. *Indoor Built Environ.* 13:343-356 (2004).

International Standards Organization, ISO 14966, Ambient Air -- Determination of Numerical Concentration of Inorganic Fibrous Particles - Scanning Electron Microscopy Method (2002)

International Standards Organization, ISO 13794, Ambient Air – Determination of Asbestos Fibres – Indirect-Transfer Transmission Electron Microscopy Method (1999).

International Standards Organization, ISO 10312, Ambient Air – Determination of Asbestos Fibres – Direct-Transfer Transmission Electron Microscopy Procedure (1995).

International Standards Organization, ISO 8672, Air Quality - Determination of the number concentration of airborne inorganic fibres by phase contrast optical microscopy - Membrane filter Method (1993).

Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST). Numération des fibres. Méthode 243-1. In *Méthodes de laboratoires: Méthodes analytiques*. Montréal. IRSST (1991).

Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST). Caractérisation des fibres dans les poussières déposées ou dans les matériaux en vrac. Méthode 244-2. In *Méthodes de laboratoires: Méthodes analytiques*. Montréal. IRSST (1999).

Jones A.D., Aitken R.J., Fabriès J.F., Kauffer E., Liden G., Maynard A., Riediger G. and Sahle W. Thoracic Size-Selective Sampling of Fibres: Performance of four Types of Thoracic Sampler in Laboratory Tests. *Ann. Occup. Hyg.* 49(6) 481-492 (2005).

Kirk-Othmer. *Encyclopedia of Chemical Technology*, 3rd ed., Vol. I, Wiley-Interscience, New-York, 1978.

Langer A.M., Nolan R.P. J. Addison J. Distinguishing between amphibole asbestos fibers and elongate cleavage fragments of their non-asbestos analogues. In : *Mechanisms in Fibre Carcinogenesis*. Edited by R.C. Brown *et al.*, Plenum Press, New York. Pp 253-267 (1991).

Lee E.G., Nelson J., Hintz P.J., Joy G., Andrew M.E. and Harper M. Field performance of the CATHIA-T sampler and two cyclones against the standard cowled sampler for thoracic fiber concentrations. *Ann Occup Hyg.* 54:545-556 (2010).

Lee E.G., Harper M., Nelson J., Hintz P.J. and Andrew M.E. A comparison of the CATHIA-T sampler, the GK2.69 cyclone and the standard cowled sampler for thoracic fiber concentrations at a taconite ore-processing mill. *Ann Occup Hyg.* 52:55-62 (2008).

Lee R.J., Strohmeier B.R., Bunker K.L. and Van Orden D.R. Naturally occurring asbestos – A Recurring Public Policy Challenge. *Journal of Hazardous Materials.* 153:1-21 (2008).

Lee R.J. Letter. Comments Related to Proposed MSHA Asbestos Regulations. (2005). <http://www.msha.gov/regs/comments/05-14510/1219-ab24-comm-108.pdf>

Leophonte P. and Didier A. French Talc pneumoconiosis. In *Health Related Effects of Phyllosilicates*. NATO ASI Series. Edited by J. Bignon. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Vol. G21, pp 203-209 (1990).

Maynard A. Thoracic Size-selection of Fibres : Dependence of Penetration on Fibre Length for Five Thoracic Samplers. *Ann. Occup. Hyg.* 46: 511–22 (2002).

MDHS. Asbestos in Bulk Materials - Sampling and Identification by Polarised Light Microscopy (PLM). Health & Safety Executive (1994). Traduction de la monographie par l'INRS. Cahier de notes documentaires – Hygiène et sécurité du travail. 166: 17-35 (1997). [http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/HST_ND%202038/\\$File/ND2038.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/HST_ND%202038/$File/ND2038.pdf)

MDHS. Asbestos in Bulk Materials - Sampling and Identification by Polarised Light Microscopy (PLM). Health & Safety Executive. Method 77 (1994).

Meeker G.P., Bern A.M., Brownfield I.K., Lowers H.A., Sutley S.J., Hoefen T.M. and Vance J.S. The Composition and Morphology of Amphiboles from the Rainy Creek Complex, Near Libby, Montana. *American Mineralogist.* 88: 1955-1969 (2003).

Millette J.R. and Bandli B.R. Asbestos Identification Using Available Standard Methods. *Microscope.* 53:4: 179-185 (2005).

Mine Safety and Health Administration (MSHA). Asbestos Exposure Limit; Proposed Rule. *Federal Register.* 70:145, 30 CFR, Parts 56, 57 and 71 (2005). <http://www.msha.gov/regs/fedreg/proposed/2005prop/05-14510.asp>

National Toxicology Program (NTP). Toxicology and carcinogenesis studies of talc in fischer 344/N rats and B6C3F1 mice. (Inhalation studies). Research Triangle Park, NC: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, National Institutes of Health. NIH Publication No. 93-3152. NTP TR 421 (1993)

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Asbestos and other fibers by PCM. Method 7400. NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), 4th ed. (1994a).

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Asbestos by TEM. Method 7402. NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), 4th ed. (1994b)

National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH). Comments to DOL. Comments of the National Institute for Occupational Safety and Health on The Occupational Safety and Health Administration's notice of proposed rulemaking on occupational exposure to asbestos, tremolite, anthophyllite, and actinolite. 29 CFR Parts 1910 and 1926. Docket No. H-033d (1990). http://www.cdc.gov/niosh/review/public/099/pdfs/AsbestosTestimony_April%209_1990.pdf

NFX 43-050. Qualité de l'air – Détermination de la concentration en fibres d'amiante par microscopie électronique à transmission – Méthode indirecte. AFNOR (1996).

NIOSH. CURRENT INTELLIGENCE BULLETIN 62. Asbestos Fibers and Other Elongate Mineral Particles: State of the Science and Roadmap for Research. Department of Health and Human Services. Centers for Disease Control and Prevention. National Institute for Occupational Safety and Health. Publication No. 2011-159. March 2011.

<http://www.cdc.gov/niosh/docs/2011-159/pdfs/2011-159.pdf>

Occupational Safety and Health Administration (OSHA). Occupational Exposure to Asbestos, Tremolite, Anthophyllite and Actinolite. Federal Register. 57:110, 29 CFR Parts 1910 and 1926, Docket NO H-033-d.24310 (1992).

Occupational Safety and Health Administration (OSHA). Polarized Light Microscopy of Asbestos. Analytical Method OSHA ID-191 (1992).

<http://www.osha.gov/dts/sltc/methods/inorganic/id191/id191.html>

Occupational Safety and Health Administration (OSHA). Asbestos in air. Analytical Method OSHA ID-160 (1997). <http://www.osha.gov/dts/sltc/methods/inorganic/id160/id160.html>

Organisation mondiale de la santé (OMS). Détermination de la concentration de fibres en suspension dans l'air. Méthode recommandée : la microscopie optique à contraste de phase (comptage sur membrane filtrante). Genève. Organisation mondiale de la santé (1998).

Paoletti L., Caiazza S., Donelli G. and Pocchiari F. Evaluation by Electron Microscopy Techniques of asbestos Contamination in Industrial, Cosmetic, and Pharmaceutical Talcs. Regulatory toxicology and Pharmacology. 4:222-235 (1984).

Pooley F.D. and N. Rowlands N. Chemical and physical properties of British talc powders. In: Walton, W.H.; McGovern, B., eds. Inhaled particles IV: proceedings of an international symposium, part 2: September 1975; Edinburgh, UK: Pergamon Press. 4(2): 639-646 (1977).

Price B. Industrial-grade talc exposure and the risk of mesothelioma. Critical Reviews in Toxicology, 40(6): 513-30 (2010).

Ramanakumar A.V., Parent M.E., Latreille B. and Siemiatycki J. Risk of lung cancer following exposure to carbon black, titanium oxide and talc: Results from two-case-control studies in Montreal. Int. J. Cancer. 122: 183-189 (2008).

Risk & Policy Analysts Limited, Comparative Study on Cosmetics Legislation in the EU and Other Principal Markets with Special Attention to so-called Borderline Products. http://ec.europa.eu/enterprise/newsroom/cf/_getdocument.cfm?doc_id=4557

Roggli V.L., Vollmer R.T., Butnor K.J. and Sporn T.A. Tremolite and Mesothelioma. Ann. Occup. Hyg. 46: 447-453 (2002).

Scancarello G., Romeo R. and Sartorelli E. Respiratory Disease as a Result of Talc Inhalation. 38(6): 610-614 (1996).

Selevan S.G., Dement J.M., Wagoner J.K. and Froines J.R. Mortality patterns among miners and millers of non-asbestiform talc: preliminary report. Journal of Environmental Pathology and Toxicology. 2:273-284 (1979).

Siegrist H.G. and Wylie A.G. Characterizing and discriminating the shape of asbestos particles. *Environ Res.* 23:348-361 (1980).

Skinner, H.C.W., Ross M. and Frondel C. Asbestos and other fibrous materials—Mineralogy, crystal chemistry, and health effects: New York, Oxford University Press, 204 p. (1988).

Srebro S.H. and Roggli V.L. Asbestos-Related Disease Associated With Exposure to Asbestiform Tremolite. *Am J. Ind. Med.* 26(6): 809-819 (1994).

USGS (U.S. Geological Survey). Tabulation of Asbestos-Related Terminology. By Heather Lowers and Greg Meeker. Open-file Report 02-458 (2002).

Van Gosen B.S. The Geology of asbestos in the United States and its practical application. *Environ Eng Geosci* 13: 55-68 (2007).

Veblen D.R. and Wylie A.G. Mineralogy of amphiboles and 1:1 layer silicates. In: G.D. Guthrie and B.T. Mossman, eds. *MSA Reviews in Mineralogy*. Vol. 28: 61-137 (1993).

Virta R.L. Talc and pyrophyllite. In: US Geological survey Minerals Yearbook – 2008. Pp 75.1 – 75.8. (2009a). <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/talc/myb1-2008-talc.pdf>

Virta R.L. Talc and pyrophyllite. In: US Geological survey Minerals Yearbook – 2008. Pp 75.1 – 75.8. (2009b). <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/talc/mcs-2009-talc.pdf>

VDI (Verein Deutscher Ingenieure). Indoor air measurement - Ambient air measurement - Measurement of inorganic fibrous particles - Scanning electron microscopy method, VDI 3492 (2004).

Wergeland E., Andersen A. and Baerheim A. Morbidity and mortality in talc-exposed workers. *Am. J. Ind. Med.* 17: 505-513 (1990).

Wild P., Leodolter K., Réfrégier M., Schmidt H. and Bourgkard E. Effects of talc on respiratory health: results of a longitudinal survey of 378 French and Austrian talc workers. *Occup. Environ. Med.* 65: 261-267 (2008).

Wild P. Lung cancer risk and talc not containing asbestiform fibres: a review of the epidemiological evidence. *Occup. Environ. Med.* 63: 4-9 (2006).

Wild P., Leodolter K., Schmidt H., Zidek T. and Haidinger G. A cohort mortality and nested case-control study of French and Austrian talc workers. *Occup environ med.* 59: 98-105 (2002).

World Health Organisation (WHO). Determination of airborne fibre Number Concentrations, a Recommended Method, by Phase-Contrast Optical Microscopy (membrane filter method). Geneva: WHO (1997).

Zazenski R., Ashton W.H., Briggs D., Chudkowski M., Kelse J.W., MacEachern L., McCarthy E.F., Nordhauser M.A, Roddy M.T., Teetsel N.M., Wells A.B. and Gettings S.D. Talc: Occurrence, Characterization, and Consumer Applications. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 21:218-229 (1995).

XP X 43-269. Qualité de l'air – Air des lieux de travail – Détermination de la concentration en nombre de fibres par microscopie optique en contraste de phase – Méthode du filtre à membrane. AFNOR (2002).

ANNEXE A : SYNONYMES ET NOMS COMMERCIAUX DU TALC

Noms commerciaux des talcs industriels, cosmétiques et pharmaceutiques¹³ incluant :

Agalite	Mistron
Asbestine	Montana talc
Australian microcrystalline	MP 25-38
Beaver White 200	MP 40-27
Ceramitalc HDT	MP 45-26
Ceramitalc No. 1	MST
CP-10-40	MT 12-50
CP 38-33	Mussolinite
Crystalite CR 6002	NCI-CO6018
Desertalc 57	Nytaal 14
Emtal 500	Nytaal 200
Emtal 549	Nytaal 300
Emtal 596	Nytaal 400
Emtal 599	Pk-C
Ex-IT	Pk-N
Fibrene C 400	Plustalc
Finntalc	Polytaal 4641
French Chalk	Polytaal 4725
FW-XO	Snowgoose
HSDB 830	Steawhite
IT 3X	Supreme
IT Extra	Supreme dense
LMR 100	Talcan PK-P
Microneeca K1	Talcron CP 44-31
Micro White 5000A	Westmin
Microtalco IT Extra	

¹³ Adapté de CIRC (2010), p. 278.

