

Amiante

Fiche toxicologique n°145 - Edition Avril 2025

Généralités

Etat naturel et extraction [1 à 3]

Le terme « amiante » ou « asbeste » recouvre une série de fibres minérales naturelles, appartenant aux groupes minéralogiques des serpentines ou des amphiboles. Les serpentines ne comportent qu'une variété d'amiante : le chrysotile (amiante blanc). Le groupe des amphiboles comprend cinq variétés d'amiante : la crocidolite (amiante bleu), l'amosite (amiante brun), la trémolite-amiante, l'actinolite-amiante et l'anthophyllite-amiante. La réglementation pour la protection de la population ainsi que celle des travailleurs vise ces six variétés d'amiante.

Environ un million de tonnes d'amiante sont toujours produites annuellement dans le monde. Le chrysotile est la variété la plus courante. Les exploitations de chrysotile les plus importantes, en 2023, sont situées en Russie (630 000 T), au Kazakhstan (260 000 T), en Chine (200 000 T) et au Brésil (190 000 T) [4]. D'autres gisements existent au Zimbabwe et en Afrique du Sud. La mine française de chrysotile située en Corse n'est plus exploitée depuis 1965. Le Canada a cessé l'extraction d'amiante en 2011 et le gouvernement a annoncé l'interdiction d'utilisation et d'importation sur son territoire depuis 2018. Aux Etats-Unis, l'EPA (Agence de protection de l'environnement) a annoncé l'interdiction de l'amiante en 2024, avec une application progressive jusqu'en 2037 pour certains matériaux et secteurs d'activité.

Les amphiboles ayant donné lieu à exploitation industrielle sont l'amosite, la crocidolite et l'anthophyllite-amiante. Extraites en Afrique du Sud et en Finlande, elles ne représentent pas plus de 5 % de la production mondiale d'amiante.

Formule chimique

Chacune des 6 variétés d'amiante possède au moins un homologue non asbestiforme dont la composition chimique est identique [5].

Amiante - Asbestiforme	Composition chimique	Homologue Non Asbestiforme
Chrysotile (blanc)	$[Mg_3Si_2O_5(OH)_4]$	Antigorite Lizardite
Crocidolite (bleu)	$[Na_2(Fe^{2+},Mg)_3Fe^{3+}_2Si_8O_{22}(OH)_2]$	Riébeckite
Amosite (brun)	$[(Mg,Fe^{2+})_7Si_8O_{22}(OH)_2]$	Grunérite
Trémolite-amiante	$[Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2]$	Trémolite
Actinolite-amiante	$[Ca_2(Mg,Fe^{2+})_5Si_8O_{22}(OH)_2]$	Actinolite
Anthophyllite-amiante	$[(Mg,Fe^{2+})_7Si_8O_{22}(OH)_2]$	Anthophyllite

Seules les morphologies asbestiformes font l'objet d'une réglementation. Cependant, soumis à une contrainte mécanique, les formes non asbestiformes peuvent se cliver et libérer des particules plus ou moins allongées appelées « fragments de clivage », ayant alors des critères dimensionnels similaires aux fibres d'amiante (cf. § Propriétés physiques).

Définition des caractéristiques dimensionnelles des fibres d'amiante

Une fibre se définit comme une particule ayant un rapport longueur / diamètre (L/D) supérieur à 3, et des côtés approximativement parallèles.

Les différents types de fibres sont définies selon les caractéristiques dimensionnelles suivantes :

- fibres « OMS » (susceptible d'être inhalée, telles que définies par l'Organisation Mondiale de la Santé) : longueur $L > 5 \mu m$, diamètre $D < 3 \mu m$ et rapport $L/D > 3$
- fibres fines d'amiante (FFA) : longueur $L > 5 \mu m$, diamètre $D < 0,2 \mu m$ et rapport $L/D > 3$
- fibres courtes d'amiante (FCA) : longueur $L \leq 5 \mu m$, diamètre $D < 3 \mu m$ et rapport $L/D > 3$

Que ce soit en « santé publique » ou en « santé au travail », les fibres réglementairement prises en compte sont celles de dimensions des fibres « OMS » et intégrant les fibres fines d'amiante (FFA) (cf. § Méthodes d'évaluation de l'exposition professionnelle). Les fibres courtes d'amiante ne sont pas comptabilisées.

Substance(s)

Nom	Détails	
Chrysotile	Numéro CAS	12001-29-5
	Numéro index	650-013-00-6
Amosite	Numéro CAS	12172-73-5
	Numéro index	650-013-00-6

Crocidolite	Numéro CAS	12001-28-4
	Numéro index	650-013-00-6
Trémolite-amiante	Numéro CAS	77536-68-6
	Numéro index	650-013-00-6
Actinolite-amiante	Numéro CAS	77536-66-4
	Numéro index	650-013-00-6
Anthophyllite-amiante	Numéro CAS	77536-67-5
	Numéro index	650-013-00-6
Amiante	Numéro CAS	132207-32-0
	Numéro index	650-013-00-6

Etiquette



AMIANTE

Danger

- H350 - Peut provoquer le cancer
- H372 - Risque avéré d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée

Les conseils de prudence P sont sélectionnés selon les critères de l'annexe 1 du règlement CE n° 1272/2008.

- Selon l'annexe VI du règlement CLP. Cet étiquetage harmonisé et la classification associée sont d'application obligatoire. Cette classification harmonisée doit être complétée le cas échéant par le metteur sur le marché (autoclassification) et la substance étiquetée en conséquence (cf. § "Classification et étiquetage" du chapitre "Réglementation").
- Attention : pour la mention de danger H372, se reporter au paragraphe « Classification et étiquetage » du chapitre « Réglementation ».

Caractéristiques

Utilisations

[6]

La fabrication, la transformation, l'importation, la mise sur le marché et la cession, à quelque titre que ce soit, de tout produit contenant de l'amiante sont interdites en France depuis le 1^{er} janvier 1997 (décret n°96-1133 du 24 décembre 1996), au titre de la protection de la population et des travailleurs. Les dérogations accordées à titre exceptionnel et temporaire ont pris fin au 1^{er} janvier 2002, à l'exception de celles concernant la vente ou la cession, à quelque titre que ce soit, des véhicules automobiles d'occasion et des véhicules, matériels et équipements agricoles et forestiers d'occasion, sous réserve que les plaquettes de frein ne contiennent pas d'amiante.

Auparavant, plusieurs décrets réduisaient déjà le nombre des applications possibles de l'amiante :

- mars 1978 : interdiction du flocage contenant plus de 1 % d'amiante dans les bâtiments ;
- avril 1988 : interdiction de produits à base d'amiante visant surtout la sécurité du grand public (jouets, articles pour fumeurs...) ;
- juillet 1994 : interdiction de tous les produits contenant des amphiboles ainsi que de nombreux usages du chrysotile.

Les produits à base d'amiante comprenaient principalement :

- les produits d'amiante-ciment (plaques ondulées, tuiles, ardoises de toiture), plaques et panneaux de cloisons intérieures, canalisations ;
- les produits textiles (cordes ou tresses, joints ou bourrelets d'étanchéité et de calorifugeage, vêtements de protection contre la chaleur, presse-étoupes, filtres) ;

- les garnitures de friction (freins et embrayages de véhicules automobiles et ferroviaires, ascenseurs, moteurs et machines diverses) ;
- le papier-carton pour l'isolation thermique ou électrique ;
- des produits divers (amiante imprégné de résines, compensateurs de dilatation, évaporateurs, diaphragmes pour électrolyse, embouts de remplissage de bouteilles d'acétylène, revêtements de sols, composés bituminés, enrobés routiers).

Pour ces usages, le chrysotile était de loin la variété la plus répandue. Dans le groupe des amphiboles, seules l'amosite et la crocidolite ont eu une importance commerciale en France.

Propriétés physiques

[1 à 3]

L'amiante, matière naturelle, se distingue des matières fibreuses « artificielles » (des silicates tels que la laine de roche ou les filaments continus de verre) par sa structure cristalline et par l'extrême finesse de ses fibres.

La « fibre » de chrysotile désigne en fait un ensemble formé de plusieurs dizaines ou centaines de fibrilles, plus ou moins solidement agglomérées, d'un diamètre total de l'ordre de 0,1 à 1 µm. Il en résulte une surface spécifique élevée propice aux phénomènes d'adsorption et aux propriétés d'isolation. Les fibres ont la capacité de se séparer sur toute leur longueur, et de former ainsi des fibrilles très fines. Les fibrilles de chrysotile sont courbées et particulièrement fines, d'un diamètre compris entre 0,02 et 0,03 µm. Les fibrilles des amphiboles sont droites et d'un diamètre 3 à 10 fois plus grand selon la variété.

Les fibres d'amiante exploitées industriellement présentent des propriétés physico-chimiques exceptionnelles, variables suivant les espèces, qui ont favorisé leur large utilisation : incombustibilité, résistance mécanique, stabilité thermique, inertie chimique par rapport à la plupart des produits chimiques et faible conductivité électrique. La résistance à la traction du chrysotile se trouve à un niveau intermédiaire entre celle de la crocidolite, plus résistante, et celle de l'amosite.

Il existe des homologues non asbestiformes (non fibreux) des amiantes (cf. § Généralités). Soumis à des actions mécaniques d'origine naturelle ou anthropique, les homologues des amiantes amphiboles fragmentent selon les plans de clivage du minéral. Ces objets ainsi formés, appelés fragments de clivage, peuvent avoir des caractéristiques dimensionnelles similaires à celles des fibres susceptibles d'être inhalées telles que définies par l'Organisation Mondiale de la Santé (fibres « OMS », de longueur $L > 5 \mu\text{m}$, diamètre $D < 3 \mu\text{m}$ et rapport longueur sur diamètre $(L/D) > 3$) [7]. Pour certains fragments de clivage susceptibles d'être inhalés, l'ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) a adopté la terminologie de particules minérales allongées « d'intérêt » (PMAi) [8].

Certains talcs issus de roches composées de dolomites siliceuses et de magnésium peuvent contenir jusqu'à 70 % d'amphiboles, en particulier les variétés actinolite, trémolite et anthophyllite (appelées ATA). Toutefois, selon la formation géologique des ATA, certaines peuvent se trouver sous forme amiante ou bien, après transformation des talcs en vue de leur usage sous forme de fragments de clivage. Des gisements de talcs contenant des ATA ont été identifiés en Italie, en Norvège et dans l'Etat de New York aux USA [9].

Propriétés chimiques

[1 à 3]

Le chrysotile est un silicate de magnésium hydraté de formule stœchiométrique théorique $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$. Il est stable jusqu'à environ 550 °C. Au-delà, il se déshydrate (déshydratation complète vers 750 °C) et recristallise vers 800-850 °C sous forme de forstérite et silice cristalline.

Les amphiboles sont des silicates hydratés de fer, magnésium, sodium et/ou calcium, différant par leur composition chimique. Elles commencent à se déshydrater vers 400-600 °C selon la variété. La dégradation thermique conduit, vers 900-1000 °C, aux minéraux suivants : pyroxènes, magnétite, hématite et silice cristalline.