ANNEXE B : ÉTUDES ÉPIDÉMIOLOGIQUES

Annexe B1. Revues

B1.1 ATS (1990)

Le tableau B1 résume les évaluations du comité d'experts de l'ATS sur la contamination du talc par la trémolite, réalisé en 1990. La description détaillée des données épidémiologiques de la plupart des articles cités par l'ATS peut être consultée aux annexes C et D, telles que présentées par Wild (2006) et le CIRC (2010). L'ATS, dans son énoncé officiel, s'était fixé comme but d'évaluer le risque pour la santé de la trémolite. Devant l'impossibilité d'établir un consensus scientifique entre fragments de clivage et fibres asbestiformes d'une part et fibres asbestiformes et non asbestiformes d'autre part, l'ATS a traité l'ensemble des données sous le terme générique de « fibres » de différentes dimensions en soulignant la nécessité de poursuivre les recherches sur la caractérisation de ces expositions.

Cohorte New York

Les quatre premières études évoquées par l'ATS (tableau B1) décrivent la situation à la mine de talc de l'état de New York (Governor Talc mine and mill : New York 1, 2 et 3 ainsi que la cohorte NIOSH). Seule la première étude a rapporté un taux élevé de pneumoconiose (27% des décès), un mésothéliome et un excès du risque de cancer du poumon (13 cas, soit 12% de décès comparé à 3,7% prévus à partir du taux américain de 1955) avec niveau de preuve « faible », faute de prise en charge du tabagisme, de l'absence de relation dose/réponse et de l'absence de données d'exposition sur les autres agents fibrosants. Les études New York 2 et 3 ont été jugées inadéquates pour évaluer le risque par l'ATS. Tant qu'à l'étude cas/contrôle (étude NIOSH), elle a conclu à l'absence de risque significatif de cancer du poumon étant donné que le seul risque significatif de cancer du poumon se trouvait chez les travailleurs de moins d'un an d'expérience (SMR : 357,2 unilatéral $p < 0,01$; 8 cas observés sur 2,3 cas attendus) alors que les travailleurs avec plus d'un an d'expérience n'ont pas montré de risque significatif (5 cas observés, 2,81 cas attendus, unilatéral $p > 0,15$) après ajustement pour le tabagisme. Les auteurs n'ont pas observé de relation dose/réponse. Le niveau de preuve de l'absence de signification a été évalué à « intermédiaire » plutôt qu'« élevé » en se basant sur la présence du risque significatif chez les travailleurs ayant moins d'un an d'expérience et sur la possibilité d'un mésothéliome.

Cet emplacement a fait l'objet de multiples études épidémiologiques dont certaines seront décrites dans les sections subséquentes¹⁴ et des caractérisations de l'exposition qui sont évoquées dans la section 5.4.3 au tableau 3.

Cohorte Vermont

La cohorte du Vermont est décrite comme une mine de talc sans amiante. La seule étude recensée présente une hausse de risque significatif de cancer du poumon chez les mineurs (5/1,15, SMR = 4,35 (1,41–10,1)) qui n'apparaît pas chez les travailleurs du moulin (2/1,96, SMR = 1,02 (0,12–3,68)). Le niveau de preuve est « faible » à cause de l'absence d'information sur l'exposition à différents agresseurs, de relation dose/réponse et de données sur le tabagisme. Aucun suivi n'a pu être localisé lors des recherches bibliographiques.

¹⁴ : l'historique des études sur le talc de Governor Talc a été décrit par Gamble et Gibbs (2008)

Cohorte italienne

L'ATS donne très peu de détails sur cette mine qui exploite du talc très pur pouvant contenir de petites quantités de trémolite. La cohorte de 2 000 travailleurs a démontré un excès de pneumoconioses possiblement attribuables à la silice cristalline mais aucune évidence d'augmentation du risque de cancer du poumon. Aucune donnée n'est fournie par l'ATS mais une mise à jour est rapportée dans les revues de Baan (CIRC) et de Wild.

Industries utilisatrices

La National Cancer Institute a recueilli les données sur une cohorte de trois industries de la céramique, et les a séparées en trois groupes : sans exposition au talc, avec exposition au talc fibreux (trémolitique) et avec exposition au talc non fibreux (ne contenant pas de fibre d'amiante). Seul le groupe des travailleurs avec exposition au talc non fibreux (sans amiante) a donné un risque significatif de cancer du poumon (21/8,3, SMR = 2,54; $p < 0,001$). Toutefois, plusieurs limitations méthodologiques diminuent la fiabilité de l'étude : tous les travailleurs peuvent avoir subi une exposition élevée à la silice cristalline, l'absence d'information sur le tabagisme, le petit nombre de travailleurs exposés au talc fibreux et l'utilisation du taux de mortalité national plutôt que local, résultant en un niveau de preuve « faible ».

Conclusion

Selon l'ATS en 1990, l'ensemble des études ne supporte pas la cancérogénicité de la trémolite, asbestiforme ou non, dans le talc. Le niveau de preuve des différentes études s'établit à « intermédiaire » pour les NMRD et de « faible » pour le cancer du poumon et le mésothéliome.

Tableau B1 : Grille d'analyse – Revues – ATS 1990 - Travailleurs

Tableau B1 : Grille d'analyse – Revues – ATS 1990 - Travailleurs									
ATS. Health effects of tremolite. (Am Rev Respir Dis. 142(6): 1453-1458, 1990).									
Énoncé officiel de l'American Thoracic Society (ATS) adopté par le conseil d'administration en juin 1990.									
Revue de la littérature et évaluation du risque sur la contamination professionnelle du talc trémolitique.									
Devant l'impossibilité d'établir un consensus scientifique entre fragments de clivage et fibres asbestiformes d'une part et fibres asbestiformes et non asbestiformes d'autre part, l'ATS traite l'ensemble des données sous le générique de "fibres" de différentes dimensions.									
Résumé	Risque significatif				Niveau de preuve				Remarques
	A	P	M*	C	Ab	F	I	É	
Mines et moulins									
<i>New York 1</i> (mine de New York) Kleinfeld <i>et al.</i> , 1967 et 1974 ¹⁵		oui				x**			Nombreux cas de pneumoconioses qui peuvent être causées par le talc autant que par la trémolite.
			1	oui		x			Étude de mortalité proportionnelle. Un mésothéliome du péritoine***. Sans données sur l'exposition, impossible d'établir la causalité de la trémolite. Contamination par la trémolite asbestiforme, excès de risque de cancer du poumon mais, pas de données sur le tabagisme et pas de relation dose/réponse, problème méthodologique inhérent au « proportional mortality study », comparaison avec le taux de cancer US alors que New York > US, entre 1950 et 1959.
<i>New York 2</i> (mine de New York) Brown <i>et al.</i> , 1979									1947-1959 Limitations dans l'analyse des données qui empêchent toute décision sur le risque. Pas de données d'exposition et variabilité de la prise en charge des emplois préalables et du suivi. Études NIOSH.
<i>New York 3</i> (même mine que 2, 2 études) Stille <i>et al.</i> , 1982 Lamm <i>et al.</i> , 1988									1948-1977 Limitations dans l'analyse des données qui empêchent toute décision sur le risque. Études NIOSH.
<i>New York NIOSH</i> (même mine que 2) Gamble <i>et al.</i> , (unpublished)				non			x		1947-1983 Risque significatif de cancer seulement chez les travailleurs de moins d'un an de service. Les résultats de l'étude cas-contrôle avec correction pour le tabagisme et l'absence de relation dose/réponse ne supportent pas la relation causale entre le risque et l'exposition à la trémolite dans les mines de talc.
<i>Vermont NIOSH</i> Selevan <i>et al.</i> , 1979. Moulin				non		x			Mine de talc sans amiante. Hausse de risque chez les mineurs mais pas chez les travailleurs du moulin.
Mine				oui		x			(1947-1959) Absence d'information sur l'exposition à différents agresseurs. Pas de relation dose/réponse. Pas d'information sur le tabagisme et autres facteurs confondants.

¹⁵ : le nom du premier auteur de l'article tel que cité par l'ATS et l'année de publication sont insérés pour faciliter la comparaison avec les autres tableaux et le texte

<i>Cohorte italienne</i> Rubino <i>et al.</i> , 1976		oui		non			x		Talc très pur (petite quantité de trémolite). 2 000 travailleurs, Excès de pneumoconiose possiblement attribuable à la silice cristalline.
Industries utilisatrices									
<i>Cohorte NCI (National Cancer Institute)</i> Thomas <i>et al.</i> , 1987	Trois industries de céramique. Travailleurs avec exposition élevée à la silice cristalline								
				non					Pas d'exposition au talc.
				non					Talc fibreux (trémolitique).
				oui			x		Talc non fibreux (sans amiante). Risque de cancer significatif avec relation dose/réponse (limitations méthodologiques).
Conclusion générale				non			x		L'ensemble des études ne supporte pas la cancérogénicité de la trémolite, asbestiforme ou non, dans le talc.

A : anomalies broncho-pulmonaires de différentes natures, P : pneumoconiose, M : mésothéliome, C : cancer du poumon, Ab : absente, F : faible, I : intermédiaire, É : élevée;

* : indique le nombre de mésothéliome observé;

** : l'ATS n'élabore pas sur les données de pneumoconiose, se préoccupant surtout de la cancérogénicité;

*** : Gamble et Gibbs décrivent plutôt un mésothéliome de la plèvre.

B1.2 Baan (2007) et CIRC (2010)

Le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) a réuni un groupe d'experts pour réviser l'évaluation de la cancérogénicité du talc, le 26 février 2006. Baan a publié dans *Lancet* un résumé des discussions des experts (Baan, 2006) qui fournit l'essentiel des éléments mais qui ne permet pas d'établir le niveau de preuve (tableau B2). Cette section a pu être complétée lorsque la monographie 93 du CIRC a été disponible, en 2010. La description détaillée des données épidémiologiques des différents articles peut être consultée à l'annexe C, aux tableaux C1 à C4 (tirés de Wild, 2006) et à l'annexe D, aux tableaux D1 et D2 (tirés du CIRC, 2010).

Cohorte italienne

Le CIRC décrit l'article initial sur la cohorte italienne (Rubino *et al.*, 1976) et la seconde analyse de 1979 (Rubino *et al.*, 1979). Le minerai y est présenté comme un talc très pur avec moins de 2% de quartz et la présence occasionnelle de trémolite dans certains échantillons. La dose a été évaluée en mppcf, c'est-à-dire en concentration de poussière. Les risques de pneumoconiose (62 cas; SMR, 2,0; (95% CI, 1,5–2,6) et de pneumoconiose aggravée de tuberculose (18 cas; SMR, 2,0; 95% CI, 1,2–3,1) sont significatifs. Ces estimations augmentent avec l'exposition. Le risque de cancer n'est pas significatif. Le tabagisme n'a pas été pris en compte. De plus, le groupe d'experts note le manque de comparabilité entre les travailleurs et le groupe de contrôle. Aucun mésothéliome n'a été observé.

Cohorte du Vermont

La cohorte du Vermont aux États-Unis a donné une augmentation de risque du cancer du poumon qui est statistiquement significative chez les mineurs (sept cas; SMR, 4,3; 95% CI, 1,4–10,1) qui

n'est pas observée chez les travailleurs du moulin (deux cas; SMR, 1,0; 95% CI, 0,1–3,7). Par contre, les NMRD ont donné des résultats différents, de non significatifs chez les mineurs (deux cas; SMR, 1,6; 95% CI, 0,2–5,9) à significatifs chez les travailleurs du moulin (sept cas; SMR, 4,1; 95% CI, 1,6–8,4).

Cohorte norvégienne

L'étude de la cohorte norvégienne n'a décelé aucun excès de risque significatif pour le cancer du poumon, les pneumoconioses et le mésothéliome.

Cohorte française

Pour les pneumoconioses, un SMR significatif de 5,6 (95% CI, 1,1–16,2) dont la signification statistique disparaît à l'utilisation des taux de référence nationaux pré-1968 plutôt que post-1968. Aucune augmentation statistiquement significative de cancer du poumon (21 cas; SMR, 1,2; 95% CI, 0,8–1,9) n'a été observée quoique les groupes de moins de soixante ans, avec période de latence de moins de 20 ans ou une durée d'emploi de moins de dix ans ont indiqué des SMR supérieurs à 2 mais qui n'étaient pas significatifs.

Cohorte autrichienne

Aucune augmentation du risque de cancer du poumon (7 cas; SMR, 1,1; 95% CI, 0,4–2,2) n'a été notée pour cette cohorte. Certaines informations non publiées sur le tabagisme sont disponibles mais leur utilisation dans l'évaluation du risque n'est pas indiquée. Le nombre réel de la cohorte n'est pas déterminé clairement. Aucun mésothéliome n'a été observé.

Cohortes française et autrichienne

Les cas de cancers du poumon des deux cohortes, française et autrichienne, (Wild *et al.*, 2000 et 2002) ont été combinés pour permettre une analyse cas/contrôle avec exposition cumulée de diverses sources. Les résultats de rapports de risque (OR) non ajustés sont de :

- 0,9 (1–100 mg/m³–années ; six cas, 18 contrôles);
- 1,1 (101–400 mg/m³–années ; sept cas, 15 contrôles);
- 0,6 (401–800 mg/m³–années ; cinq cas, 21 contrôles);
- 0,7 (> 801 mg/m³–années ; trois cas, 10 contrôles).

En supposant une relation linéaire, le OR était de 1,0 (95% CI, 0,9–1,1) par 100 mg/m³–années. L'ajustement pour le tabagisme, l'exposition au quartz et le travail sous terre, de l'une ou deux de ces variables, ne modifiait pas le résultat.

Cohorte italienne

La cohorte italienne a montré un risque significatif de NMRD (105 cas; SMR, 3,1; 95% CI, 2,5–3,7), dont 58 sont des silicoses. Aucun mésothéliome et aucune augmentation de risque du cancer du poumon (44 cas; SMR, 0,9; 95% CI, 0,7–1,3) n'ont été observés. Il n'y a pas dans cette étude, telle que rapportée par le CIRC, d'information sur le tabagisme et sur les concentrations de poussière,

Cohorte du Québec

Cette étude cas/témoin sur des bases communautaires n'indique aucune augmentation de risque de cancer du poumon (rapport de risque (OR) : 0,9 (35 cas exposés; 90% CI, 0,6–1,4)) pour des utilisateurs de talc « industriel ». Les principaux désavantages de cette approche sont l'estimation indirecte de l'exposition par des experts et la prépondérance des expositions faibles comparativement aux expositions plus élevées en milieu de travail. Les avantages proviennent de la bonne connaissance du tabagisme et des autres expositions à diverses substances.

Industrie utilisatrice

Le CIRC rapporte les résultats d'une seule étude épidémiologique sur le cancer du poumon, dans une industrie utilisatrice du talc, soit la fabrication d'appareils de plomberie en céramique. Toutefois, les connaissances qu'il est possible de tirer de cette étude sont limitées à cause de la présence prépondérante du quartz respirable. L'excès de mortalité par cancer du poumon chez les travailleurs exposés à des concentrations élevées de quartz étaient statistiquement significatif (44 cas; SMR, 1,8; 95% CI, 1,3–2,4). Cette augmentation était accentuée dans les sous-groupes exposés en plus du quartz à du talc non-fibreux (21 cas; SMR, 2,5; 95% CI, 1,6–3,9) alors qu'elle devenait non significative dans les sous-groupes avec exposition additionnelle à du talc fibreux (5 cas; SMR, 1,7 ; 95% CI, 0,6–4,0) ou sans exposition au talc (18 cas; SMR, 1,4; 95% CI, 0,8–2,2).

Tableau B2 : Grille d'analyse – Revues – Baan (2007) et CIRC (2010)

Carcinogenic Hazards from Inhaled Carbon Black, Titanium Dioxide and Talc not Containing Asbestos or Asbestiform Fibers: Recent Evaluations by an IARC Monographs Working Group. *Inhalation Toxicology*, 19 (Suppl. 1) : 213-228 (2007) et IARC Monographs on the Evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans. Carbon black, Titanium dioxide, and Talc. Vol. 93, 477 p. (2010).

Résumé de la rencontre du groupe de travail du CIRC en février 2006 qui a reconsidéré les résultats de la réunion de 1983 (Vol. 42) et suppl. 1987

Résumé	Risque significatif				Niveau de preuve				Remarques
	A	P	M*	C	Ab	F	I	É	
Italie, Rubino <i>et al.</i> , 1976, 1979		oui						x	SMR significatifs chez les mineurs avec relation dose cumulée en mppcf-années/effet.
			0	non		x			Pas de données sur le tabagisme, historique d'exposition insuffisante. Lacune méthodologique.
Vermont, Selevan <i>et al.</i> , 1979 Mineurs Travailleurs du moulin		non		oui		x			Petit nombre, pas de mention de données sur le tabagisme. La latence des cancers n'aurait pas été prise en compte. Possibilité d'exposition au radon.
		oui		non		x			
Norvège, Wergeland <i>et al.</i> , 1990		non	0	non		x			Petit nombre de la cohorte. Concentrations de poussières élevées. Moins de 1% de quartz.
France, Wild <i>et al.</i> , 2000		oui				x			Pneumoconiose : significatif mais basé sur trois cas.
				non		x			Cancer du poumon : ajustement pour le tabagisme (information partielle) et le quartz, exposition cumulée à la poussière par individu. Pas de mesure de fibre ou de EMP. Exposition aux poussières élevée dans le passé. Pas d'augmentation de tendance avec la dose mais petit nombre dans certaines catégories.
Autriche, Wild <i>et al.</i> , 2002			0	non		x			Information non publiée sur le tabagisme. Petit nombre.
France et Autriche, Wild <i>et al.</i> , 2002			0	non			x		Pas d'augmentation de risque pour le cancer avec l'augmentation de l'exposition aux poussières. Information partielle pour le tabagisme. Ajustement pour le tabagisme, le quartz et le travail sous terre.
Italie (Coggiola <i>et al.</i> , 2003)		oui	0	non			x		Mise-à-jour. NMRDs retrouvés surtout chez les mineurs. Pas d'ajustement pour le tabagisme.
Québec (Ramanakumar, 2008)				non			x		Étude cas/témoin sur des bases communautaire. Faiblesse : estimation de l'exposition par des experts. Forces : cancers histologiquement confirmés, ajustements pour le tabagisme.

Industrie utilisatrice										
USA, Thomas & Stewart, 1987 Fabrication d'appareils de plomberie en céramique				oui		x				Statistiquement significatif dans les cas d'exposition à des concentrations élevées de quartz respirable. Accentué par la présence de talc non fibreux. Impossible de différencier la causalité du quartz et du talc.
Conclusion ¹⁶		oui	0	non ¹⁷						Groupe 3 : Évidence inadéquate pour la cancérogénicité du talc inhalé qui ne contient ni amiante, ni fibres asbestiformes.

A : anomalies broncho-pulmonaires de différentes natures, P : pneumoconiose, M : mésothéliome, C : cancer du poumon, Ab : absente, F : faible, I : intermédiaire, É : élevée ;
* : indique le nombre de mésothéliome observé.

B1.3 Wild (2006)

La revue de Wild vise à mettre à jour les évidences épidémiologiques sur la cancérogénicité du talc qui ne contient pas de fibres asbestiformes, depuis l'évaluation du CIRC en 1987 (tableau B3). À cette fin, l'auteur regroupe trois études dans les mines de talc (Vermont, Norvège et Italie) et quatre dans les moulins (Norvège, France, Autriche et Italie) en y ajoutant les résultats dans sept industries utilisatrices de talc. Les tableaux de Wild qui décrivent les caractéristiques des populations exposées et les données épidémiologiques sont reproduits à l'annexe C.

Mineurs

Cohorte Vermont - Mine

Wild arrive à la même évaluation que l'ATS, soit : une hausse de risque significatif de cancer du poumon chez les mineurs¹⁸ qui n'apparaît pas chez les travailleurs du moulin. Le niveau de preuve est « faible » à cause de l'absence d'informations sur le tabagisme, sur l'exposition à d'autres agresseurs ainsi que l'absence de relation dose/réponse. Aucun suivi n'a pu être localisé lors des recherches bibliographiques.

Cohorte Norvège - Mine

La mine norvégienne est décrite comme possiblement sans quartz, ni radon (3,5 pCi/l) par Wild alors que Gamble et Gibbs (2008, page S168) mentionnent des traces de trémolite, de quartz et d'anthophyllite (rapport d'allongement (L/d) > 3:1 par microscopie optique de 0,2 à 0,9 f/mL). Baan et Wild ne rapportent aucun mésothéliome et pas de risque significatif de cancer du poumon (SIR = 1,58 (0,18-5,69)). Le nombre de travailleurs dans la cohorte est faible (n=94) ce qui amoindrit le niveau de preuve à « faible ».

¹⁶ Une étude russe (Katsnelson and Mokronosova, 1979) n'a pas été retenue par le groupe d'experts à cause de lacunes méthodologiques.

¹⁷ Le groupe d'experts a classé le talc, dans la classe 2B : peut-être cancérogène chez l'homme par voie périnéale.

¹⁸ Les données de SMR qui ont déjà été indiquées dans le texte ne sont pas répétées.

Cohorte Italie - Mine

En 2003, Coggiola *et al.* ont réalisé un suivi de la cohorte italienne citée par l'ATS (Rubino *et al.*, 1979). Aucun mésothéliome n'a été observé et le risque de cancer du poumon était non significatif (SMR = 1,07 (0,74-1,50)).

Tous les mineurs

En regroupant les données sur les mineurs, Wild calcule un risque non significatif de cancer du poumon avec une hétérogénéité des résultats causée par le risque élevé observé chez les mineurs du Vermont, mais le risque demeure non significatif en calculant selon la méthode des effets fixes (SMR = 1,20 (0,86 – 1,63) ou au hasard (SMR = 1,85 (0,68 - 5,05)).

Travailleurs du moulin

Cohorte Vermont - Moulin

Wild présente la même évaluation que l'ATS, soit un risque non significatif de cancer du poumon avec absence d'information sur le tabagisme et l'exposition.

Cohorte Norvège - Moulin

Le moulin de Norvège exploite du talc très pur (voir le paragraphe sur la mine). Les auteurs cités par Wild rapportent un risque non significatif de cancer du poumon (SIR: 2/1,27 ; 1,57 (0,19–5,69)), avec absence d'information sur le tabagisme et carence des données sur l'exposition, donc niveau de preuve « faible ».

Cohorte France - Moulin

Le moulin de Luzenac traite un minerai qui contient moins que 3% de quartz sans autre cancérogène identifié. Wild présente des résultats non significatifs d'augmentation de risque du cancer du poumon (SMR = 1,24 (0,76 – 1,89)). Une étude cas/contrôle, nichée dans la cohorte, n'a pas indiqué d'augmentation de tendance avec la dose cumulée. Les informations incomplètes sur le tabagisme tendent vers un niveau de preuve « intermédiaire » plutôt qu'« élevé ».

Cohorte Autriche - Moulin et mine

Les résultats de l'étude sur les moulins et les mines d'Autriche proviennent de deux sites dénommés B et C. Les deux emplacements ont donné des SMR de 0,69 (0,14 – 2,01) et de 1,11 (0,01 – 6,19) mais le nombre de cas (3 et 1) est très petit. Le tabagisme n'est pris en compte que partiellement. Le niveau de preuve est établi à « faible ».

Cohorte Italie - Moulin

Le moulin italien produit du talc sans fibres asbestiformes et moins de 1% de quartz. Aucun mésothéliome n'a été observé. Le risque relatif de cancer du poumon (SMR = 0,69 (0,34 – 1,23)) est inférieur à l'unité. Le tabagisme n'est pris en compte que de façon partielle à partir de communications personnelles sur les populations de travailleurs et du pays. Le niveau de preuve s'affiche à « intermédiaire ».

Tous les travailleurs des moulins

L'ensemble de la population des travailleurs des moulins qui exploitent un minerai contenant du talc sans fibres asbestiformes mène à une évaluation de risque (SMR = 0,92 (0,67 – 1,25))

inférieure à l'unité avec un niveau de preuve qui oscille entre faible et intermédiaire à cause des carences dans les informations sur le tabagisme et sur l'exposition.