Toutes les formes d'amiante résistent aux bases fortes. Les acides attaquent le chrysotile en dissolvant le magnésium et en laissant le squelette siliceux. Les amphiboles présentent au contraire une bonne résistance aux acides : la crocidolite est plus résistante que l'amosite, bien qu'il soit possible d'en dissoudre de petites quantités dans l'acide chlorhydrique à ébullition.

Récipients de stockage

Les échantillons de matériaux et produits contenant de l'amiante (lors des repérages par exemple) doivent être conditionnés de manière totalement étanche, par exemple dans un double emballage de matière plastique protégé de toute possibilité d'endommagement. Un étiquetage « amiante » selon les dispositions du décret n°88-466 du 28 avril 1988 doit être apposé sur l'emballage.



■ Gestion des déchets :

Les déchets amiantés doivent être conditionnés en double emballage étanche conformément aux dispositions de l'Accord pour le transport des marchandises dangereuses par la route (ADR). Le marquage de l'emballage, la manipulation, le chargement, le transport, et le déchargement sont également soumis aux dispositions de l'ADR.

Des exemptions à l'ADR sont possibles pour le transport selon le tonnage (< 333 kg pour l'amiante amphibole et < 1000 kg pour l'amiante chrysotile, un ratio de proportionnalité devant être appliqué si plusieurs variétés d'amiantes ou si d'autres déchets dangereux sont transportés en même temps).

Des dérogations à l'ADR sont également possibles pour l'emballage, sur accord de la mission transport du ministère chargé de l'environnement pour le conditionnement des terres naturellement amiantifères, des objets renfermant de l'amiante non accessible et les déchets issus de travaux de BTP comme les fraisâts d'enrobés routiers (Décision générique ou disposition spéciale prévue au 3.9 de l'annexe I de l'Arrêté « TMD », cf. § Réglementation).

Tous les déchets contenant de l'amiante sont des déchets dangereux (cf. § Réglementation). Ils doivent être éliminés dans les installations de stockage de déchets dangereux (ISDD) ou les installations de vitrification. Les installations de stockage de déchets non dangereux (ISDND) peuvent recevoir les déchets amiantés issus de la déconstruction de bâtiments et de travaux publics, sous réserve qu'elles y soient autorisées par arrêté préfectoral et que des casiers spécifiques et dédiés « amiante » soient aménagés pour leur réception (cf. § Réglementation). Il est interdit d'éliminer les déchets d'amiante dans les installations de stockage de déchets inertes et de les recycler.

VLEP et mesurages

Valeurs Limites d'Exposition Professionnelles (VLEP)

Arguments de détermination de la VLEP [10]

Dans les années 1960, une méthode de référence internationale, utilisant la microscopie optique à contraste de phase (MOCP) est choisie par l'Organisation Mondiale de la Santé. Les caractéristiques des fibres à prendre en compte pour la mesure de la concentration des fibres dans l'air sur les lieux de travail ont alors été définies : toute particule solide, naturelle ou artificielle, allongée à bords parallèles ayant un diamètre inférieur à 3 µm, une longueur supérieure ou égale à 5 µm et un rapport longueur sur diamètre supérieur à 3.

L'Afsset (Agence française de sécurité sanitaire, de l'environnement et du travail ; devenue Anses) a publié en 2009 un rapport sur les risques pour la santé des fibres courtes et des fibres fines d'amiante, non prises en compte par la réglementation jusqu'alors. Dans ce rapport, l'agence a indiqué la nécessité de réévaluer la VLEP fixée pour les fibres d'amiante en s'appuyant notamment sur les éléments suivants :

- « étant donné que toutes les variétés minéralogiques de fibres d'amiante connues et commercialisées sont susceptibles d'induire un cancer chez l'Homme par inhalation, il n'y a pas lieu de les différencier en vue de la recommandation d'une valeur limite d'exposition professionnelle ».
- « étant donné que la limite de 5 µm de longueur pour différencier une fibre courte (L < 5 µm) d'une fibre longue (L > 5 µm) ne repose pas sur des données scientifiques d'innocuité démontrée, la cancérogénicité des fibres courtes d'amiante, même si elle reste difficilement appréciable, ne peut pas être exclue » [11].
- « en l'état actuel des données disponibles et au regard de la cancérogénicité avérée des fibres d'amiante chez l'Homme, la toxicité de ces fibres s'exerce selon un mécanisme d'action sans seuil ».
- « l'effet des fibres d'amiante étant cumulatif et aucune toxicité aiguë n'ayant été mise en évidence dans la nombreuse littérature consultée, l'Afsset recommande la fixation de la prochaine VLEP de l'amiante sur une durée de 8h correspondant à une journée classique de travail ».
- « la valeur de VLEP sur 8h de 10 fibres/L (0,01 f/mL) est la plus basse actuellement retenue par la réglementation de nombreux pays européens. L'Afsset considère que cette valeur peut constituer pour la France une étape pertinente dans le progrès vers la réduction du risque d'exposition à l'amiante. Cependant, pour ce puissant cancérogène sans seuil, l'Afsset recommande de retenir une valeur cible de 0,03 f/L qui correspond à un niveau de risque de 10⁻⁶ selon le modèle retenu ».
- « étant donné le potentiel cancérogène des fibres fines d'amiante, celles-ci sont à inclure pour la mesure des niveaux d'empoussièrement en milieu de travail. Une modification des techniques de métrologie actuellement utilisées est alors indispensable. L'Afsset recommande d'adapter la méthode par microscopie électronique à transmission analytique (META) (directe ou indirecte) pour une application en milieu professionnel ».

Les effets critiques retenus alors pour la détermination de la VLEP sont le cancer broncho-pulmonaire et le mésothéliome.

L'article R. 4412-100 du Code du travail fixe la concentration moyenne en fibres d'amiante dans l'air inhalé par un travailleur à 10 fibres/L sur 8 heures de travail. Cette mesure est réalisée par microscopie électronique à transmission analytique (META), méthode indirecte, selon la norme NF X 43-050 [12] et par prélèvement individuel selon la norme NF X 43-269 [13].

Tableau des VLEP [14 à 16]

Pays	Concentration moyenne en fibres d'amiante	Méthodes de détermination	Commentaires
France	10 fibres/L sur 8 heures	Microscopie électronique en transmission analytique (META)	
Union européenne	0,1 fibre/cm ³ sur 8 heures (soit 100 fibres/L)	Microscopie optique à contraste de phase (MOCP) - ou méthode équivalente	Jusqu'au 20 décembre 2025 au plus tard
	0,01 fibre/cm ³ sur 8 heures (soit 10 fibres/L)	MOCP - ou méthode équivalente, ou plus précise	Du 21 décembre 2025 au plus tard au 20 décembre 2029
	<ul style="list-style-type: none"> 0,01 fibre/cm³, soit 10 fibres/L, si comptage des fibres d'une largeur inférieure à 0,2 µm (par exemple résolution obtenue par META), sinon 0,002 fibre/cm³ soit 2 fibres/L (par exemple, résolution obtenue par MEBA). 	Microscopie électronique - ou méthode équivalente, ou plus précise	À compter du 21 décembre 2029
Pays-Bas	0,002 fibre/cm ³ sur 8 heures, (soit 2 fibres/L)	Microscopie électronique à balayage analytique (MEBA)	
Danemark	0,003 fibre/cm ³ sur 8 heures, (soit 3 fibres/L)	MEBA	
Allemagne, Suisse, Finlande	10 fibres/L sur 8 heures	MEBA	

■ Valeur de gestion du Code de la santé publique

Le Code de la santé publique fixe un seuil de 5 fibres/L visant à gérer le risque de dégradation des matériaux amiantés de la liste A (flocages, calorifugeages et faux-plafonds) dans les immeubles bâtis, nécessitant le déclenchement de travaux si ce seuil est dépassé.

Cette valeur est prise comme référence dans le Code du travail pour l'analyse de l'état initial avant le démarrage des travaux, la surveillance environnementale des chantiers de désamiantage, l'analyse de restitution avant le retrait des confinements et l'analyse de fin de chantier. Elle est également prise en compte par le propriétaire, après la réalisation de travaux de retrait de matériaux de la liste A et de matériaux de la liste B (notamment les parois verticales intérieures, planchers, plafonds, canalisations et éléments extérieurs) à l'intérieur des bâtiments, avant la restitution des locaux concernés par les travaux, à des occupants. Les listes des matériaux susceptibles de contenir de l'amiante (listes A, B et C) sont détaillées à l'annexe 13-9 du Code de la santé publique.

Ces mesurages sont effectués par des prélèvements et des analyses réalisées par META selon la norme NF X 43-050 [12].

Methodes d'évaluation des expositions professionnelles

[7, 12 à 19]

■ Détection dans les matériaux

L'identification des fibres d'amiante dont le rapport longueur sur largeur est supérieur à 3 et la longueur est supérieure à 0,5 µm dans les matériaux s'effectue conformément à l'Arrêté du 1^{er} octobre 2019 modifié, relatif aux modalités de réalisation des analyses de matériaux et produits susceptibles de contenir de l'amiante, aux conditions de compétences du personnel et d'accréditation des organismes procédant à ces analyses. Il se rapporte aux matériaux et produits :

- (1) manufacturés, dans lesquels de l'amiante a été délibérément ajouté lors de la fabrication ou de la mise en œuvre ;
- (2) bruts, dans lesquels de l'amiante est naturellement présent par nature pétrographique des roches et produits minéraux ;
- (3) manufacturés, dans lesquels de l'amiante est naturellement présent dans un ou plusieurs de ses composants en raison de la nature pétrographique des roches et produits minéraux.

Chaque couche, le cas échéant, d'un matériau doit être préparée et analysée séparément. Les techniques analytiques utilisées sont l'observation en lumière polarisée, selon la méthode HSG 248 Asbestos : the analysts' guide [17], associée ou non à la microscopie électronique à transmission analytique, selon les parties pertinentes de la norme NF X 43-050 [12].

Lorsque l'analyse au microscope optique à lumière polarisée (MOLP) ne permet pas de conclure à la présence d'amiante, un complément d'analyse est à réaliser par microscopie électronique à transmission analytique (META).

■ Détection dans l'air

Les fibres d'amiante en suspension dans l'air sont prélevées sur des membranes filtrantes, à l'aide de cassettes conductrices de l'électricité de diamètre 37 mm, en position ouverte. En milieu de travail, des pompes portables de débit 3 L/min sont utilisées pour les prélèvements individuels, réalisés conformément à la norme NF X 43-269 [13]. En mesurage d'ambiance, les règles de prélèvements sont définies par la norme NF X 43-050 [12], à l'aide de pompes fixes de débit de 5 à 7 L/min, selon l'échantillonneur utilisé.