Travailleurs des industries utilisatrices

Caoutchouc

Lors de l'utilisation du talc dans une industrie chinoise de caoutchouc, les auteurs cités par Wild ont observé un risque significatif de cancer du poumon chez les mâles (RR = 3,3 (1,3 - 8,2)) avec la même tendance chez les travailleuses (RR : 4,6 (0,8-28,0)) après ajustement pour le tabagisme, mais sans ajustement pour les autres agents confondants, notamment les agents de cuisson, les composés volatils condensés, les gaz, les nitrosamines. Aucune précision n'est fournie sur la nature fibreuse ou non fibreuse de la poussière. Aucune mesure d'exposition n'est rapportée sauf la mention « travailler dans l'atelier de cuisson ». Par contre, les auteurs favorisent la relation causale avec la nitrosamine plutôt qu'un des autres contaminants. En absence de données sur les facteurs confondants et sur l'exposition, le niveau de preuve est coté « faible ».

Dans une industrie allemande de caoutchouc où l'exposition au talc non fibreux est évaluée à faible/moyenne/élevée à partir d'une matrice emploi/exposition semi-quantitative, les auteurs ont obtenu un risque significatif (RR = 2,4 (1,2 - 4,9)) qui est devenu non-significatif (RR : 2,0 (0,9 - 4,1)) après ajustement pour le tabagisme et autres agents non identifiés. Le niveau de preuve s'établit à « faible ».

Fibre de verre

L'article sur une industrie américaine de fibre de verre utilisant du talc n'a pas donné de risque significatif de cancer du poumon (RR = 1,36 (0,41 - 4,52)) dans une étude cas (144)/témoin (280) après ajustement pour le tabagisme et les autres expositions. Le niveau de preuve a été évalué à « faible » à cause des faibles nombres.

Papier

Deux études ont examiné la poussière de papier contenant du talc, l'une dans une industrie de pâte et papier de Norvège et l'autre dans deux imprimeries de Russie. Dans les deux articles, le risque de cancer du poumon n'était pas significatif (SIR = 1,4 (0,70 - 2,16) et SMR = 1,0 (0,35 - 2,18)). Le tabagisme n'était pas connu et divers autres agents confondants ont été identifiés soit SO₂, H₂S, Cl₂, ClO₂, benzène, solvants, hydrocarbures aromatiques et noir de charbon.

Poterie (céramique)

Pour les travailleurs toujours exposés au talc non fibreux et à des concentrations élevées de silice cristalline, le risque de cancer du poumon est de RR = 2,54 (1,57 - 3,88). Pour les travailleurs exposés durant 15 années et plus au talc non fibreux et à des concentrations élevées de silice cristalline, ce risque (RR = 3,64 (1,57-7,17)) augmente avec le nombre d'années d'exposition à du talc non-fibreux, ce qui n'est pas observé avec la silice. Les effets confondants de la silice cristalline et du talc fibreux ne peuvent pas être complètement écartés. Cependant aucun ajustement n'a été réalisé pour le tabagisme ou les autres facteurs confondants, ce qui équivaut à un niveau de preuve « faible ».

Conclusion

Wild conclut qu’aucune étude de mortalité n’indique une augmentation significative du risque de cancer dans les moulins qui traitent du talc ne contenant pas de fibres asbestiformes. Toutefois, le niveau de la preuve demeure intermédiaire à cause de la rareté d’informations adéquates sur l’exposition. Dans les mines et les industries utilisatrices, où le talc peut être accompagné par d’autres cancérrogènes, le risque de cancer du poumon demeure possible dans quelques articles mais l’établissement du lien de causalité est difficile à établir à cause des lacunes des données d’exposition.

Tableau B3 : Grille d’analyse – Revues – Cancer du poumon Wild (2006)									
P. Wild. Occup. Environ. Med., Jan. 2006; 63 4-9. Lung cancer risk and talc not containing asbestiform fibres: a review of the epidemiological evidence.									
But : mettre à jour les évidences sur la cancérogénicité du talc qui ne contient pas de fibres asbestiformes depuis l'évaluation de du CIRC en 1987. Les formes de talc fibreux (WHO) mais non asbestiforme représentent moins de 1% de la poudre à la sortie du moulin.									
Résumé	Risque significatif				Niveau de preuve				Remarques
	A	P	M*	C	Ab	F	I	É	
Mines									
Vermont (Selevan <i>et al.</i> , 1979)				Possible		x			Exposition au radon et au quartz. Difficultés méthodologiques : tabagisme inconnu et données sur l’exposition déficientes.
Norvège (Wergeland <i>et al.</i> , 1990) Morbidity and mortality in talc-exposed workers			0	non		x			Petit nombre (94 travailleurs/2 cas).
Italie (Coggiola <i>et al.</i> , 2003) An up-date mortality study of talc miners and millers in Italy			0	non		x			Exposition élevée au quartz dans le passé. Relation avec la dose.
Tous les mineurs				non		x			Hétérogénéité à cause du risque du Vermont qui est beaucoup plus grand.
Moulins									
Vermont (Selevan <i>et al.</i> , 1979)			0			x			Tabagisme inconnu et données sur l’exposition déficientes.
Norvège (Wergeland <i>et al.</i> , 1990)			0	non		x			Faible nombre (295 travailleurs/4 cas). Talc très pur.
France (Wild <i>et al.</i> , 2002)				non			x		Pas de mesure de fibre. Mesures de poussière. Exposition aux poussières élevée dans le passé. Pas d’augmentation de tendance avec la dose. Prise en charge partielle du tabagisme.
Autriche (Wild <i>et al.</i> , 2002) B				non		x			Très petit nombre (40 et 11). Informations sur l’exposition et sur les sites difficiles à interpréter.
C				non		x			
Italie (Coggiola <i>et al.</i> , 2003)			0	non			x		Données sur l’exposition très restreintes. Informations sur le tabagisme fragmentaires.
Tous les travailleurs des moulins				non			x		Aucune augmentation du risque de cancer du poumon chez les travailleurs des moulins.

Industries utilisatrices								
Zhang <i>et al.</i> (1989)				oui**		x		Manufacture de caoutchouc de Shanghai. Pas de précisions sur la nature fibreuse ou non fibreuse. Autres : agent de cuisson, volatils condensés, gaz, nitrosamines. Ajustement pour le tabagisme. Pas de données d'exposition sauf "travailler dans l'atelier de cuisson". Pas d'ajustement pour les autres agents confondants.
Chiazze <i>et al.</i> (1993)				non		x		Manufacture de fibre de verre. Exposition au talc exprimée en f/ml estimé. Tabagisme connu. Autres contaminants : amiante, silice, formaldéhyde.
Straif <i>et al.</i> (1999)				oui		x		Manufacture de caoutchouc allemande. Exposition : faible/moyenne/élevée à du talc non-fibreux. Sans ajustement pour l'exposition élevée au talc. Facteurs confondants : amiante et nitrosamines.
Straif <i>et al.</i> (2000)				non		x		Ajustement pour le tabagisme et autres agents non identifiés RR : 2,0 (0,9-4,1)
Langseth et Andersen (1999)				non		x		Poussière de papier contenant du talc. Autres contaminants : SO ₂ , H ₂ S, Cl ₂ , ClO ₂ Pas d'information sur le tabagisme.
Bulbulyan <i>et al.</i> (1999)				non		x		Imprimerie. Poussière de papier contenant du talc. Autres contaminants : Benzène, solvants, hydrocarbures aromatiques et noir de charbon. Pas d'informations sur le tabagisme.
Thomas, T.L. <i>et al.</i> (1987, 1990)				oui			x	Poterie. Risque augmente avec le nombre d'années d'exposition à du talc non-fibreux ce qui n'est pas observé avec la silice. Les effets confondants de la silice cristalline et du talc fibreux ne peuvent pas être complètement écartés.
Conclusion								
Moulin				non			x	Pas d'études de mortalité qui indiquent une augmentation du risque de cancer. Aucune des études citées n'a caractérisé les fibres non asbestiformes.
Talc + autres cancérogènes incluant les mines et les industries utilisatrices.				Possible		x		Peu d'études avec des informations adéquates sur l'exposition.

A : anomalies broncho-pulmonaires de différentes natures, P : pneumoconiose, M : mésothéliome, C : cancer du poumon, Ab : absente, F : faible, I : intermédiaire, É : élevée

* : indique le nombre de mésothéliome observé ;

** : chez les mâles.

Annexe B2. Articles scientifiques

B2.1 Gibbs et al. (1992)

Les buts de l'article de Gibbs *et al.* (tableau B4) consistaient à confirmer l'existence de la talcose à titre de maladie pulmonaire distincte et à observer une relation entre l'exposition et la rétention pulmonaire telle que déterminée par l'analyse minéralogique des tissus de 17 cas dont la plupart provenaient d'autopsie au décès causé ou associé à une fibrose pulmonaire. Les résultats supportent le diagnostic de « talcose » chez la plupart des travailleurs avec quelques cas de prépondérance du mica plutôt que du talc. L'amiante n'est présent qu'à faible concentration dans 6 cas (1 - 16 x 10⁶ fibres/g de tissu pulmonaire) (trémolite ; 2 cas, amosite : 1 et chrysotile : 3) alors que les particules fibreuses autres que l'amiante, selon la définition de l'OMS, variaient de 1 - 538 fibres x 10⁶ fibres/g. Les auteurs signalent l'utilité de l'analyse minéralogique pour étayer un diagnostic. Ils soulignent que les résultats supportent l'existence de la talcose chez les travailleurs du talc presque sans trémolite, mais que le lien de causalité doit être partagé avec différents minéraux.

Tableau B4 : Grille d'analyse – Articles – Gibbs et al (1992)

A. E. Gibbs, F. D. Pooley, D. M. Griffiths, R. Mitha, J. E. Craighead, and J. R. Ruttner. Talc pneumoconiosis: a pathologic and mineralogic study. <i>Hum Pathol</i> 23 (12):1344-1354, 1992.									
Buts : confirmer l'existence de la talcose, comparer l'exposition primaire, secondaire et tertiaire, observer une relation entre l'exposition et la rétention pulmonaire. Examen pathologique et minéralogique de 17 cas de "pneumoconioses au talc" ou talcose.									
Résumé	Risque significatif				Niveau de preuve				Remarques
	A	P	M	C	Ab	F	I	É	
		oui				x			Causalité partagée entre une variété de minéraux. Supporte l'existence de la talcose chez les travailleurs du talc presque sans trémolite.

A : anomalies broncho-pulmonaires de différentes natures, P : pneumoconiose, M : mésothéliome, C : cancer du poumon, Ab : absente, F : faible, I : intermédiaire, É : élevé

B2.2 Gamble (1993)

Cet article a été cité et discuté par l'ATS (tableau B1) avec la mention « non publié ». Il est présenté au tableau B5 par souci d'exhaustivité. Il s'agit d'une étude cas/témoins nichés dans une cohorte dont le but était d'évaluer l'effet potentiel de l'exposition mesurée par le nombre d'années en poste et des facteurs confondants, tels le tabagisme. Les 22 cas et 66 contrôles ont été appariés selon la date de naissance et la date d'embauche. Les cas étaient tous des fumeurs (91%) ou ex-fumeurs (9%) comparés aux contrôles qui étaient à 64% des fumeurs, 9% des ex-fumeurs et 27% des non-fumeurs. Des tendances de risques, qui étaient significatives dans les études précédentes, ont pris une pente négative, en corrigeant pour le tabagisme, pour une durée d'exposition plus grande que 20 ans et pour l'élimination des travailleurs de moins d'un an d'expérience. Les auteurs concluent à un risque de cancer du poumon relié au tabagisme plutôt qu'à des facteurs d'exposition à la poussière du minerai de talc.

Tableau B5 : Grille d'analyse – Articles – Gamble (1993)

J. F. Gamble. A nested case control study of lung cancer among New York talc workers. *Int Arch Occup Environ Health*. 64 (6):449-456, 1993.

Investigation sur les facteurs confondants. Exposition cumulative à être publiée.

Résumé	Risque significatif				Niveau de preuve				Remarques
	A	P	M	C	Ab	F	I	É	
				non		x			Augmentation du risque avec nombre d'années en poste qui acquiert une pente négative après ajustement pour le tabagisme. Pas de relation dose/exposition. Résultats plus congruents avec une étiologie au tabac plutôt qu'au talc.

A : anomalies broncho-pulmonaires de différentes natures, P : pneumoconiose, M : mésothéliome, C : cancer du poumon, Ab : absente, F : faible, I : intermédiaire, É : élevée

B2.3 Hull et al. (2002)

Hull et ses collaborateurs (tableau B6) rapportent, dans un court article, 5 nouveaux cas de mésothéliome dans les comtés de Jefferson et de St-Lawrence de l'État de New York, ce qui porterait à 8, selon eux, le nombre de cas identifiés dans l'État. Toutefois, l'article ne contient aucune description de l'histoire professionnelle. L'analyse minéralogique indique la similarité de charge pulmonaire entre les cas et les contrôles. Le contenu de cet article a été contesté par Gamble et Gibbs et par Price, dans la section B.3 « Autres publications ».

Tableau B6 : Grille d'analyse – Articles – Hull et al. (2002)

M. J. Hull, J. L. Abraham and B. W. Case. Mesothelioma among workers in asbestiform fiber bearing talc mines in New York State. *Ann. occup. Hyg.*, Vol. 46, Supplement 1, pp. 132–135, 2002

Rapporte 5 nouveaux cas de mésothéliome dans les comtés de Jefferson et de St-Lawrence de l'État de New York. Indique la similarité de charge pulmonaire entre les cas et les contrôles.

Résumé	Risque significatif				Niveau de preuve				Remarques
	A	P	M*	C	Ab	F	I	É	
			5			x			Rapport de cas (5) sans évaluation de risque sauf une augmentation de la tendance d'augmentation du nombre de mortalités par mésothéliome dans les comtés entre 1950 et 1997. Aucune mention de l'histoire professionnelle.

A : anomalies broncho-pulmonaires de différentes natures, P : pneumoconiose, M : mésothéliome, C : cancer du poumon, Ab : absente, F : faible, I : intermédiaire, É : élevée

* :indique le nombre de mésothéliome observé

B2.4 Roggli et al. (2002)

Roggli et ses collaborateurs (tableau B7) présentent les résultats des analyses minéralogiques de la rétention pulmonaire en fibres pour 312 cas de mésothéliomes. La microscopie électronique à balayage a

été utilisée. Des 312 cas, 166 contenaient de la trémolite dont 81 au-delà du bruit de fond, 193 cas montraient la présence de talc fibreux et 32 cas avaient du chrysotile. L’histoire professionnelle des cas avec des résultats en trémolite au-delà du bruit de fond, lorsqu’elle est connue (70/81), appartient au groupe des utilisateurs de produits contenant de l’amiante ou de leurs proches. Les auteurs concluent, entre autres, que les données sont compatibles avec la teneur de la charge pulmonaire en trémolite dont l’origine provient à la fois du talc et du chrysotile et que, les résultats ne supportent pas l’idée que la trémolite est éliminée durant le processus de broyage (traduction libre).

Tableau B7 : Grille d’analyse – Articles – Roggli *et al.* (2002)

V.L. Roggli, R.T. Vollmer, K.J. Butnor and T.A. Sporn. Tremolite and Mesothelioma. *Ann. Occup. Hyg.* **46**:447-453(2002).

Analyse de la charge pulmonaire en fibres de 312 cas de mésothéliomes.

Résumé	Risque significatif				Niveau de preuve				Remarques
	A	P	M	C	Ab	F	I	É	
			Oui *			x			Semble indiquer que la trémolite provenant du chrysotile et du talc pourrait être l’agent causal et que la trémolite n’est pas éliminée lors du broyage.

A : anomalies pleurales de différentes natures, P : pneumoconiose, M : mésothéliome, C : cancer du poumon, Ab : absente, F : faible, I : intermédiaire, É : élevée

* : étude minéralogique de 312 cas de mésothéliomes dont 193 montraient une présence de talc

B2.5 Honda *et al.* (2002)

Honda *et al.* rapportent le suivi jusqu'en 1989 des études de mortalité (tableau B8), citées par l'ATS (tableau B1), sur le talc trémolitique de classe industrielle provenant de mines et moulins du nord de l'état de New York. Ils obtiennent des SMR significatifs (232 (157-329)) pour le cancer du poumon et pour les NMRD (221 (147-320)) pour l'ensemble des travailleurs. Les cas de cancers du poumon sont concentrés chez les mineurs (394 (233-622)) et deviennent non significatifs chez les travailleurs du moulin (128 (51-223)), alors que l'excès de NMRD demeure constant dans les deux groupes. La poussière respirable est échantillonnée et mesurée pour tous les postes sans spécification de la composition. Les auteurs n'ont pas pu effectuer d'ajustement pour le tabagisme et autres facteurs confondants, faute d'information. Aucune relation n'a été observée entre la dose et le risque de cancer du poumon, mais il y existe une relation dose/effet entre les faiblement et les fortement exposés pour les fibroses. Les auteurs concluent à une relation avec l'exposition à la poussière du minerai de talc pour les NMRD (non malignant respiratory disease). Le niveau de la preuve a été limité à intermédiaire à cause des lacunes sur l'exposition et les facteurs confondants. Par contre, les auteurs ne concluent pas à cette relation pour l'excès de cancer du poumon, même s'il est significatif. Une des hypothèses qui expliquerait les résultats du cancer serait la présence d'un contaminant dont la concentration ne serait pas reliée aux résultats en poussière respirable.

Tableau B8 : Grille d'analyse – Articles – Honda (2002)

Y. Honda, C. Beall, E. Delzell, K. Oestenstad, I. Brill and R. Matthews. Mortality among Workers at a Talc Mining and Milling Facility *Ann. Occup. Hyg.* **46(7)**575-585, 2002

Étude de mortalité. Suivi jusqu'en 1989 des études, rapportées par l'ATS. Talc trémolitique de classe industrielle provenant de mines et moulins du nord de l'état de New York.

Résumé	Risque significatif				Niveau de preuve				Remarques
	A	P	M	C	Ab	F	I	É	
				non		x			Seulement la poussière respirable est échantillonnée et mesurée sans spécification de la composition. SMR significatif chez les mineurs seulement. Pas d'ajustement pour le tabagisme et autres facteurs confondants. Pas de relation entre la dose et le risque de cancer du poumon, mais relation dose/effet entre les faiblement et les fortement exposés pour les fibroses. Conclut à une relation avec l'exposition au talc pour les NMRD mais pas pour l'excès de cancer même s'il était significatif.
		oui					x		

A : anomalies broncho-pulmonaires de différentes natures, P : pneumoconiose, M : mésothéliome, C : cancer du poumon, Ab : absente, F : faible, I : intermédiaire, É : élevée

B2.6 Ramanakumar et al. (2008)

Dans les bases de données de deux grandes études cas/témoins à base populationnelle sur le cancer du poumon dans la région de Montréal, Ramanakumar *et al.* (tableau B9) ont pu extraire deux sous-populations de sujets exposés au cours de leur vie à du talc utilisé à des fins industriels ou cosmétiques. Les résultats de l'étude cas/témoin ne montrent aucun excès de risque de cancer du poumon chez les sujets exposés après ajustement pour le tabagisme et plusieurs autres facteurs confondants. Les tableaux tirés de l'article résument les résultats sur l'exposition (tableau B10) et le risque relatif rapproché (Odds Ratio : OR) (tableau B11). Les auteurs soulignent, parmi les limitations de leur étude, le faible nombre de travailleurs exposés à de fortes concentrations et le fait qu'il y ait plus d'utilisateurs que de mineurs ou de travailleurs des moulins. Les OR ont été ajustés pour l'âge, le revenu de la famille, l'ethnicité, le statut des répondants, la scolarité, le tabagisme en trois variables et au moins un des trois cancérigènes en milieu de travail (amiante, la silice cristalline et les composés du cadmium).

Tableau B9 : Grille d'analyse – talc trémolitique – Ramanakumar et al. (2008)

A.V. Ramanakumar, M.-É. Parent, B. Latreille and J. Siemiatycki. Risk of lung cancer following exposure to carbon black, titanium dioxide and talc : Results from two case-control studies. <i>Int. J. Cancer</i> . 122 : 183-189 (2008).									
Exposition évaluée par groupes d'experts à partir de l'historique professionnel. Source du talc non déterminée sauf industriel (présence indéterminée de fragments de clivage ou de fibres asbestiformes ou non asbestiformes) et talc cosmétique (sans contaminant).									
Résumé	Risque significatif				Niveau de preuve				Remarques
	A	P	M	C	Ab	F	I	É	Faible nombre de travailleurs exposés à de fortes concentrations. Plus d'utilisateurs que de producteurs de talc.
				non			x		

A : anomalies broncho-pulmonaires de différentes natures, P : pneumoconiose, M : mésothéliome, C : cancer du poumon, Ab : absente, F : faible, I : intermédiaire, É : élevée

**Tableau B10 : Prévalence d'exposition vie entière au talc
(adapté du tableau III de Ramanakumar *et al.*,2008)**

Exposition	Talc industriel		Talc cosmétique	
	n ¹	%	N ¹	%
Tous les sujets	5847	100,0	5847	100,0
Exposés	267	4,9	194	3,5
Niveau de confiance				
Possible	70	1,3	38	0,7
Probable	95	1,7	66	1,2
Certaine	102	1,9	90	1,6
Fréquence				
< 5%	34	0,8	49	0,9
5-30%	190	3,4	140	2,5
>30%	43	0,7	5	0,1
Concentration				
Faible	213	3,9	136	2,5
Médium	54	1,0	58	1,0
Élevée	0	0	0	0
Durée				
1-10 ans	110	2,0	90	1,6
11-20 ans	58	1,1	44	0,8
>20 ans	99	1,8	60	1,1

¹n et N : la différence entre les deux façons d'exprimer le nombre de cas n'est pas indiquée dans l'article

Tableau B11 : Odds ratios (OR) du cancer du poumon suite à une exposition au talc (adapté du tableau IV de Ramanakumar <i>et al.</i> (2008))		
Pas d'exposition	Ca/Co ¹	OR (95% IC ²)
Talc industriel		
Aucune exposition	67/127	1,0 (0,6-1,5)
Exposition non substantielle	49/92	1,0 (0,7-1,4)
Substantielle	18/35	0,9 (0,6-1,8)
Talc cosmétique		
Aucune exposition	53/98	0,9 (0,5-1,3)
Exposition non substantielle	47/74	1,0 (0,7-1,5)
Substantielle	6/24	0,7 (0,3-1,8)

¹ la signification de Ca/Co n'est pas indiquée dans le texte, il s'agit probablement des cas et des contrôles

² intervalles de confiance

B2.7 Wild *et al.* (2008)

Wild et ses collaborateurs (tableau B12) se sont fixés comme but d'examiner les effets sur la santé respiratoire de 378 travailleurs du talc, français et autrichiens, exposés à la poussière respirable du minerai de talc sans fibre d'amiante, à une concentration égale ou inférieure à 2 mg/m³. Ces travailleurs ont été surveillés à l'aide de la radiographie pulmonaire, de la spirométrie et d'un questionnaire standardisé. Des 438 participants, 378 ont été examinés au moins à deux reprises. Les critères d'inclusion acceptaient tous les travailleurs ayant œuvré durant 5 années consécutives entre 1988 et 2003. La prévalence de petites opacités radiologiques et des fonctions respiratoires était significativement reliée à l'exposition cumulative à l'inclusion mais n'était pas reliée à l'exposition durant la période de l'étude. Les expositions ont été évaluées à partir d'une matrice emploi/exposition en poussière respirable. Les auteurs concluent que « même si l'exposition préalable au talc à l'inclusion était associée à la diminution des fonctions respiratoires et à l'augmentation de la prévalence de petites opacités radiologiques, il n'y avait aucune évidence d'effets nuisibles suite à l'exposition au talc, telle que déterminée durant la période à l'étude, sur la fonction respiratoire et les petites opacités radiologiques. » (Traduction libre).

Tableau B12 : Grille d'analyse – Articles – Wild et al. (2008)

P. Wild, K. Leodolter, M. Réfrégier, H. Schmidt and E. Bourgard, Effects of talc dust on respiratory health : results of a longitudinal survey of 378 French and Austrian talc workers. *Occup. Environ. Med.* **65**:261-267(2008).

But : examiner les effets sur la santé respiratoire de la poussière de minerais de talc sans fibre d'amiante, à une concentration égale ou inférieure à 2 mg/m³.

Résumé	Risque significatif				Niveau de preuve				Remarques
	A	P	M	C	Ab	F	I	É	
	non						x		Diminution statistiquement significative des fonctions respiratoires et augmentation de la prévalence de petites opacités pulmonaires à l'inclusion. Aucune évidence d'effets adverses suite à l'exposition à la poussière de talc durant les 14,5 années de l'étude.