Les concentrations en milieu de travail sont déterminées par META, en méthode indirecte, selon la norme NF X 43-050, conformément à l'Arrêté du 14 août 2012 modifié relatif aux conditions de mesurage des niveaux d'empoussièrement, aux conditions de contrôle du respect de la valeur limite d'exposition professionnelle aux fibres d'amiante et aux conditions d'accréditation des organismes procédant à ces mesurages. Elles sont exprimées en fibres par litre (f/L). Les fibres prises en compte sont celles de longueur $L > 5 \mu\text{m}$, de diamètre $D < 3 \mu\text{m}$, de rapport longueur sur diamètre (L/D) > 3 . La META permet d'identifier la nature des fibres observées et de comptabiliser les plus fines d'entre-elles dont le diamètre est de l'ordre de 0,02 µm.

En « santé publique », les concentrations d'amiante dans l'atmosphère des immeubles bâtis et dans l'environnement sont déterminées par microscopie électronique à transmission analytique, méthode indirecte, les prélèvements et les analyses sont réalisés selon la norme NF X 43-050, conformément à l'Arrêté du 19 août 2011 modifié relatif aux modalités de réalisation des mesures d'empoussièrement dans l'air des immeubles bâtis. Elles sont exprimées en fibres par litre (f/L).

Les **fibres courtes d'amiante**, FCA (longueur $L \leq 5 \mu\text{m}$, diamètre $D < 3 \mu\text{m}$, rapport L/D > 3), ne sont jamais prises en compte dans les mesures, ni en réglementation « santé publique », ni en réglementation « santé au travail » (cf. § Généralités). Toutefois, dans son avis de 2009 [10], l'Afsset recommandait l'adoption d'un seuil de gestion fixé à 50 f/L pour les fibres courtes d'amiante, soit 10 fois la valeur actuelle du seuil de gestion en santé publique fixé à 5 f/L pour les fibres réglementaires, ce qui pourrait constituer un indicateur de dégradation de certains matériaux amiantés dans les bâtiments comme les dalles vinyle amiante par exemple. En outre, dans son avis publié en 2022 [11], l'ANSES, au vu des nouvelles données disponibles recommandait, en particulier, de mesurer les fibres courtes d'amiante dans les environnements professionnels dans le but de documenter une base de données pour les différents processus, cette base de données pouvant notamment contribuer à l'établissement d'un seuil de gestion pour les fibres courtes (FCA). Ces recommandations ont été complétées par un avis en 2024 [18]. L'ANSES confirme les conclusions de 2022 : « malgré des difficultés d'interprétation, les données chez l'humain vont dans le sens d'un effet sanitaire des FCA. Les quelques nouvelles données expérimentales confirment que les FCA ont des effets biologiques propres ». L'agence recommande, en matière de prévention des risques professionnels, notamment de veiller à ce que les niveaux d'exposition aux fibres longues et aux FCA soient les plus bas possibles ; d'établir, une fois des données métrologiques obtenues, une VLEP visant à limiter les expositions professionnelles aux FCA et à mettre en œuvre des mesures de prévention ; et que des études complémentaires et spécifiques aux FCA soient menées sur l'efficacité des moyens de protection collective.

■ Prélèvements surfaciques (lingette)

A ce jour, il n'existe pas de relation directe unique entre l'amiante échantillonné sur une surface et la concentration de fibres d'amiante en suspension dans l'air susceptible d'être générées par le réentrainement de la poussière.

Ces prélèvements ne sont pas normalisés et ne sont pas prévus réglementairement ni par le Code de la santé publique, ni par le Code du travail. La Direction générale du travail, DGT, dans le cadre de son Question/Réponse Métrologie amiante de 2024 [19], rappelle que les tests surfaciques permettent seulement d'établir la présence d'amiante sur une surface donnée. Ils peuvent ainsi servir de comparatif, avant et après une opération de nettoyage, par exemple pour indiquer qu'un matériau a été pollué (sans que l'on sache s'il est émissif). La DGT précise les limites suivantes de l'utilisation de ce type de support, pour la recherche d'amiante : il ne constitue pas une méthode utilisable dans le cadre d'une mission de repérage avant travaux et ne saurait se substituer aux modalités réglementaires et normatives de contrôle des empoussièrement d'amiante.

Incendie - Explosion

L'amiante est incombustible. Toutefois, en cas d'incendie, une attention particulière devra être portée sur les produits combustibles, par exemple la présence de films polyane de protection et de confinement, de générateurs d'aérosol de colle, et de carburant utilisé pour les groupes électrogènes de secours sur un chantier de désamiantage.

De plus, lors d'un incendie sur un chantier de désamiantage ou dans un lieu contenant de l'amiante, les services de secours peuvent altérer les matériaux amiantés lors de leur intervention (par exemple, pression de l'eau d'extinction sur des flocages, utilisation d'outils agressifs pour accéder au lieu, etc.). Ces interventions sont de nature à libérer les fibres dans l'atmosphère et imposent le port de protections respiratoires spécifiques au risque amiante pour les intervenants.

Sur un chantier de désamiantage, lorsque la nature de l'incident et son niveau de gravité le permettent, le respect des procédures de décontamination sera privilégié, pour l'intervenant et les victimes.

Pathologie - Toxicologie

Toxicocinétique - Métabolisme

En fonction de leurs caractéristiques dimensionnelles, les fibres d'amiante peuvent se déposer par sédimentation, par impaction aux bifurcations bronchiques ou par interception de l'extrémité de la fibre avec la paroi bronchique. Une fois déposées, les fibres d'amiante sont partiellement éliminées du poumon par les clairances muco-ciliaire, alvéolaire, interstitielle ou lymphatique. La plupart des fibres déposées dans les régions nasopharyngées et trachéo-bronchiques sont avalées ou expectorées.

Une partie des fibres déposées dans l'espace alvéolaire subit un transfert vers l'interstitium pulmonaire ; elles peuvent atteindre la plèvre ou être éliminées de l'interstitium via le système lymphatique et pénétrer dans les capillaires pour être distribuées vers différents organes et tissus (translocation).

Les nombreux mécanismes d'élimination impliqués (par exemple : dissolution partielle, phagocytose par différentes cellules, transport via l'ascenseur muco-ciliaire, scission longitudinale en fibrilles élémentaires, cassure transversale) dépendent des propriétés physico-chimiques intrinsèques des fibres ainsi que de leur diversité granulométrique.

Chez l'animal

■ Dépôt

Les caractéristiques dimensionnelles des fibres d'amiante (diamètre aérodynamique [D_{ae}] permettant de quantifier la dimension d'une particule aérienne et rapport longueur / diamètre), sont les principaux facteurs déterminant la distribution initiale de leur dépôt dans le poumon. Chez le rongeur, les fibres dont le D_{ae} est supérieur à 6 µm ne sont pas susceptibles d'atteindre la région alvéolaire du poumon ; chez le rat, les fibres d'un diamètre supérieur à 2 µm et d'une longueur supérieure à 20 µm pénètrent peu jusqu'au niveau alvéolaire [20]. Cependant, il existe des différences entre les espèces dans la répartition du dépôt régional des fibres inhalées, différences qui doivent être prises en compte lors de l'extrapolation à l'Homme des effets observés chez l'animal (rongeur).

■ Clairance, biopersistance

Une fois déposées, les fibres d'amiante sont partiellement éliminées du poumon par des mécanismes tels que les clairances muco-ciliaire, alvéolaire, interstitielle ou lymphatique.

La plupart des fibres déposées dans les régions trachéo-bronchiques sont transportées jusqu'au larynx par le mouvement muco-ciliaire ; elles sont ensuite avalées ou expectorées, tout comme celles déposées dans la région nasopharyngée. Dans la région alvéolaire, elles sont phagocytées par les macrophages. Elles subissent une débribrillation (longitudinale) plus ou moins poussée (chrysotile), une dissolution partielle (perceptible pour le chrysotile, pratiquement indiscernable pour les amphiboles), et une rupture des fibres les plus longues en fibres plus courtes (toutes fibres d'amiante) [10].

Chrysotile - Ces fibres ont une clairance plus rapide que la crocidolite dans le milieu acide à l'intérieur du macrophage, elles se clivent longitudinalement en fibrilles susceptibles de se briser et se décomposer en plus petits morceaux. Ces derniers peuvent alors être facilement éliminés des poumons par les macrophages par le biais de la clairance muco-ciliaire et lymphatique. Pour le rat, la clairance pulmonaire des fibres de chrysotile augmentent de façon inversement proportionnelle à la longueur de la fibre, ce qui peut être expliqué par la fragmentation transversale *in situ* des fibres : L > 20 µm (11,4 jours), 5 < L < 20 µm (29,7 jours) et L < 5 µm (108,4 jours) [21].

Coin et al. [22] ont observé que les fibres de longueur supérieures à 16 µm et de diamètre inférieur à 1 µm (considérées comme les plus pathogènes), étaient éliminées lentement du fait de leur division longitudinale qui augmentait leur nombre en fonction du temps (et parallèlement leur pathogénicité).

Gualtieri et al. [23] ont suivi les variations structurales des fibres de chrysotile et de crocidolite en contact avec les tissus de rats. Les auteurs concluent à une biopersistance inférieure des fibres de chrysotile comparée à celles des fibres de crocidolite et d'ériónite. Ils soulignent aussi que la formation d'un résidu fibreux riche en silice après la pseudo-amorphisation du chrysotile peut entraîner la production de radicaux hydroxyles (HO•) en synergie probable avec un potentiel cytotoxique plus élevé et une activité inflammatoire intense des fibres de chrysotile à court terme (toxicité aiguë) au contact des tissus pulmonaires.

Amphiboles - La clairance des fibres longues (> 20 µm) d'amosite et de crocidolite chez le rat après inhalation suit une fonction biphasique : une demi-vie rapide (17 jours) suivie d'une lente (1300 jours) ; la demi-vie pondérée étant de 466 jours [24]. Selon Bernstein [21, 25], les demi-vies pondérées pour la crocidolite étaient de 536 jours pour les fibres > 20 µm, 262 jours pour la fraction 5-20 µm et 172 jours pour les fibres courtes < 5 µm.

■ Translocation

Une partie des fibres déposées dans l'espace alvéolaire subit un transfert vers l'interstitium pulmonaire (translocation), plus ou moins important en fonction de leur biopersistance [26]. Ce transfert est facilité lorsque la couche épithéliale est inflammatoire [27].

Ces fibres peuvent alors suivre deux voies : atteindre la plèvre ou être éliminées de l'interstitium pulmonaire *via* le système lymphatique et pénétrer dans les capillaires car l'inflammation augmente aussi la pression interstitielle, permettant aux fibres de migrer et d'être distribuées vers différents organes et tissus.

Chez l'Homme

Les données biométriologiques sur la dissémination des fibres inhalées dans l'organisme par voies transpleurale, lymphatique et/ou systémique et leur rétention dans des sites extrapulmonaires sont peu nombreuses [28]. Les fibres peuvent interagir avec les cellules épithéliales pulmonaires, pénétrer dans l'interstitium pulmonaire puis atteindre la plèvre et le péritoine ainsi que des sites plus éloignés (translocation). Les fibres peuvent migrer dans les ganglions lymphatiques pulmonaires, dans les reins, le foie, l'urine. Cette migration peut atteindre le fœtus des femmes enceintes exposées [27] : des fibres d'amiante ont été retrouvées dans des échantillons de placenta et de tissus d'enfants mort-nés [10].