A : anomalies broncho-pulmonaires de différentes natures, P : pneumoconiose, M : mésothéliome, C : cancer du poumon, Ab : absente, F : faible, I : intermédiaire, É : élevée

Annexe B3. Autres publications

B3.1 OSHA (1992)

Aux États-Unis, en général, l'OSHA prend ses décisions sur la réglementation en établissant une proposition, suite à l'étude des connaissances scientifiques disponibles, en discutant cette proposition lors d'auditions d'experts et de témoignages d'individus ou organismes et finalement, en rédigeant la position finale de l'OSHA. Dans sa position finale qui traite, entre autres du talc, l'OSHA discute du cas spécifique de la mine et du moulin de talc provenant de l'État de New York. Devant les controverses sur l'identification des composantes minérales de cette mine et malgré les études et les présentations de NIOSH qui supporte l'excès de cancer causé par l'exposition, l'OSHA conclut qu'il n'y a pas de données suffisantes pour conclure sur la causalité des composantes non asbestiformes et qu'il n'y avait pas lieu de les réglementer en absence de preuve. Tout en reconnaissant que l'exposition à la mine peut causer des maladies respiratoires, tout spécialement des maladies respiratoires bénignes, il n'y a pas de données qui permettent de conclure sur la causalité des formes non asbestiformes d'anthophyllite, de trémolite et d'actinolite (ATA). Selon l'OSHA, dans cet état des connaissances, toute évaluation de risque, qualitative ou quantitative est impossible. À notre connaissance, cette position de l'OSHA n'a pas été modifiée depuis ce temps.

B3.2 Guthrie (1992)

Guthrie présente une revue des effets biologiques des minerais dont la poussière peut être inhalée par des travailleurs. Toutes les références ont déjà été citées par l'ATS, sauf l'article de Cullinan et McDonald (1990) qui rapporte, dans les actes d'une conférence, que le regroupement de sept études, trois avec du talc « pur » où il n'a pas eu d'excès de risque du cancer du poumon et quatre, tous à la mine de New York, avec du talc contaminé par des fibres minérales, où il y a risque de cancer du poumon et de mésothéliomes (0 à 2 cas). Cullinan et MacDonald concluent qu'il est improbable que le talc sans fibre minérale soit la cause de cancer du poumon ou de mésothéliome mais que de nouvelles études étaient nécessaires pour le confirmer. Guthrie associe les mineurs et travailleurs du moulin de la Nouvelle Angleterre à des articles de Brown and Wagoner, 1980 et de Leophonte and Didier, 1990, ce qui nous semble incorrect.

B3.3 Ilgren (2004)

Dès l'introduction, l'auteur indique qu'il a réuni toutes les évidences qui «démontrent que la toxicité des fragments de clivage respirables est tellement plus faible que celle des amphiboles fibreuses qu'à toute fin pratique, ils ne sont pas biologiquement nuisibles.» (Traduction libre). En plus des 141 références, l'article a recours à 24 références non publiées au nom d'Addison, et à 20 «communications personnelles» provenant de 10 scientifiques.

Dans la section sur l'épidémiologie qui s'intitule : « Les études épidémiologiques ne montrent pas d'association entre l'exposition aux fragments de clivage et les maladies liées à l'amiante » (traduction libre) », l'auteur présente six exemples reliés à l'extraction, la production ou l'utilisation du talc, soit : les mineurs de talc de la firme New York State Gouverneur Talc Company (GTC), les travailleurs de la fabrique américaine de peinture exposés au talc de la GTC, les travailleurs de poterie de céramique, les mineurs et travailleurs du moulin de Norvège, les mineurs et travailleurs du moulin d'Italie et les mineurs et travailleurs du moulin du Vermont.

Dans sa conclusion sur l'aspect épidémiologique, l'auteur écrit que « les études épidémiologiques de plusieurs dizaines de milliers de travailleurs exposés à des fragments de clivage dans diverses industries des secteurs primaires et secondaires, n'ont montré aucune évidence d'excès de cancers attribuables. » (Traduction libre)¹⁹.

B3.4 Gamble et Gibbs (2008)

Gamble et Gibbs décrivent leur démarche comme une comparaison externe de risque. Le but de l'étude est de comparer, autant que faire se peut, les risques de cancers (cancer du poumon et mésothéliome) des travailleurs exposés aux fragments de clivage d'amphiboles aéroportés et ceux des travailleurs exposés aux amphiboles analogues qui forment les fibres d'amiante.²⁰

Pour y parvenir, les auteurs comparent les risques de cancer du poumon et de mésothéliome, des populations de travailleurs:

- des dépôts de talc (New York et Norvège) qui contiennent de l'anorthosite, de la tré molite et des minéraux de transition non asbestiformes, de la mine d'or Homestake et de la mine de taconite (fer) qui contiennent de la grunérite (amphiboles non asbestiformes);
- des mines, moulins et des industries utilisatrices d'amosite, des mines d'anorthosite (contrôle positif);
- travailleurs exposés au talc sans amphibole du Vermont, de l'Italie, de la France et de l'Autriche (contrôle négatif).

La mortalité par cancer du poumon est ensuite analysée en fonction des expositions en nombre de fibres d'amiante et de fragments de clivage. Finalement, les risques de cancer du poumon et de mésothéliome de mines dont le minerai contient des fragments de clivage d'amphiboles sont comparés à des minerais qui ne contiennent ni amiante, ni fragments de clivage d'amphibole. Cette dernière démarche est équivalente à la démarche de Wild (tableau B3).

Gamble et Gibbs ont résumé les résultats de différentes études sur les mines de talc. Cette présentation a l'avantage de rapporter les NMRD de plusieurs cohortes de mineurs et de travailleurs du moulin. Les mines de New York (SMR significatif entre 2,21 et 2,88), du Vermont (11/3,67, SMR = 3,0 (1,50–5,36)), et de l'Italie (127/55,7, SMR = 2,28 (1,9–2,72)) présentent une hausse statistiquement significative des NMRD alors que la France, l'Autriche et la Norvège n'atteignent pas le seuil de signification. Les auteurs utilisent ces résultats pour confirmer que l'exposition à la poussière en France et en Autriche est relativement faible, mais ne peuvent expliquer les résultats en Norvège où les mesures d'exposition sont très élevées.

Le tableau B13 donne un suivi historique sur l'évolution des connaissances à la mine de talc de New York, qui est une mine dont le minerai contenant de l'amiante et/ou des fragments de clivage, a fait l'objet d'un grand nombre d'études. La connaissance sur la nature de l'exposition dans cette mine a aussi évolué au cours des années (voir tableau 3) et fait toujours l'objet de discussion (NIOSH, 2010).

¹⁹ En support à cette affirmation, la référence #15 de l'article s'intitule : Controls of amphibole formation in chrysotile deposits : evidence from the Jeffrey Mine. Williams-Jones A, Normand C, Clark J, Vali H, Martin, R. Asbestos, Quebec, Can. Min. (Spec. Pub. 5) 2001;89-104.

²⁰ Dans cette section, nous n'avons extrait de l'analyse de Gamble et Gibbs, que les informations de nature épidémiologique qui concernaient les fragments de clivage dans le talc.

Tableau B13 : Summary of results for lung cancer and mesothelioma from studies of NY talc workers			
Reference	Study characteristics	Lung cancer	Mesothelioma
Kleinfeld <i>et al.</i> (1967)	220 NY Talc Miners ≥ 15 years tenure in 1940; 1965 follow-up, 91 total deaths, PMR	PMR = 3.44 (1.65–6.3) (11 deaths)	1 peritoneal mesothelioma (1.1%)
Kleinfeld <i>et al.</i> (1974)	260 NY Talc Workers ≥ 15 years in 1940 or between 1940 and 1969; 108 total deaths, PMR, follow-up of Kleinfeld <i>et al.</i> (1967)	PMR resp cancer = 3.24 (1.72–5.54) (12 lung cancer, 1 fibrosarcoma of pleura)	1 peritoneal mesothelioma (0.93%)
Brown <i>et al.</i> (1979, 1980)	398 WM employed GTC 1947–1959, follow-up 1975; 18% <1 month, 24% 1–6 months, 50% <1 year; 44% <1950;	9/3.3 = 2.73 (1.25–5.18) (p < 0.05); 4 <1-year tenure	1/74 = 1.4% (16-year talc tenure, 11 years construction)
Stille and Tabershaw (1982)	655 WM employed GTC 1948–1978, vital status 1978;	10/6.4 = 1.57 (10 obs) Prior employment = 2.14 (8 obs) No prior work = 0.76 (2 obs)	
Lamm <i>et al.</i> (1988)	705 men employed GTC 1947–end 1977, vital status 1978	12/5 = 2.40 (1.24–4.19) >1 year 6/3.1 = 1.93 (0.71–4.20) prior risk = 3.08 (6/2) <1 year 6/1.9 = 3.16 (0.16–6.88) prior risk = 3.33 (3/0.9)	1 electrician 15-year latency; 20-years prior As miner, miller, construction
Brown <i>et al.</i> (1990)	710 WM employed at GTC 1947–1978 with vital status 1983; Not reported	17/8.2 = 2.07 (1.20–3.31) <1-year = 3.64 (1.54–7.04) 1–9 years = 0.83 (0.02–4.57) 10–19 years = 4.0 (0.54–16.1) 20–36 years = 1.82 (0.21–6.36)	
Gamble (1993)	22 lung cancer cases at GTC 1947–1978 matched 3:1 on data of birth and date of hire	OR lung cancer Tenure smokers >20-year latency <5 year 1.0 5–15 years 0.63 15–36 years 0.42	
Honda <i>et al.</i> (2002)	809 WM talc workers employed GTC 1948–1989 follow-up Cancer: 1950–1989 Non-cancer mortality = 1960–1989	mg/m ³ days RR (n) <95 1.0 (11) <987 0.8 (9) 987 + 0.5 (9) Hired: <1955 SMR 2.86 (0.9–4.1) Hired > 1955 SMR: 0. (0.2–2.4)	Two cases not considered causal due to short latency, Case 1 & Very low exposure, Case 2 (3.7%)

All but two of the studies (Kleinfeld *et al.*, 1967, 1974) were the same cohort of GTC workers.

Pn, pneumoconiosis; PMR : Proportional mortality ratio
Reproduit de Gamble et Gibbs (2008). Table A2, p. S182.

Dans la présentation de Gamble et Gibbs (2008), la mine de talc et le moulin norvégiens sont inclus dans la catégorie des minerais qui contiennent des traces de quartz, d'anthophyllite et de trémolite mais les petits nombres de travailleurs (94 mineurs et 295 travailleurs du moulin) ne permettent pas de tirer de conclusion définitive sur le fait qu'aucun risque significatif n'est observé pour les NMRD et le cancer du poumon. Aucun mésothéliome n'a été rapporté. L'absence de risque significatif pour les NMRD est inexplicable à cause de l'exposition élevée aux poussières qui devraient donner des risques significatifs par comparaison avec les autres mines et moulins de talc.

Les auteurs continuent leur analyse par la description des mines et moulins dont le minerai de talc ne contient pas d'amphibole, en Italie, en France et en Autriche. Les résultats, résumés à la figure 1, ne présentent pas d'augmentation de risque significatif, ce qui amène Gamble et Gibbs à **conclure que le talc « pur » ne cause pas d'augmentation de cancer du poumon ou de mésothéliome.**

Pour les auteurs, les résultats aux mines et moulins de New York et du Vermont sont toujours inexplicables. De plus, Gamble et Gibbs contestent l'attribution de mésothéliomes causés par la poussière du minerai de talc dans la publication de Hull *et al.* (2002) en raison de :

- Historique du travail inconnu;
- Analyse minéralogique de la rétention pulmonaire sur deux cas, insuffisante;
- La dimension des fibres dans ces deux cas correspondent à une exposition à l'amiante;
- Selon toute vraisemblance, les dimensions des fibres retenues dans le poumon ne correspondent pas aux grandeurs de fibres de la mine de talc de New York;
- Dans les cohortes, la population des travailleurs et l'exposition sont bien décrites et aucune association n'a été observée entre le talc ou les amphiboles asbestiformes et le mésothéliome en absence d'exposition possible à l'amiante. L'article de Hull est équivalent à une histoire de cas;
- La cohorte de vermiculite de Libby a clairement indiqué un risque de mésothéliome causé par la trémolite asbestiforme sans lien avec l'exposition à la trémolite non asbestiforme.

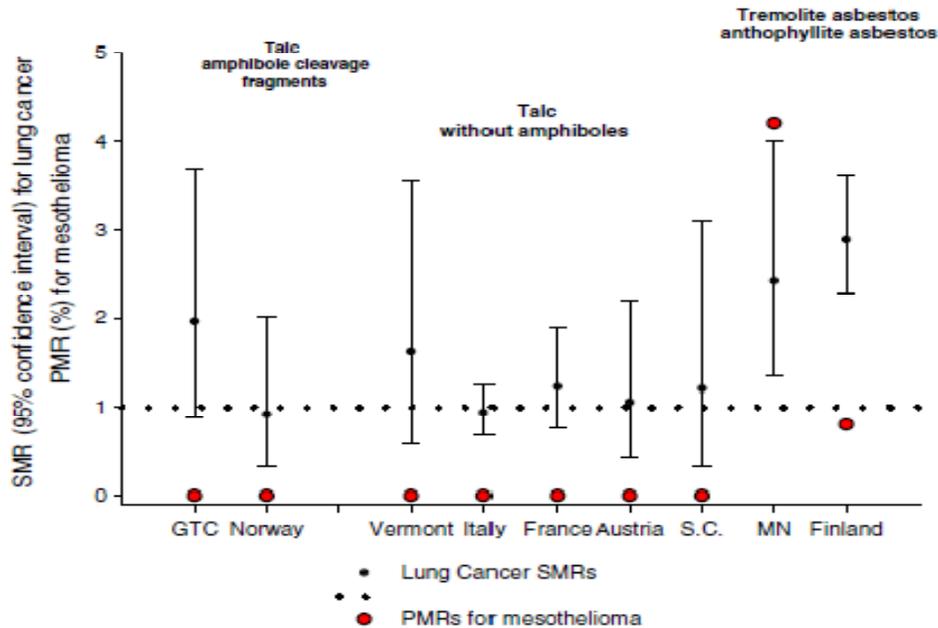


Fig. 6. Lung cancer and mesothelioma mortality in workers exposed to Talc containing non-asbestiform amphiboles in New York and Norway (Honda et al., 2002, Wergeland et al. (1990) Talc without amphiboles (Vermont, Italy, France/Austria) Selevan et al. (1979), Coggiola et al. (2003), Wild et al. (2002) and Vermiculite containing tremolite asbestos McDonald et al., 1986a,b Anthophyllite Asbestos (Karjalainen et al., 1994; Meurman et al., 1994).

Tiré de Gamble et Gibbs (2008) page S175

Figure 1 : Cancer du poumon et mortalité par mésothéliome des travailleurs de l'État de New York et de Norvège

B3.5 Price (2010)

L'article de Price vise à démontrer que les amiantes amphiboles ont été incorrectement identifiés par les organismes publics et que l'association de causalité entre le talc de New York et les mésothéliomes est fautive. L'auteur a effectué un suivi de la cohorte de Honda *et al.* (2002) (RTV's Gouverneur, NY, mine) de 1989 à 2008. Il argumente que les deux mésothéliomes rapportés par Honda sont à la fois des diagnostics douteux et non-reliés à l'exposition au talc. Quant aux cinq mésothéliomes rapportés par Hull *et al.* (2002), il indique qu'un cas réfère à un mineur actif pour une courte période et que, suite à une expertise (Dr. E Rubin), les quatre autres cas sont des réclamations dont le diagnostic est questionnable. En résumé, la cohorte de RTV Gouverneur ne comporterait qu'un seul mésothéliome au lieu des huit rapportés par Honda et Hull. Ainsi le PMR serait de 0,17 ce qui est 10 fois plus faible que les mines d'amiante avec exposition aux amphiboles et trop faible pour supporter un lien de causalité avec l'exposition au talc de RTV.

ANNEXE C : TABLEAUX TIRÉS DE WILD ET AL. (2006) ²¹

²¹ Downloaded from oem.bmj.com on June 9, 2010

Tableau C1 : Summary characteristics of talc exposed populations in talc producing companies

Study	Cohort definition	Talc exposure	Other	Smoking
Selevan <i>et al</i> , talc miners ⁴	All male talc miners radiographed in annual surveys of workers in dusty trade in Vermont (US), from five companies with at least one year employment between 1940 and 1969, followed up from 1940–75	No information Levels >20 mppcf not uncommon	Radon (up to 1.2 WL = 240 pCi/l), possibly tremolite	No information
Selevan <i>et al</i> , talc millers ⁴	All male talc millers radiographed in annual surveys of workers in dusty trade in Vermont (US), from five companies with at least one year employment between 1940 and 1969, followed up from 1940–75	No information Levels >20 mppcf not uncommon	None, quartz <0.25%	No information
Wergeland <i>et al</i> , talc miners ¹⁵	All male employees from a Norwegian mine with at least one year employment between 1944 and 1972 followed up from 1953–87	In 1980: 0.94–97.35 mg/m ³ peak at 319 mg/m ³ 0.2–0.9 f/ml	3.5 pCi/l radon	76% smokers in 1981
Wergeland <i>et al</i> , talc millers ¹⁵	All male employees from a Norwegian talc mill with at least two years employment between 1935 and 1972 followed up from 1953–87	In 1980: 1.4–54.1 mg/m ³ peak at 109 mg/m ³ 0.2–0.9 f/ml	None	No information
Wild <i>et al</i> , French talc millers ²¹	All male employees from a French talc mill (site A) with at least one year employment between 1945 and 1994 followed up from 1968–95	>30 mg/m ³ in production until the 1970s, 5–30 mg/m ³ until 1990, <5 mg/m ³ since except some dusty jobs	None, quartz <3%. Some workers had past quartz exposure in former jobs	59% present smokers in 1989; 39% in a French population survey in 1986
Wild <i>et al</i> , Austrian talc millers and miners ²¹	All male workers of an Austrian talc producing company having been employed at least one year in three mines (site B to D) and mills or in the head office (site E) between 1972 and 1995 followed up from 1972–95.	>30 mg/m ³ in sites B and C before 1960 and for millers in D 1970–80, 5–30 for millers 1960–80, <5 since 1980	Quartz (and no talc) in site D and in miners of site B until 1960 Elsewhere quartz <3%	42% smokers in 1988; 16% ex-smokers in site B
Coggiola <i>et al</i> , Italian talc miners ²²	All male employees from Italian talc mine with at least one year employment between 1946 and 1995 followed up from 1946–95	Decreased from more than 200 mppcf in 1950 to less than 5 mppcf in 1965 (Rubino 1979)	High quartz in the past. Radon in 1992, 500 Bq/m ³ = 13.5 pCi/l	47% smokers in 1993; 34% in an adult Italian population survey in 1994
Coggiola <i>et al</i> , Italian talc millers ²²	All male employees from Italian talc mill with at least one year employment between 1946 and 1995 followed up from 1946–95	Decreased from about 20 mppcf until 1960 to about 5 mppcf in 1975 (Rubino 1979). In 1993 1.3 mg/m ³ (personal communication)	None Quartz <1%	44% smokers in 1993; 34% in an adult Italian population survey in 1994

Tableau C2 : Summary characteristics of talc exposed populations in other industries

	Cohort definition	Talc exposure	Other	Smoking
Thomas <i>et al</i> , pottery workers ^{12 13}	All employees of three US ceramic factories with one year employment 1939–66 followed up from 1955–81	No, non-fibrous, fibrous	Quartz high/low	No information
Zhang <i>et al</i> , rubber workers ¹⁴	Employees (male and female) of a Shanghai rubber factory who entered a screening program for heart disease in 1972 followed up from 1972–84	Exposure during curing. No precision as to whether fibrous or not fibrous	Curing agents, condensed volatiles, gases, nitrosamines	Available for everybody, controlled in the analysis
Chiazze <i>et al</i> , fibreglass workers ¹⁶	Production and maintenance workers employed at least one year in a Ohio fibreglass plant from 1940–62, followed up until 1982	Expressed in estimated f/ml. No precision as to whether fibrous or not fibrous	Asbestos, silica, formaldehyde,	Available for everybody, controlled in the analysis
Straif <i>et al</i> , rubber workers ^{17 18}	All male employees from five German rubber plants with at least one year employment retired or active in 1981 followed up from 1981–91	Low/medium/high Non-fibrous talc	Asbestos, nitrosamines, carbon black	No information
Langseth and Andersen, paper workers ²⁰	All female employees of a pulp and paper mill working at least one year between 1920–93 followed up for cancer incidence from 1953–93	As a constituent of paper dust in the paper departments	Paper dust, sulphur dioxide, hydrogen sulphide, chlorine, chlorine dioxide	No information
Bulbulyan <i>et al</i> , printing workers ¹⁹	All female employees of two printing plants working at least two year between 1978–93 followed up for cancer incidence from 1979–93	As a constituent of paper dust in the book binding department and among press operators	Paper dust, benzene, solvents, aromatic hydrocarbons, carbon black	No information

Tableau C3 : Lung cancer and mortality from all causes in the talc producing companies

	n	Lung cancer		Mortality, all causes	
		Type of RR	RR (cases)	95% CI	SMR (cases)
Talc millers					
Vermont ⁴	225	SMR US rates	1.02 (2)	0.09–3.69	1.18 (44)
Norway ¹⁵	295	SIR Norwegian rates	0.77 (4)	0.21–1.96	0.74 (90)
Italy ²²	551	SMR regional rates	0.69 (11)	0.34–1.23	1.08 (290)
France ²¹	945	SMR regional rates	1.24 (21)	0.76–1.89	0.93 (294)
Austria, site B		SMR regional rates	0.69 (3)	0.14–2.01	0.70 (40)
Austria, site C		SMR regional rates	1.11 (1)	0.01–6.19	0.97 (11)
All talc millers—fixed effect			0.92 (42)	0.67–1.25	0.95 (769)
Talc miners					
Vermont ⁴	163	SMR US rates	4.35 (5)	1.40–10.2	1.28 (34)
Norway ¹⁵	94	SIR Norwegian rates	1.58 (2)	0.18–5.69	0.82 (27)
Italy ²²	1244	SMR regional rates	1.07 (33)	0.74–1.50	1.26 (590)
All talc miners—fixed effect			1.20 (40)	0.86–1.63	1.24 (651)
All talc miners—random effect			1.85 (40)	0.68–5.05	1.10 (651)

RR, relative risk; SIR, standardised incidence ratio; SMR, standardised mortality ratio.

Tableau C4 : Lung cancer relative risks in relation to talc exposure in other industries

Table 4 Lung cancer relative risks in relation to talc exposure in other industries				
	n	Lung cancer		
		Type of relative risk	RR (exposed cases)	95% CI
Ceramic industry, US ^{12, 13}	2055	SMR ever exposed to non-fibrous talc and high silica (US rates)—unadjusted	2.54 (21)	1.57–3.88
		SMR exposed to 15+ years non-fibrous talc and high silica (US rates)—unadjusted	3.64 (8)	1.57–7.17
Rubber industry, China ¹⁴	1624	Mantel-Haenszel RR (rubber curing adjusted on smoking)	Males 3.3 (7)	1.3–8.2
Rubber industry, Germany ^{17, 18}	8933	Internal RR (high talc exposure unadjusted)	Females 4.6 (2)	0.8–28.0
		Internal RR (high talc or asbestos exposure adjusted on smoking and other exposures)	2.4 (13)	1.2–4.9
Glass fibre production, US ¹⁶	144 cases, 280 controls	OR (high talc exposure adjusted on smoking and other exposures)	2.0 (13)	0.9–4.1
Printing industry, Russia ¹⁹	1795	OR (high talc exposure adjusted on smoking and other exposures)	1.36 (10)	0.41–4.52
Pulp and paper mill, Norway ²⁰		SMR (in press operators and in bookbinders exposed to paper dust potentially containing talc)	1.0 (6)	0.35–2.18
		SIR (all workers with more than three years employment, at least 44% of which have been exposed to paper dust potentially containing talc)	1.4 (14)	0.70–2.16

OR, odds ratio; RR, relative risk; SIR, standardised incidence ratio; SMR, standardised mortality ratio.