■ Dépôt

Un des sites préférentiels de dépôt des fibres d'amiante chez l'Homme se situe au niveau des aires proches des bifurcations bronchiques. La région alvéolaire est accessible aux fibres dont le diamètre aérodynamique (D_{ae}) est inférieur à 10 µm. Le D_{ae} étant égal à environ trois fois le diamètre géométrique (diamètre dimensionnel), les fibres d'amiante d'un diamètre inférieur à 3 µm sont susceptibles d'atteindre la région alvéolaire [29] même avec des longueurs allant de 100 à 200 µm [29, 30].

Dans le tissu pulmonaire chez l'Homme, les caractéristiques granulométriques des fibres sont fortement dépendantes du type de fibre : « Les analyses montrent de façon consistante que les diamètres moyens des fibres de chrysotile et de crocidolite sont rarement supérieurs à 0,2 µm, ce qui indique un pourcentage de fibres fines d'amiante (FFA) très élevé ». La gradation du diamètre des fibres longues (L < 10 µm) issues des biopsies pulmonaires en fonction du type d'amiante suit, dans la majorité des études, la séquence : chrysotile < crocidolite < amosite < trémolite [10].

■ Clairance, biopersistance

La clairance des fibres d'amiante et leur biopersistance sont considérées comme les facteurs les plus importants pour l'évaluation des risques des maladies malignes et non malignes (cancer et fibrose) [31]. Il a en effet été démontré que le risque cancérigène augmente proportionnellement avec la charge en fibres d'amiante des poumons, et que l'étendue des plaques pleurales est associée au nombre de fibres dans le tissu pulmonaire. La biopersistance pulmonaire des fibres dépend de différents facteurs (taille des fibres, composition chimique, stabilité physico-chimique...) [32]. Pour les amphiboles, le premier facteur est la taille des fibres : après leur dépôt dans les voies respiratoires distales et les alvéoles, les fibres courtes sont plus facilement phagocytées par les macrophages alvéolaires que les fibres longues d'où leur demi-vie plus courte. Les fibres qui ne sont pas efficacement éliminées ou altérées par un processus physico-chimique sont dites biopersistantes. La composition chimique et la stabilité physico-chimique des fibres sont deux autres facteurs : le milieu biologique peut solubiliser les fibres et/ou les casser en fibres plus petites. Des dépôts de fer et de protéines peuvent charger la surface de la fibre, en particulier sur les fibres longues, comme en témoigne l'apparition de corps asbestosiques et entraîner une modification des propriétés de surface. A noter que, chez l'Homme, ces corps asbestosiques, qui résultent d'un phénomène d'engainement de la fibre par un dépôt d'hémossidérine, ont été retrouvés dans des organes autres que le poumon dont les reins, le foie, la rate et le pancréas [27, 33].

Les amphiboles (crocidolite, trémolite) présentent une biopersistance plus importante que le chrysotile du fait de leur clairance pulmonaire plus lente [21] : la demi-vie des fibres dans le poumon s'établit en années pour les amphiboles et en mois pour les fibres de chrysotile [34]. En conséquence, une faible concentration pulmonaire en fibres de chrysotile ne permet pas d'exclure une exposition antérieure significative. Les fibres de chrysotile de longueur > 10 µm présenteraient une demi-vie de 8 ans [10]. Une étude longitudinale récente sur des données de patients présentant des pathologies liées à l'amiante (tumeurs, épanchements pleuraux, fibroses) a permis de confirmer la très grande biopersistance des fibres d'amphibole mais aussi de chrysotile [31].

A dose totale identique, des différences de demi-vie et d'effets biologiques sont susceptibles de survenir lors d'une exposition à des pics de pollution intermittents par rapport à une exposition continue [35], ces pics pourraient dépasser les capacités d'épuration du poumon ou induire une plus grande pénétration alvéolaire des fibres d'amiante et par conséquent conduire à des effets physiopathologiques différents.

Mode d'action

Mécanismes de toxicité et effets cellulaires

■ Mécanismes de toxicité

Les mécanismes de la cancérogenèse et de la fibrose induits par l'exposition à l'amiante ne sont pas complètement compris. Les études expérimentales *in vitro* et *in vivo* ont permis d'identifier les déterminants principaux de la pathogénicité des fibres d'amiante à l'origine des effets cellulaires : la dimension des fibres et le rapport L/D, les propriétés de surface, les caractéristiques physico-chimiques, la surface spécifique, la composition chimique, la concentration d'exposition atmosphérique au cours du temps et la dose (charge pulmonaire).

Des données chiffrées permettent de mieux comprendre la complexité des facteurs physico-chimiques à l'origine des mécanismes de toxicité [35] :

- une surface spécifique plus faible de la crocidolite (3 -15 m²/g) que du chrysotile (50 m²/g) ;
- composition chimique ; le chrysotile présente peu de variations suivant les gisements, pour les amphiboles cela est plus complexe et plus variable ;
- résistance variable aux acides ; pour les amphiboles, la crocidolite étant plus résistante que l'amosite.

■ Dimension et forme

Les particules les plus susceptibles d'être déposées dans le poumon profond ont un Dae moyen inférieur à 3 µm ; des fibres même avec des longueurs de plusieurs dizaines de microns peuvent aussi atteindre les alvéoles pulmonaires. Les fibres de longueur inférieure à 20 µm sont phagocytées (internalisation) par les macrophages et les cellules épithéliales (bronchiques, alvéolaires et mésothéliales), entraînant une stimulation de la réponse cellulaire au stress ainsi que des perturbations de la mitose des cellules. Les effets biologiques (tels que apoptose, lésions oxydatives de l'ADN, ruptures d'ADN et induction de l'expression de proto-oncogènes) des amiantes sous forme de fibres sont plus importants que ceux des minéraux de composition chimique similaire et sous forme de particules non fibreuses [32].

De nombreuses études démontrent que des effets toxiques plus importants se produisent avec des fibres plus longues ou des rapports L/D plus élevés. Cependant, le potentiel cancérigène des fibres d'amiante de faible rapport L/D (fibres courtes d'amiante, FCA) ne peut être exclu ; les FCA sont aussi susceptibles de provoquer une inflammation aiguë ou une fibrose si l'exposition est suffisante (excédant les capacités d'épuration pulmonaire).

Les macrophages et les polynucléaires qui ne peuvent pas facilement phagocyter les fibres longues de plus de 20 µm (phénomène dit de la « phagocytose frustrée » ou limitée) relarguent des cytokines et des oxydants dans le milieu extracellulaire. Ces derniers provoquent à terme une inflammation chronique à l'origine de prolifération cellulaire, de génotoxicité, de synthèse et de libération de facteurs de croissance susceptibles de conduire à une fibrose, un épanchement pleural et au mésothéliome [26]. Les fibres longues et épaisses d'amiante déposées dans les poumons peuvent être encapsulées pour former des corps asbestosiques.

Le rôle de la taille des fibres en fonction des trois principales pathologies liées à l'amiante semble être différent [36] :

- l' **asbestose** est plus corrélée avec la surface des fibres retenues, une corrélation est montrée entre cette pathologie et la présence de fibres d'une longueur supérieure à 2 µm ;
- le **mésotéliome** est mieux relié au nombre de fibres de longueur > 5 µm et de diamètre < 0,1 µm ;
- le **cancer du poumon** avec des fibres de longueur > 10 µm et de diamètre > 0,15 µm ;
- plusieurs études, cependant, rapportent la présence de fibres très courtes dans les tissus pulmonaires et pleuraux des patients atteints de mésothéliome malin, suggérant de ne pas exclure le rôle des fibres courtes (< 5 µm) dans le développement des maladies liées à l'amiante.

Fibres d'amiante asbestiforme courtes (FCA), fines (FFA) et fragments de clivage

Dans sa revue générale, Lippmann [37] déduisait de la littérature que les pathologies liées à l'inhalation d'amiante telles que l'asbestose, le mésothéliome et le cancer du poumon, étaient associés à des fibres dont les longueurs dépassent des valeurs critiques. Il existerait aussi différents diamètres critiques des fibres : pour l'asbestose et le cancer du poumon, les plus étroitement liés aux fibres retenues dans les poumons, seules les fibres ayant un diamètre supérieur à 0,15 µm seraient critiques ; pour le mésothéliome qui est initié par les fibres qui migrent des poumons vers la plèvre et le péritoine, le risque pourrait être lié à des fibres de diamètre inférieur plus facilement éliminées par voie de drainage lymphatique.

Les fibres courtes d'amiante (FCA) et les fibres fines d'amiante (FFA) se différencient par les critères dimensionnels suivants (cf. Généralités) :

- fibres fines d'amiante (FFA) : longueur L > 5 µm, diamètre D < 0,2 µm et rapport L/D > 3

- fibres courtes d'amiante (FCA) : longueur $L \leq 5 \mu\text{m}$, diamètre $D < 3 \mu\text{m}$ et rapport $L/D > 3$

Les fragments de clivage sont des fibres ($L/D > 3$; $D < 3 \mu\text{m}$) de longueur $L > 5 \mu\text{m}$ ou courtes $L < 5 \mu\text{m}$, provenant des homologues non fibreux des amiantes.

Il est important de noter que des paramètres autres que dimensionnels, tels que réactivité de surface ou composition chimique, impliqués dans le potentiel toxique des différentes amiantes concernent toutes les classes granulométriques.

Si les FCA sont intrinsèquement moins pathogènes que les fibres longues d'amiante, il est clair que la pathogénicité des FCA ne peut pas être complètement exclue, en particulier dans des situations à forte exposition. Cette différence d'effets démontrés repose principalement sur les études expérimentales du fait que peu d'études épidémiologiques ont pris en compte les FCA. D'après les données humaines, l'exposition à des fibres longues et fines serait associée à des taux plus élevés de cancers du poumon, mais aucune conclusion définitive ne peut être déterminée pour les autres classes de taille. Dans les études expérimentales, les différences proviennent d'études comparatives entre les effets des échantillons d'amiante de différentes longueurs moyennes ou différentes distributions en taille : la puissance fibrogène ou cancérogène des FCA est moindre que celle des fibres longues. Cependant, les FCA à fortes doses peuvent provoquer une inflammation, une fibrose pulmonaire interstitielle et des réactions pleurales [32]. Ces éléments amènent à conclure que les fibres longues et fines semblent plus toxiques que les fibres courtes dont la clairance est plus rapide [36].

Concernant les fragments de clivage, l'ANSES concluait [5] :

- que les études épidémiologiques ne permettent pas d'exclure un risque pour la santé lié à l'exposition aux fragments de clivage issus des variétés non asbestiformes des cinq amphiboles réglementaires ;
- qu'il existe un lien entre l'exposition de populations à certaines amphiboles calciques ou calco-sodiques présentes sous forme de mélange de différents faciès (telles que la fluoroédénite, la winchite ou la richtérite), et la survenue de cancers ;
- qu'il n'existe aucune donnée toxicologique scientifiquement validée permettant d'affirmer que les fragments de clivage répondant aux critères dimensionnels des fibres « OMS » ($L > 5 \mu\text{m}$; $D < 3 \mu\text{m}$ et $L/D > 3$) sont moins toxiques que leurs homologues asbestiformes.

■ Propriétés de surface

Les caractéristiques physico-chimiques de surface des fibres influencent leur réactivité dans les milieux biologiques. De nombreux travaux ont porté sur leurs propriétés oxydo-réductrices susceptibles de catalyser des réactions et de générer des oxydants et des radicaux libres (espèces réactives de l'oxygène, ERO).

Les radicaux libres peuvent oxyder les macromolécules biologiques et induire des lésions de l'ADN (avec un effet potentiel clastogène ou mutagène), des lipides ou des protéines ainsi que des dysfonctionnements cellulaires.

■ Composition chimique

La composition chimique des fibres intervient dans leur cinétique de dissolution dans le milieu pulmonaire : le chrysotile est moins biopersistant que les amphiboles, en particulier aux pH acides. Les études de biométrie ont montré que le chrysotile est moins fréquemment retrouvé dans les poumons que les amphiboles après un long délai post-exposition en raison de son instabilité moléculaire.

■ Autre

Indépendamment de leur composition chimique, les fibres aéropartées biopersistantes peuvent provoquer des maladies pleurales chroniques, ainsi qu'une fibrose pulmonaire et des cancers du poumon [37] mais avec des différences en terme de cibles et d'effets :

- Toutes les variétés d'amphiboles sont suffisamment biopersistantes pour être considérées comme hautement toxiques et les différences observées dans leur capacité à produire des réponses pulmonaires et pleurales dépendent en premier lieu de leur distribution en termes de longueur et de diamètre ;
- Les fibres de chrysotile seraient potentiellement moins toxiques que les amphiboles en raison de leur plus grande solubilité *in vivo* qui conduit à leur dissolution et à des cassures selon la longueur (raccourcissement) mais le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) a estimé que cela n'impliquait pas nécessairement un potentiel cancérogène plus faible que celui des amphiboles [36]. Les fibres de chrysotile aéropartées sont souvent plus longues que les autres fibres d'amiante ($> 20 \mu\text{m}$) : ces fibres subissent une défibrillation et sont un facteur causal important pour la fibrose pulmonaire et le cancer du poumon chez l'Homme et l'animal par inhalation chronique.

■ Effets cellulaires [36, 38 à 41]

Les effets de l'amiante sont la conséquence de deux types d'interaction : entre les cellules inflammatoires et les cellules mésothéliales et entre les fibres et les cellules conduisant à une stimulation de la prolifération des cellules épithéliales bronchiques, interstitielles pulmonaires et mésothéliales. Le mésothéliome malin résulterait de l'effet direct des fibres d'amiante sur les cellules mésothéliales. L'asbestose (fibrose pulmonaire interstitielle) est la conséquence de la synthèse d'une grande quantité de matrice extracellulaire induit par un cycle d'altération du tissu pulmonaire suivi par sa réparation et lié à l'inflammation chronique.

Les caractéristiques physico-chimiques des fibres influencent fortement les effets inflammatoires et fibrogènes des différents types d'amiante *in vitro* et *in vivo*. Les fibres inhalées sont épurées par les macrophages si elles sont assez courtes. Cependant, si la dose en fibres est trop importante ou si les fibres sont longues, elles peuvent se transloquer dans l'espace pleural et exercer des effets toxiques sur les pneumocytes et les cellules mésothéliales. Ces cellules produisent alors une variété de médiateurs comprenant des espèces réactives de l'oxygène (ERO), des cytokines et des facteurs de croissance qui conduisent à des lésions cellulaires, de l'inflammation, des dommages à l'ADN et la stimulation de la croissance et de la prolifération cellulaires conduisant à la fibrose ou à la cancérogenèse. Les échantillons d'amiante présentant de fortes proportions de particules ou de fibres courtes contribuent significativement à l'inflammation aiguë, tandis que les fibres plus longues semblent nécessaires pour la fibrose à long terme et les effets néoplasiques [42].

Différentes cellules immunitaires interviennent dans la réponse pulmonaire à l'exposition à l'amiante dont les macrophages alvéolaires (MA) et les lymphocytes NK (Natural Killer). Les MA qui sont les principales cellules qui phagocytent l'amiante dans les poumons déclencheraient la chaîne des événements menant à la fibrose pulmonaire chronique (asbestose) et au cancer du poumon. Les résultats concernant les fonctions des cellules NK [40] démontrent la présence d'un effet immunosuppresseur de l'amiante sur l'immunité antitumorale [43].

En conclusion, l'inhalation de fibres d'amiante longues et fines induit une réponse inflammatoire chronique aux sites de dépôt de fibres qui, avec le temps, peut conduire à une transformation cellulaire maligne. Trois principaux mécanismes contributeurs ont été proposés [44] :

- les cellules mésothéliales et les macrophages exposés aux fibres d'amiante génèrent des espèces réactives de l'oxygène (ERO) et des espèces réactives de l'azote (ERN), qui conduisent à des dommages à l'ADN ;
- les cellules mésothéliales et les macrophages exposés aux fibres d'amiante libèrent une variété de cytokines et de facteurs de croissance qui induisent l'inflammation et facilitent la transformation maligne des cellules mésothéliales dont l'ADN a été altéré ;
- les fibres d'amiante peuvent adsorber des molécules chimiques (hydrocarbures aromatiques polycycliques, HAP), des métaux (fer...) et des macromolécules biologiques (protéines, acides nucléiques, phospholipides, immunoglobulines...) avec pour conséquence l'accumulation de molécules dangereuses, notamment des cancérogènes.

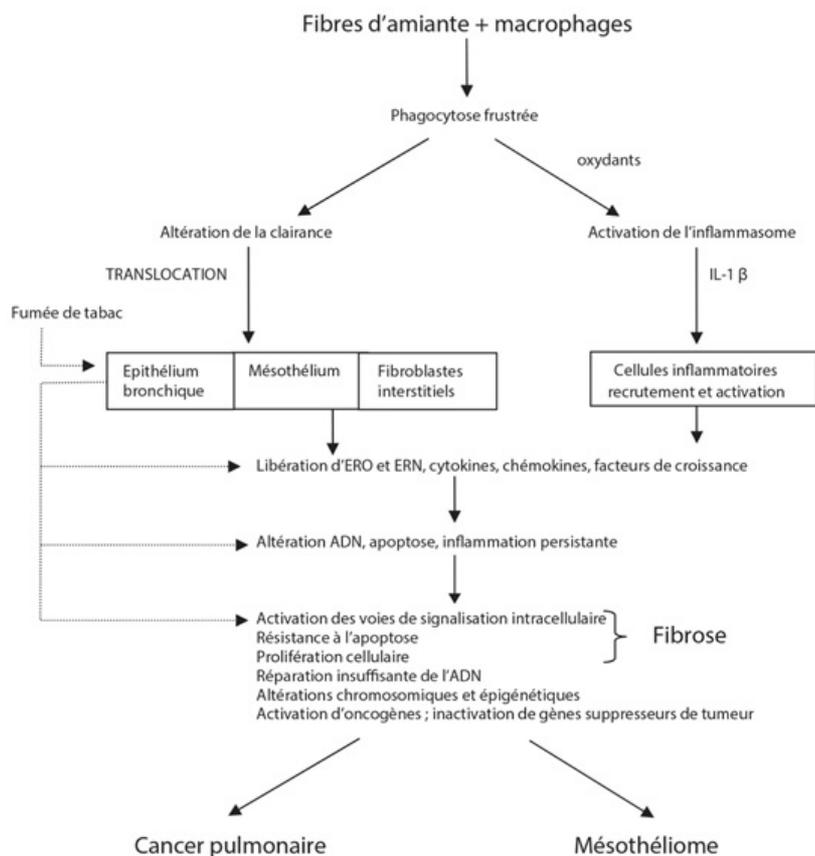


Figure 1 : Mécanisme de la cancérogénicité des fibres d'amiante [36].

Toxicité expérimentale

L'exposition aux fibres d'amiante est associée au développement de pathologies non-malignes des poumons et de la plèvre, ainsi qu'aux pathologies malignes du poumon, du larynx et des membranes pleurales et péritonéales. La toxicité expérimentale a essentiellement apporté des informations sur l'influence des paramètres dimensionnels des fibres sur la toxicité ainsi que des éléments comparatifs entre les divers types d'amiante.

L'inhalation étant la principale voie d'exposition chez l'Homme aux fibres minérales en général et à l'amiante en particulier, seuls les résultats des études expérimentales effectuées par inhalation ont été retenus ici. De nombreuses études expérimentales *in vitro* et *in vivo* chez l'animal (rat principalement) démontrent le caractère génotoxique et cancérogène des fibres d'amiante. Les effets sont modulés notamment par la longueur et le diamètre des fibres, leurs caractéristiques de surface affectant leur biopersistance.

Des rats ont été exposés à des concentrations égales en nombre de fibres de chrysotile de longueur supérieure à 5 µm, de crocidolite et d'amosite, toutes avec des diamètres médians d'environ 0,4 µm [45] ; le chrysotile dont le ratio de fibres longues était significativement plus élevé induisait des réponses fibrogènes et cancérogènes plus importantes que la crocidolite ou l'amosite. Une corrélation entre tumeurs pulmonaires et proportion de fibres > 20 µm a été retrouvée mais pas entre tumeurs pulmonaires et type de fibre. Par ailleurs, les fibres courtes d'amosite ne produisaient pratiquement aucune fibrose, alors que les fibres longues d'amosite étaient plus fibrogènes que le chrysotile [46]. Des conclusions similaires ont été tirées d'études par inhalation de fibres d'amosite, de barbes de carbone de silicium (SiC), de diverses fibres minérales vitreuses et fibres céramiques réfractaires chez des rats ; dans leur analyse, les principaux facteurs influençant les réponses biologiques étaient le nombre de fibres de diamètre < 1,0 µm et de longueur > 20 µm, ainsi que la vitesse de dissolution des fibres [47].

La fibrose (démontrée histopathologiquement chez l'animal) peut survenir si l'exposition est suffisamment longue (90 jours) et en particulier après la période initiale d'inhalation lorsque les animaux ont été mis en observation. La fibrose ne serait pas une condition préalable à la carcinogénèse. La prolifération des cellules épithéliales est un mécanisme de réparation après une lésion tissulaire, mais la prolifération excessive des cellules augmente la probabilité d'apparition de populations de cellules mutées ; elle est particulièrement préoccupante si elle persiste après la fin de l'exposition [48].

Effets génotoxiques

Le stress oxydatif induit par les radicaux libres est considéré comme l'un des principaux mécanismes des effets génotoxiques et mutagènes de l'amiante. Le mécanisme est soit direct par interaction physique avec les éléments intracellulaires impliqués dans la division cellulaire (après phagocytose par les cellules cibles), soit indirect en raison de l'altération de l'ADN et du chromosome par les espèces réactives de l'oxygène (ERO) et de l'azote (ERN). Ainsi, toutes propriétés physiques ou chimiques des fibres susceptibles d'affecter la capacité de génération d'ERO et ERN, ou de favoriser l'interférence physique avec les cellules mitotiques (teneur en fer de surface et dimension des fibres), affectent la mutagenicité des fibres [49].