ANNEXE D : TABLEAUX ADAPTÉS DU CIRC (2010)

Tableau D1 : Cohort studies of mortality from and incidence of lung cancer in populations occupationally exposed to non-asbestiform talc

Reference, location	Cohort description	Exposure assessment	Organ site	Exposure categories	Cases/deaths	Relative risk (95% CI)	Adjustment factors; comments
Rubino <i>et al.</i> (1976), Germanesca and Chisone valleys (Piedmont), Italy	1992 male talc workers (1514 miners, 478 millers) employed >1 year in talc exposed job during 1921–1974; hired 1921–1950; mortality follow-up, 1921–74; vital status, 90%; cause of death: 95% of exposed workers, 95% of controls	Occupational history from plant records; respirable dust measurements, 1948–1974; quantitative estimation of cumulative exposure for individual workers, expressed as summed product of duration (years) and exposure (million particles per cubic foot, mppcf); classification of workers into 3 levels of exposure	Lung, bronchus and trachea	All miners All millers <i>Miners (mppcf-years)</i> Level 1: 566–1699 Level 2: 1700–5665 Level 3: 5666–12750 <i>Millers (mppcf-years)</i> Level 1: 25–141 Level 2: 142–424 Level 3: 425–906	9 4 3 1 5 3 1 0	SMR 0.5 (0.2–0.9) 0.6 (0.2–1.6) 1.1 (0.6–1.7) 0.5 (0.7–2.3) 1.1 (0.4–1.3) 1.7 (0.3–4.9) 1.25 (0–7.0) –	Adjusted for age; comparison with unexposed, age-matched controls from neighbouring rural town; controls matched on vital status at date of entry into study; miners and millers exposed to a very pure form of talc; miners also exposed to inhalable silica; significantly elevated SMRs for silicosis with and without tuberculosis among miners; estimates increased with increasing cumulative exposure; no observed cases of mesothelioma; no smoking data for exposed workers or unexposed controls

Table D1 (Contd)							
Reference, location	Cohort description	Exposure assessment	Organ site	Exposure categories	Cases/deaths	Relative risk (95% CI)	Adjustment factors; comments
Rubino <i>et al.</i> (1979), Germanesca and Chisone valleys (Piedmont), Italy	1678 male talc workers (1260 miners, 418 millers); mortality follow-up, 1946–74	Same exposure categories as Rubino <i>et al.</i> (1976)	Lung	All miners	8	SMR 0.5 (0.2–0.9)	Re-analysis of cohort reported in Rubino <i>et al.</i> (1976); SMRs recalculated using national death rates instead of comparison with neighbouring rural population; national death rates available only from 1951 onward; rates for 1951 were applied for 1946–50
				All millers	4	0.7 (0.2–1.7)	
				<i>Miners (mppcf–years)</i>	2	0.5 (0–1.9)	
				Level 1: 566–1699	1	0.2 (0.5–1.2)	
				Level 2: 1700–5665	5	0.6 (0.2–1.4)	
				Level 3: 5666–12750			
				<i>Millers (mppcf–years)</i>	3	2.0 (0.4–5.8)	
				Level 1: 25–141	1	0.7 (1.7–3.7)	
				Level 2: 142–424	0	–	
				Level 3: 425–906			
Selevan <i>et al.</i> (1979), Vermont, USA	392 white male talc workers (163 miners, 225 millers) employed >1 year between 1940 and 1969; mortality follow-up: date of first radiogram, 12-month employment anniversary or January 1940, whichever was later; follow-up through 1975; vital status: 99%; cause of death: 94%	Historical insufficient information to calculate cumulative exposure histories; cohort classified into two work areas: mining and milling.	Respiratory cancer	Total cohort Millers Miners	6 2 5	SMR [1.6 (0.6–3.5)] [1.0 (0.1–3.7)] [4.3 (1.4–10.1)]	Adjusted for age, sex, race, calendar year; US death rates: 1940–67; linear extrapolation for all causes of death: 1967–69. Vermont death rates for specific causes of death: 1949–75; workers selected from annual radiographic survey of dusty trades; no data on smoking habits for millers or miners; exposure to radon daughters in mine; radiographic evidence of pneumoconiosis in most workers who died from non-malignant respiratory disease

Table D1 (Contd)								
Reference, location	Cohort description	Exposure assessment	Organ site	Exposure categories	Cases/deaths	Relative risk (95% CI)	Adjustment factors; comments	
Wergeland <i>et al.</i> (1990), northern and western Norway	389 male talc-exposed workers (94 miners, 295 millers) employed >1 year in mine (1944–72) or >2 years in mill (1935–72); mortality and cancer incidence follow-up; 1953–87	Subjective assessment of exposure by experienced colleagues; workers classified by total duration of employment in jobs with low, medium, high and unknown exposure	Lung	<i>Total cohort</i>	6	SIR 0.9 (0.3–2.0) [1.6 (0.2–5.7)] [0.8 (0.2–2.0)]	Adjusted for age, smoking (miners only); national death rates: 1953–87; main minerals in mined talc deposit were talc and magnesite; 90% of raw material for mill from mine; 10% from India; no information on smoking habits for millers; smoking habits for miners above national average; low levels of exposure to radon daughters	
				<i>Miners</i>	2			
				<i>Millers</i>	4			
				<i>Years employed</i>				
				<i>1–4</i>	0	–		
				<i>5–19</i>	3	[1.0 (0.2–3.0)]		
				<i>>20</i>	3	[1.0 (0.2–3.0)]		
				<i>Years since first employment</i>				
				<i>1–19</i>	2	[1.1 (0.1–4.1)]		
<i>20–29</i>	1	[0.5 (1.3–2.8)]						
<i>>30</i>	3	[1.1 (0.2–3.2)]						

Table D1 (Contd)							
Reference, location	Cohort description	Exposure assessment	Organ site	Exposure categories	Cases/deaths	Relative risk (95%CI)	Adjustment factors; comments
Wild (2000), Luzenac, France	1160 talc workers (1070 men, 90 women) actively employed in 1945 or hired during 1945–94 and employed >1 year; mortality follow-up, 1945–96; vital status: 97%; cause of death: 74% pre-1968 and 98% post-1968	Exposures assessed for case–control study; semi-quantitative, site-specific job-exposure matrix based on personal dust measurements (1986 onwards) and subjective assessments by experienced workers; workers assigned to four categories of exposure: no exposure, ambient (<5 mg/m ³), medium (5–30 mg/m ³) and high(>30 mg/m ³); exposure prior to hiring also coded: none, probable exposure to quartz, certain exposure to quartz, exposure to other carcinogens.	Lung	<i>Male talc workers</i>		SMR	Adjusted for age, sex, smoking, prior exposure to quartz (case–control study only); partial overlap of study population with Leophonte <i>et al.</i> (1983) and Leophonte and Didier (1990); extent of overlap unknown; national mortality rates applied: pre- and post-1968; regional mortality rates applied: post-1968: excess mortality from lung cancer disappeared when national rates applied
				Post-1968 (regional rates)	21	1.2 (0.8–1.9)	
				Post-1968 (national rates)	21	0.9 (0.6–1.4)	
				Men <60 years of age	7	2.0 [0.8–4.0]	
Latency period <20 years	5	2.4 [0.8–5.6]					
Duration of employment <10 years	8	2.1 [0.9–4.1]					

Table D1 (Contd)							
Reference, location	Cohort description	Exposure assessment	Organ site	Exposure categories	Cases/deaths	Relative risk (95% CI)	Adjustment factors; comments
Wild (2000) (contd)	Nested case-control study: lung cancer, non-malignant pulmonary disease and stomach cancer; three randomly selected controls per case; lung cancer: 23 cases, 67 controls	Cumulative exposure estimates (mg/m ³ -years) for individual workers	Lung	Unexposed <100 mg/m ³ -years 100-400 mg/m ³ -years 400-800 mg/m ³ -years >800 mg/m ³ -years Per 100 mg/m ³ -years	6 5 6 3 3 23	Odds ratio 1.0 1.4 2.2 0.7 0.9 1.0 (0.9-1.1)	Unadjusted odds ratio; no increasing trend with increasing cumulative exposure; information on smoking habits available for 52% of cases and 75% of controls. Assumes a linear trend
Wild <i>et al.</i> (2002), Luzenac, France (1 site), and Styrian Alps, Austria (4 sites)	Austrian cohort: 542 male talc workers employed >1 year during 1972-95; mortality follow-up, 1972-1995; vital status: 97%; French cohort: as described under Wild (2000)	Austrian cohort: semi-quantitative, site-specific job-exposure matrix based on personal dust measurements (1988-92) and descriptions of workplaces from management and long-term workers; workers assigned to four categories of exposure: no exposure, ambient (<5 mg/m ³), medium (5-30 mg/m ³) and high (>30 mg/m ³); other exposures coded: quartz, other carcinogens, underground work	Lung	French cohort Austrian cohort	21 7	SMR 1.2 (0.8-1.9) 1.1 (0.4-2.2)	Adjusted for age, calendar year, smoking, exposure to quartz, exposure to other carcinogens, underground work (case-control study); study population overlaps with that of Wild (2000); French SMRs calculated by comparison with regional rates, 1968-95; Austrian SMRs calculated by comparison with regional rates, 1972-1995; Austrian smoking information obtained from unpublished mortality studies on pneumoconiosis, from colleagues, from workers' compensation records; no missing information on smoking habits in Austrian cohort

Table D1 (Contd)							
Reference, location	Cohort description	Exposure assessment	Organ site	Exposure categories	Cases/deaths	Relative risk (95% CI)	Adjustment factors; comments
Wild <i>et al.</i> (2002) (contd)	Nested case-control study: lung cancer, non-malignant respiratory disease; three randomly selected controls per case; lung cancer: 23 cases, 67 controls (France); 7 cases, 21 controls (Austria)	Cumulative exposure estimates (mg/m ³ -years) assigned to individual workers by occupational physician using work histories abstracted from company records	Lung	Unexposed ≤100 mg/m ³ -years 101-400 mg/m ³ -years 401-800 mg/m ³ -years >801 mg/m ³ -years Per 100 mg/m ³ -years	9 6 7 5 3 30	Odds ratio 1.0 0.9 1.1 0.6 0.7 1.0 (0.9-1.1)	Unadjusted odds ratio; no trend observed with increasing cumulative exposure; trend not affected by adjusting for smoking, quartz exposure, underground work or by lagging the exposure estimate. Assumes a linear trend
Coggiola <i>et al.</i> (2003), Piedmont, Italy	Cohort of 1974 male talc workers employed >1 year in mine or mill during 1946-95; mortality follow-up, 1946-95; loss to follow-up, 9%; analysis based on 1244 miners, 551 millers	Detailed job histories from plant records; workers classified on basis of job held (miner versus miller), duration of exposure (years) and time since first exposure (years)	Lung cancer	Total cohort Miners Millers <i>Years since first exposure</i> <20 20-30 >30	44 33 11 6 10 28	SMR 0.9 (0.7-1.3) 1.1 (0.7-1.5) 0.7 (0.3-1.2) 1.1 (0.4-2.3) 1.0 (0.5-1.8) 0.9 (0.6-1.3)	Adjusted for age, calendar period; study population overlaps with that of Rubino <i>et al.</i> (1976, 1979); national death rates used for pre-1970 period; rates for early 1950s used for 1946-49; regional rates used for 1970-95, except for cancers of oral cavity, oesophagus and suicide (regional rates unavailable, national rates used); no information on smoking habits; no variation in lung cancer by duration of exposure
CI, confidence interval; mppcf, million parts per cubic foot; SIR, standardized incidence ratio; SMR, standardized mortality ratio							

Tableau D2 : Cohort studies of mortality from and incidence of lung cancer in workers occupationally exposed to non-asbestiform talc in user industries							
Reference, location	Cohort description	Exposure assessment	Organ site	Exposure categories	Cases/deaths	Relative risk (95% CI)	Adjustment factors; comments
Manufacture of ceramic plumbing fixtures							
Thomas & Stewart (1987), USA, 5 plants in 1 company	2055 white men employed >1 year, 1939–66; mortality follow-up through to 1 Jan. 1981; vital status, 96%	Exposure to silica and talc assessed qualitatively by job title–department by industrial hygienist	Lung cancer	Total cohort High silica High silica+non-fibrous talc High silica+non-fibrous talc+fibrous talc High silica+no talc	52 44 21 5 18	SMR 1.4 [1.1–1.9] 1.8 [1.3–2.4] 2.5 [1.6–3.9] 1.7 [0.6–4.0] 1.4 [0.8–2.2]	Crystalline silica was the major exposure; also exposure to non-fibrous and fibrous talc
Rubber manufacturing industries							
Straif <i>et al.</i> (1999), Germany, 5 rubber production plants	8933 male blue collar workers hired after 1 Jan. 1950 and alive 1 Jan. 1981; follow-up, 1 Jan. 1981 to end of 1991; cause of death known for 97% of 1521 deceased	Work histories reconstructed from cost centre codes	Lung cancer		154	SMR 1.2 (1.0–1.4)	SMRs calculated from national death rates
Straif <i>et al.</i> (2000), Germany, 5 rubber production plants	Same as that of Straif <i>et al.</i> (1999)	Same as Straif <i>et al.</i> (1999) plus semi-quantitative cumulative exposure (low, medium, high) to asbestos, talc, nitrosamines, carbon black for 95% of cohort		High talc Medium talc	21 41	1.9 (1.1–3.1) 1.1 (0.8–1.6)	Unadjusted; reference: low exposure to talc
CI, confidence interval; mppcf, million parts per cubic foot; SIR, standardized incidence ratio; SMR, standardized mortality ratio							