La génotoxicité directe des fibres d'amiante *via* la synthèse d'ERO à la surface des fibres d'amiante a pour conséquences la formation de bases oxydées de l'ADN et des ruptures de brins d'ADN conduisant à des mutations géniques si elles ne sont pas correctement réparées. Il a également été démontré que les fibres d'amiante interfèrent physiquement avec l'appareil mitotique ce qui peut entraîner une aneuploïdie ou une polyploïdie et des altérations chromosomiques spécifiques caractéristiques du cancer lié à l'amiante.

La génotoxicité indirecte est provoquée par l'inflammation persistante et l'activation des macrophages alvéolaires ou péritonéaux pouvant générer secondairement des ERO et des ERN additionnelles [36, 50].

Les principaux déterminants de l'activité biologique des fibres d'amiante et de leur génotoxicité est fonction de différents paramètres [49] :

- la dimension des fibres : les fibres longues et fines provoquent le phénomène dit de la phagocytose frustrée des macrophages alvéolaires qui induit le relargage constant d'espèces réactives au potentiel génotoxique et mutagène. Elles interfèrent aussi avec la cytokinèse lors de la mitose pouvant conduire à une aneuploidie des cellules filles.
- la présence de fer oxydable à la surface des fibres : elle est susceptible de catalyser des réactions conduisant à la synthèse des ERO. Les amphiboles présentent plus de fer sur leur surface que les serpentines. A concentrations similaires, les amphiboles (crocidolite, amosite) produisent *in vitro* plus d'altérations de l'ADN : cassures double-brin, oxydation de bases nucléotidiques (8-OHdG) que le chrysotile.
- la surcharge pulmonaire en fibres : elle induit une réduction drastique de la clairance pulmonaire et une inflammation chronique.
- la durabilité des fibres (plus ou moins longue biopersistance).

L'ensemble de ces facteurs, en plus d'induire une altération directe de l'ADN et une mutagenicité, conduit également à la libération prolongée de médiateurs inflammatoires et de facteurs de croissance, qui à leur tour régulent la fibrose et la transformation maligne induite par l'amiante.

En résumé :

- L'amiante est clairement mutagène dans différents modèles *in vitro* et *in vivo* et induit des mutations géniques et chromosomiques dans les cellules cibles par différents mécanismes (génération d'ERO, interaction physique avec le fuseau mitotique).
- Des altérations génétiques et chromosomiques spécifiques sont retrouvées dans les tissus de mésothéliome chez l'Homme en association avec l'exposition à l'amiante. Des profils de mutations similaires ont été identifiés dans des modèles de mésothéliomes murins.
- La mutagenèse ne joue pas de rôle dans le développement des plaques pleurales et dans l'épaississement pleural diffus, lesquels semblent être produits par des changements dans la régulation de gènes secondaires à la génération d'ERO et l'inflammation.

Effets cancérogènes

Les expérimentations animales visant à étudier le potentiel cancérogène des fibres ont été réalisées principalement chez le rat et, à une bien moindre échelle, chez le hamster et la souris. Les animaux ont été exposés aux fibres selon différentes voies d'exposition : inhalation, instillation intratrachéale ou inoculation dans la cavité pleurale ou péritonéale.

Des carcinomes bronchiques et des mésothéliomes pleuraux ont été observés dans de nombreuses expériences par inhalation chez le rat exposé à des fibres de chrysotile, de crocidolite, d'amosite, d'anthophyllite et de trémolite. Dans ces études, il n'y avait pas d'augmentation concluante de l'incidence des tumeurs à d'autres sites que le poumon et la plèvre. Il est généralement considéré que le potentiel cancérogène de ces fibres augmente avec leur longueur. Ci-dessous quelques exemples d'études par inhalation basés sur la sélection opérée dans le rapport du CIRC [36].

Des rats (48 rats / groupe) ont été exposés au chrysotile (2 et 10 mg/m³), à la crocidolite (5 et 10 mg/m³) ou à l'amosite (10 mg/m³) 7h par jour, 5 jours par semaine pendant 224 jours. Les incidences de tumeurs (adénomes, carcinomes, mésothéliomes pleural et péritonéal) étaient pour le chrysotile de 15/40 à 10 mg/m³ et 9/42 à 2 mg/m³, pour la crocidolite de 1/43 à 10 mg/m³ et 3/43 à 5 mg/m³, et pour l'amosite de 2/43 à 10 mg/m³. D'après les auteurs la plus forte proportion de tumeurs liée à l'exposition au chrysotile pouvait être expliquée par la proportion de fibres de plus de 20 µm dans la poussière de chrysotile utilisée (72 f/mL, pour 2 mg/m³) par rapport à la crocidolite (17 f/mL, pour 5 mg/m³) et à l'amosite (6 f/mL, pour 10 mg/m³). En plus des tumeurs pulmonaires, un nombre relativement important de tumeurs extrapulmonaires du tissu conjonctif péritonéal était observé [46].

Des rats mâles et femelles (20 rats / groupe et par sexe) ont été exposés à 10 mg/m³ d'ériéronite, 7h par jour, 5 jours par semaine pendant 12 mois. Sur 28 rats, 27 ont développé des mésothéliomes pleuraux. Aucune tumeur pulmonaire n'a été observée [51].

Des rats mâles ont été exposés à la crocidolite : 10 mg/m³ (1610 fibres OMS/mL, de longueur > 5 µm, contenant 236 fibres > 20 µm), 6h par jour, 5 jours par semaine. L'exposition a été arrêtée après 10 mois en raison d'une mortalité inattendue interprétée comme un dépassement de la dose maximale tolérée. Sur 106 rats, 14 rats (13,2 %) qui ont survécu à la deuxième année ou plus, sont décédés d'une tumeur pulmonaire (5 de ces rats ont développé un carcinome pulmonaire) et un rat a également développé un mésothéliome. Dans le groupe témoin, 2 rats sur 126 ont développé des adénomes pulmonaires [52].

Des hamsters dorés mâles (125 hamsters / groupe) ont été exposés à des concentrations de 0,8 ; 3,7 ou 7,1 mg/m³ d'amosite 6h par jour, 5 jours par semaine, pendant 78 semaines suivie de 6 semaines sans exposition. Parmi les animaux ayant survécu pendant au moins 32 semaines, les mésothéliomes pleuraux ont été respectivement de 3/83, 22/85 et 17/87. Aucun mésothéliome n'a été observé chez 83 témoins non traités et aucune tumeur pulmonaire n'a été observée dans aucun groupe [53].

Pour les autres voies d'exposition, des échantillons des six types d'amiante ont été administrés à des rats par injections intrapleurale ou intrapéritonéale dans de nombreuses études [36]. De manière constante, l'induction du mésothéliome a été observée lorsque les échantillons contenaient un nombre suffisant de fibres de longueur > 5 µm. Seules quelques études ont été menées par instillation intratrachéale de crocidolite chez le rat et le hamster avec des tumeurs pulmonaires malignes observées chez le rat et des mésothéliomes pleuraux et des tumeurs pulmonaires malignes chez le hamster. Le chrysotile, la crocidolite et l'amosite administrés dans l'alimentation des rats et des hamsters n'ont pas entraîné d'augmentation de l'incidence des tumeurs gastro-intestinales.

Synthèse des mécanismes de cancérogenèse

La cancérogenèse est un processus en plusieurs étapes. Les fibres d'amiante peuvent initier un événement génotoxique ; elles ont aussi un rôle dans l'activation de la promotion tumorale, événement non génotoxique impliquant la prolifération cellulaire chronique [54, 55].

Les mécanismes de cancérogenèse liés aux fibres d'amiante ne sont pas actuellement totalement élucidés, mais la convergence générale des résultats expérimentaux et épidémiologiques permet de proposer une séquence d'événements. En particulier, une séquence d'événements susceptible de conduire au développement du mésothéliome malin diffus a été proposée dans la revue générale de Lippmann [37] sur la base d'une analyse des données expérimentales publiées :

- Pénétration de fibres de diamètre < 0,1 µm à travers les épithéliums pulmonaires qui atteignent la plèvre ou le péritoine par drainage lymphatique ;
- Rétention des fibres fines de longueur > 5 µm dans les stomates de la plèvre pariétale ;
- Libération d'espèces réactives de l'oxygène (stress oxydant) qui provoque une lésion aiguë de la monocouche de cellules mésothéliales tapissant les espaces pleuraux ou péritonéaux ;
- Réparation de la lésion aiguë de la muqueuse mésothéliale par la prolifération de cellules mésothéliales adjacentes non lésées ;
- Interaction directe des fibres d'amiante avec la population de cellules mésothéliales en régénération pouvant provoquer des aberrations chromosomiques et l'aneuploidie. Des dommages supplémentaires à l'ADN peuvent être produits par des espèces réactives de l'oxygène formées par catalyse à la surface de la fibre ;
- Amorçage et activation de l'inflammasome NLRP3 par des fibres de crocidolite, conduisant à la libération de cytokines proinflammatoires (IL-1 β, IL-6, IL-8) et du facteur de croissance de l'endothélium vasculaire (VEGF) ;
- Emergence d'une sous-population de cellules à prolifération autonome secondaire à des épisodes répétés de lésions et de régénérations des cellules mésothéliales ;
- Production de facteurs de croissance favorisant la croissance d'une tumeur invasive par les cellules mésothéliales néoplasiques.

La notion de fibres pathogènes définies comme des fibres « suffisamment longues, minces et biopersistantes » a fait l'objet de nombreux débats ainsi que les différences dans les relations exposition-réponse (ou dose interne-réponse) des fibres d'amiante chez l'Homme et chez le rat. Il en est de même des différences potentielles de cancérogénicité du chrysotile comparé aux amiantes amphiboles ; la biopersistance plus élevée pour le groupe des amphiboles peut expliquer cette différence. Font également débat, les extrapolations des relations exposition-réponse à partir des résultats d'anciennes études par inhalation : souvent réalisées à de fortes concentrations elles doivent être interprétées avec prudence, car les effets observés peuvent avoir été influencés par une surcharge de la capacité de clairance [37].

Effets sur la reproduction

La reprotoxicité potentielle de l'amiante est peu documentée.

Un passage transplacentaire a été décrit après ingestion (gavage) chez la souris (chrysotile) [56] et après injection intraveineuse chez le rat (chrysotile) [57] et la souris (crocidolite) [58].

Chez la souris, l'ingestion d'amiante (chrysotile) via l'eau de boisson pendant la grossesse n'a pas montré d'augmentation de l'incidence des malformations [59].

Chez la souris CD1, une augmentation significative de l'incidence des malformations externes et squelettiques (réduction des membres, fusion vertébrale) a été décrite après injection unique (crocidolite, amosite, chrysotile) par voie intra péritonéale à J9 de la gestation par rapport à un groupe contrôle [60].

Toxicité sur l'Homme

Toutes les formes d'amiante sont cancérogènes pour l'Homme. L'exposition à l'amiante peut entraîner des mésothéliomes, des cancers broncho-pulmonaires, du larynx, et de l'ovaire. Une association positive a également été observée entre l'exposition à l'amiante et le cancer du pharynx, de l'estomac, et le cancer colorectal (niveau de preuve insuffisant). L'exposition à l'amiante peut être responsable de pathologies pleuropulmonaires non malignes comme les plaques pleurales, l'asbestose, la pleurésie bénigne, ainsi que la fibrose de la plèvre viscérale.

Toxicité chronique

Pathologies pleuro pulmonaires non malignes [61 à 74]

■ Plaques pleurales

Il s'agit de plages circonscrites de tissu conjonctif, riches en collagène, pauvres en cellules, recouvertes de cellules mésothéliales normales. Elles touchent presque exclusivement la plèvre pariétale. Elles sont le plus souvent bilatérales et asymétriques.

Les plaques pleurales sont la plus fréquente des pathologies liées à l'inhalation de fibres d'amiante. Elles apparaissent en général plus de 15 ans après le début de l'exposition. Leur prévalence est associée à l'exposition cumulée, mais il n'a pas été identifié de seuil d'exposition en dessous duquel le risque serait nul.

Le diagnostic est porté à l'imagerie. La tomodensitométrie thoracique (TDM) est plus sensible et spécifique que la radiographie thoracique pour la détection de plaques pleurales.

Les plaques pleurales sont généralement asymptomatiques. Un retentissement sur la fonction respiratoire est cependant possible en fonction de l'étendue des plaques.

Les plaques pleurales peuvent évoluer vers une calcification progressive. La présence de plaque pleurale a été associée à un excès de risque de mésothéliome (incidence) et de cancer bronchopulmonaire (mortalité, et incidence chez les non fumeurs) dans une cohorte française de travailleurs ayant été exposés à l'amiante (cohorte ARDCO), après ajustement sur l'index d'exposition cumulée à l'amiante.

■ Asbestose

L'asbestose est la fibrose pulmonaire secondaire à l'inhalation d'amiante ; c'est une pneumoconiose.

Une relation dose-effet est décrite entre le niveau d'exposition cumulée à l'amiante, la fréquence et la sévérité de l'asbestose. L'asbestose est rare pour des niveaux d'exposition inférieurs à 25 f/mL années y compris en ayant recours à la TDM thoracique. La latence entre le début de l'exposition et les premières anomalies cliniques ou radiologiques est généralement d'une vingtaine d'années, mais peut être plus courte pour des expositions intenses.

Initialement, l'asbestose peut être asymptomatique. Les signes cliniques ne sont pas spécifiques, ils peuvent s'observer dans d'autres pneumopathies interstitielles. La fonction respiratoire peut être normale dans les formes initiales ou limitées. Puis, une diminution de la capacité de diffusion du monoxyde de carbone peut être observée, ainsi qu'un trouble ventilatoire restrictif.

Le diagnostic d'asbestose repose sur un faisceau d'arguments comprenant la confirmation d'anomalies compatibles à l'imagerie ou à l'histologie, la confirmation d'une exposition à l'amiante et l'absence de tout autre diagnostic. Dans certains cas, d'autres éléments d'orientation diagnostique peuvent être recherchés.

Les signes radiologiques ne sont pas spécifiques, ils peuvent être observés également dans d'autres pneumopathies interstitielles. Une classification internationale des radiographies de pneumoconiose a été proposée par le Bureau international du travail (BIT) pour standardiser la lecture des clichés à des fins épidémiologiques. La TDM thoracique est un outil diagnostique plus sensible et spécifique que la radiographie thoracique. Les lésions prédominent généralement au niveau postérobasal et périphérique. Des anomalies pleurales non malignes (plaques pleurales...) peuvent être associées. Les anomalies radiologiques peuvent continuer d'évoluer après l'arrêt de l'exposition à l'amiante. La progression dépend des niveaux d'exposition passés. À exposition cumulée identique à l'amiante, l'asbestose radiologique semble majorer le risque de cancer broncho-pulmonaire (CBP), surtout les formes rapidement évolutives d'asbestose.

■ Pleurésie bénigne

Le diagnostic repose sur plusieurs critères, en particulier : une exposition documentée à l'amiante, l'absence d'autre cause identifiée de pleurésie, l'absence de malignité pleurale dans les 3 ans qui suivent la découverte de l'épanchement. Le temps de latence moyen est de l'ordre de 30 ans, mais des latences de moins de 10 ans ont également été rapportées. L'épanchement peut être uni ou bilatéral, il est généralement peu abondant, peu ou asymptomatique, parfois récidivant. L'évolution peut se faire vers une régression spontanée, ou vers une fibrose de la plèvre viscérale.

■ Fibrose de la plèvre viscérale (ou épaissements pleuraux viscéraux)

La fibrose de la plèvre viscérale est considérée généralement comme une séquelle de la pleurésie bénigne. Elle s'accompagne d'une symphyse des deux feuillets pleuraux. Les épaississements pleuraux sont situés préférentiellement dans les régions postérieures et inférieures de la paroi thoracique. À la radiographie thoracique, la fibrose de la plèvre viscérale s'associe à un comblement du cul de sac diaphragmatique homolatéral. À la TDM thoracique, la définition généralement retenue est un épaississement pleural, quelles qu'en soient l'étendue et l'épaisseur, associé à un retentissement parenchymateux à type de bandes parenchymateuses ou d'atélectasies par enroulement, situées au contact de l'épaississement. Des adhérences entre la plèvre et la paroi thoracique sont souvent observées.

La fibrose de la plèvre viscérale est moins fréquente que les plaques pleurales. La prévalence varie en fonction de l'exposition cumulée (pas de seuil d'exposition identifié) et du temps écoulé depuis le début de l'exposition. Comme pour la pleurésie bénigne, le temps de latence moyen est de 30 ans, mais des latences plus courtes (moins de 10 ans) ont également été décrites dans le cas de fortes expositions. Le retentissement clinique est généralement plus important que celui des plaques pleurales (douleur thoracique, voire altération de la fonction respiratoire de type trouble ventilatoire restrictif).

Effets cancérogènes

Dans la dernière évaluation de la cancérogénicité de l'amiante du CIRC, le groupe de travail conclut qu'il existe des preuves suffisantes chez l'Homme de la cancérogénicité de toutes les formes d'amiante (chrysotile, crocidolite, amosite, trémolite, actinolite et anthophyllite) (groupe 1). L'amiante provoque le cancer du poumon, le mésothéliome pleural et péritonéal, le cancer du larynx et de l'ovaire (niveau de preuve suffisant). Des associations ont également été observées entre l'exposition à toutes les formes d'amiante et le cancer du pharynx, de l'estomac et le cancer colorectal (niveau de preuve limité).

■ Cancer broncho-pulmonaire [11, 36, 75 à 80]

Il peut s'agir de tout type histologique et de toutes localisations.

L'association entre cancer du poumon et exposition professionnelle à l'amiante est rapportée dans diverses industries utilisant et produisant de l'amiante. L'excès de risque est également décrit en l'absence d'asbestose. La forme de la relation dose-effet (linéaire ou non) avec l'amiante reste controversée. Il n'a pas été identifié de seuil d'exposition en-dessous duquel le risque de cancer du poumon serait nul. Le délai de survenue du cancer du poumon varie de 10 à plus de 20 ans après le début de l'exposition. Le risque de cancer du poumon est augmenté en cas d'exposition simultanée au tabac (action synergique avec l'amiante), mais il est aussi établi chez les non-fumeurs.

Des effets sur la santé (notamment une augmentation du risque de cancer du poumon) ont également été décrits chez des travailleurs exposés majoritairement à des fibres courtes d'amiante / particules minérales allongées d'intérêt (PMAI) courtes, sans qu'il ne soit possible d'exclure le rôle concomitant de l'exposition à des fibres longues.

Dans un rapport publié en 2024, l'ANSES conclut que malgré des difficultés d'interprétation, les données chez l'Homme vont dans le sens d'un effet sanitaire des FCA [18].

■ Mésothéliome [36, 67, 69, 81 à 89]

Il s'agit d'une tumeur maligne, développée aux dépens des cellules qui tapissent les cavités séreuses. La localisation initiale la plus fréquente est la plèvre, puis de façon moins fréquente, le péritoine et encore plus rarement, le péricarde ou la tunique vaginale ou testiculaire.

L'association entre mésothéliome et exposition professionnelle à l'amiante est rapportée dans diverses industries utilisant et produisant de l'amiante. La relation dose-effet entre l'exposition à l'amiante et le mésothéliome est largement documentée. Il n'a pas été identifié de seuil d'exposition en dessous duquel le risque d'apparition serait nul. Le mésothéliome pleural survient après une longue période de latence (moyenne de 40 ans). Le rôle du tabac dans la genèse du mésothéliome n'a pas été démontré.

Le diagnostic de certitude est histologique, il s'aide de l'immunohistochimie. L'histologie est basée sur la classification anatomopathologique de l'OMS de 2021 des tumeurs de la plèvre et du péricarde. De nombreux biomarqueurs sont à l'étude pour évaluer leur intérêt dans le diagnostic précoce. Aucun n'est encore recommandé de façon systématique.

■ Cancer du larynx [36, 90]

Une relation causale est décrite entre l'exposition à l'amiante et le cancer du larynx. Un excès de risque a été associé à certains secteurs d'activité (exemples : chantiers navals, amiante-ciment, mines et moulins, amiante-textile, isolation, construction) et certaines professions (exemples : peintres, techniciens de chauffage ou de ventilation, mécaniciens, électriciens, ouvriers métallurgistes). Selon les études, le risque augmente à partir de 25, 30 ou 40 ans depuis la première exposition à l'amiante ; et à partir de 20 ou 30 ans d'exposition.

■ Cancer de l'ovaire [36, 90]

Une relation causale est décrite entre l'exposition à l'amiante et le cancer de l'ovaire, même en tenant compte de potentielles erreurs de classement de ces cancers liées à la non utilisation de l'immunohistochimie. Un excès de risque de cancer de l'ovaire a été associé à certains secteurs d'activité (exemples : amiante-textile, amiante-ciment, fabrication d'isolants, pesage et fixation des rembourrages de masques à gaz). Plusieurs études montrent que le risque de mortalité par cancer de l'ovaire augmente avec le temps écoulé depuis la première exposition à l'amiante, et de façon significative à partir de 50 ans. Une étude montre une augmentation significative de ce risque à partir d'une durée d'exposition à l'amiante de 10 ans.

■ Cancer de l'appareil digestif [36, 91 à 94]

Plusieurs études se sont intéressées à l'association entre exposition à l'amiante et cancers digestifs. Dans sa dernière évaluation de la cancérogénicité de l'amiante, le CIRC retient une association positive entre l'exposition à l'amiante et le cancer du pharynx, de l'estomac et le cancer colorectal (niveau de preuve insuffisant). Une récente revue systématique et méta analyse met en évidence un excès de risque de cancer de l'œsophage (82 articles analysés avec métaRR à 1,17 IC 95 % [1,07-1,29]), de cancer de l'estomac (153 articles analysés avec méta RR à 1,14 IC 95 % [1,05-1,23]), et de cancer colorectal (144 articles analysés avec méta RR à 1,16 IC 95 % [1,08-1,24]) en lien avec l'exposition professionnelle à l'amiante ; et suggère une augmentation du risque avec l'exposition.

Effets sur la reproduction

[95 à 97]

La reprotoxicité potentielle de l'amiante est peu documentée (hors atteintes des organes de la reproduction comme le cancer de l'ovaire abordé dans le chapitre « Effets cancérogènes »).

La présence de fibres d'amiante a été décrite dans des organes et/ou tissus (poumons, foie, muscles, placenta) de bébés morts-nés, mais aussi dans des placentas de bébés vivants, suggérant la possibilité d'un passage transplacentaire des fibres d'amiante. Dans une autre étude, la présence de fibres d'amiante dans des tissus de bébés morts-nés a été associée à des anomalies du placenta (comme l'infarctus, l'hématome, la chorioamnionite) et des antécédents d'avortement chez la mère.

Cohérence des réponses biologiques chez l'homme et l'animal

Les résultats des études chroniques par inhalation indiquent que les rats sont des modèles appropriés pour les maladies pulmonaires humaines induites par l'amiante, avec apparition d'une inflammation chronique, d'une fibrose pulmonaire, d'un cancer du poumon et d'un mésothéliome. Les hamsters semblent être plus sensibles que les rats au développement du mésothéliome, mais moins sensibles au développement des tumeurs pulmonaires [98].

D'après les résultats épidémiologiques, les fibres d'amphibole (notamment crocidolite et trémolite) sont plus souvent associées au mésothéliome et aux plaques pleurales que les fibres de chrysotile lesquelles sont plus souvent associées avec le cancer pulmonaire et l'asbestose. Ce résultat n'a pu être testé de manière adéquate dans les études par inhalation car le rat développe peu de mésothéliomes sur ses deux ans d'espérance de vie [37].

En terme de cohérence animal-homme, le rapport de l'Afsset de 2009 [10] mentionne que « la cohérence entre les études toxicologiques menées chez l'Homme ou chez l'animal est plus qualitative que quantitative, et n'est pas nécessairement homogène entre organes cibles (par exemple le poumon et la plèvre). Ainsi, la sensibilité de l'homme au cancer du poumon provoqué par l'inhalation de fibres d'amiante a été estimée environ 100 à 200 fois plus élevée que chez le rat ; la concentration de fibres de crocidolite dans le poumon du rat lors d'une étude négative était plus de 1 000 fois supérieure à la concentration médiane dans les poumons de travailleurs atteints de mésothéliome professionnellement exposés à l'amiante [10].

Exposition professionnelle

■ Expositions anciennes

Avant l'interdiction de l'amiante en 1997, les expositions professionnelles à ces fibres ont pu être très élevées dans plusieurs secteurs d'activité : lors de l'extraction, de la transformation et de l'utilisation des matériaux contenant de l'amiante. Il s'agit en particulier de l'industrie minière et du textile, de la fabrication de matériaux, du bâtiment ou encore de la construction navale. Des mesures compilées au niveau international [1], prélevées à postes fixes et comptées en MOCP, ont montré des pics de concentrations pouvant atteindre environ 800 000 f/L lors de travaux d'isolation dans les navires et dans le bâtiment, 300 000 f/L dans l'extraction minière, 200 000 f/L dans l'industrie textile, 100 000 f/L lors de la fabrication d'amiante-ciment, et 80 000 f/L dans la construction de bâtiments. Les ordres de grandeur des moyennes sont respectivement [5 000 - 300 000] f/L dans la construction navale, [3 000 - 60 000] f/L dans l'isolation des bâtiments, [5 000 - 90 000] f/L dans les mines et l'industrie textile, [3 000 - 60 000] f/L dans la fabrication d'amiante-ciment et [2 000 - 20 000] f/L dans la construction des bâtiments. Ces valeurs correspondent à des situations de travail où de faibles voire aucune mesure de limitations des émissions de poussières n'étaient mises en œuvre.

Des vêtements de protection contre la chaleur (gants, leggings, cagoules, manteaux) fabriqués à partir de fibres d'amiante ont été portés par les travailleurs dans des secteurs comme la fabrication du verre, les fonderies de métaux et la fabrication de l'acier [99]. Selon l'âge de ces vêtements, de neuf jusqu'à 8 semaines d'utilisation, et selon les postes occupés par les opérateurs (gardiens, postes chauds, assistants, postes divers), les concentrations moyennes des fibres de longueur supérieure à 5 µm mesurées par MOCP sont comprises entre 500 et 26 200 f/L. Par comparaison, les moyennes des concentrations mesurées par microscopie électronique, sont comprises entre 18 000 et 96 000 f/L pour les mêmes critères de fibres. L'auteur indique que les prélèvements en vue de la comparaison entre les deux méthodes de mesurage n'ont pas été effectués simultanément mais portaient sur les mêmes opérateurs vêtus des mêmes vêtements de protection contre la chaleur. L'écart entre le mesurage par MOCP et par microscopie électronique provient du fait que la MOCP ne permet pas de compter les fibres les plus fines, c'est à dire celles dont le diamètre est inférieur à 0,2 µm.

■ Niveaux d'empoussièrement actuels

En 2009, la Direction générale du travail a mené une campagne d'évaluation des empoussètements en fibres d'amiante des couples « matériau-technique » mis en œuvre sur les chantiers de désamiantage. L'évaluation était réalisée par prélèvements sur opérateurs analysés par microscopie électronique à transmission analytique (META). L'INRS a établi en 2011 un rapport de synthèse des résultats [100] de cette campagne et des recommandations de prévention en milieu de travail. Dans le cadre de cette campagne, les fibres courtes d'amiante FCA ($L \leq 5 \mu\text{m}$, $D < 3 \mu\text{m}$ et $L/D > 3$), les fibres fines d'amiante FFA ($L > 5 \mu\text{m}$, $0,02 < D < 0,2 \mu\text{m}$ et $L/D > 3$) ainsi que les fibres de dimension dites « OMS » telles qu'elles sont observables par MOCP ($L > 5 \mu\text{m}$, $0,2 < D < 3 \mu\text{m}$ et $L/D > 3$) ont été dénombrées. 265 échantillons ont été analysés correspondant à 29 situations de travail différentes, en termes de techniques de retrait et de matériaux contenant de l'amiante (MCA). La campagne a mis en évidence une forte proportion en moyenne de FCA dans les échantillons (68 %) et des proportions similaires de FFA (17 %) et de fibres OMS (15 %). Les concentrations moyenne et maximum d'amiante pour chaque catégorie dimensionnelle de fibres sont de 14 811 f/L et 256 072 f/L pour les FCA, 1 822 f/L et 51 450 f/L pour les FFA, et 866 f/L et 23 025 f/L pour les fibres « OMS ». Les retraits de plâtres amiantés (jusqu'à 60 443 f/L), de flocages (jusqu'à 29 304 f/L), de bâtiments sinistrés (jusqu'à 21 241 f/L) et de peintures amiantées (jusqu'à 8 580 f/L) sont les plus émissifs, notamment lorsque les techniques de retrait sont agressives (ultra haute pression (UHT) et très haute pression (THP), burinage, ponçage). L'émissivité ne peut pas être corrélée avec la nature friable ou non friable du matériau. Elle résulte de la combinaison entre le matériau et la technique utilisée pour son retrait [101].

Ces résultats ont conduit les pouvoirs publics à baser la réglementation « santé au travail » en 2012 sur les niveaux d'empoussièrement des processus, et 3 niveaux d'empoussètements ont été définis (1^{er} niveau : concentration < 100 f/L ; 2^e niveau : $100 \leq C < 6 000$ f/L ; 3^e niveau : $6 000 \leq C < 25 000$ f/L). Selon le niveau d'empoussièrement, les moyens de prévention à mettre en œuvre sont croissants.

De 2012 à 2015, une campagne de vérification par META des facteurs de protection assignés des appareils de protection respiratoire [102] couramment portés sur les chantiers de désamiantage a confirmé l'importante émissivité des plâtres amiantés et des flocages en lien avec les techniques de retrait utilisées. Lors de cette étude, 718 prélèvements sur opérateurs ont été effectués en situation de travail, à l'extérieur et à l'intérieur des masques. L'étude a porté sur 6 chantiers de troisième niveau d'empoussièrement *a priori*, où les opérateurs étaient équipés d'appareils de protection respiratoire à adduction d'air à la demande à pression positive, et sur 3 chantiers de deuxième niveau d'empoussièrement *a priori*, où les appareils de protection respiratoire portés étaient des masques complets à ventilation assistée TM3P. Sur les chantiers de troisième niveau, en ce qui concerne les prélèvements individuels réalisés à l'extérieur du masque respiratoire, les retraits d'enduits, d'insonorisants et de mastics par les techniques respectivement de grenailage, sablage et grattage ont révélé la présence de chrysotile et d'amosite à des concentrations comprises entre 8 et 154 941 f/L. Les flocages retirés par grattage manuel étaient constitués d'amosite et les concentrations mesurées étaient de 49 à 84 731 f/L. Les calorifuges retirés par grattage manuel étaient composés de chrysotile et de crocidolite à des concentrations comprises entre 6 et 508 f/L. Les plâtres amiantés étaient tous composés de chrysotile. Leur retrait par grattage pneumatique a montré des empoussètements de 402 à 235 838 f/L, ceux ayant fait l'objet d'un traitement par grattage à l'aide d'un porte-outil télécommandé et par très haute pression, des concentrations comprises entre 74 et 145 290 f/L. 70 % des prélèvements à l'intérieur des masques n'ont révélé aucune fibre d'amiante. Pour 7 % des prélèvements, les concentrations à l'intérieur des masques dépassaient 10

f/L, tous ces dépassements correspondant à des situations de traitement de plâtres amiantés. La concentration maximale a été mesurée à 336 f/L et correspondait à l'exposition d'un opérateur lors de burinage de plâtres amiantés. Sur les chantiers de deuxième niveau, les empoussièrlements mesurés à l'extérieur du masque ont concerné des chantiers de burinage de colles de carrelage, de ponçage des colles de sols amiantées à l'aide d'une rectifieuse et de désembotage manuel de canalisation en amiante ciment. Tous les matériaux contenaient du chrysotile, les colles de sols contenaient également de l'amosite et les canalisations de la crocidolite. Les concentrations étaient comprises entre 25 et 8 106 f/L pour le burinage des colles de carrelage, entre 2 et 563 f/L pour le meulage de colles de sol et entre 3 et 302 f/L pour les canalisations. Toutes les concentrations mesurées à l'intérieur des masques sur ces chantiers de deuxième niveau étaient inférieures à 8,2 f/L.

En 2012, une étude conduite par l'INRS et la Confédération de l'artisanat et des petites entreprises du bâtiment (CAPEB) visant à qualifier un dispositif passif expérimental de prélèvement d'amiante a été menée auprès d'une population de 63 plombiers-chauffagistes volontaires, en vue de les sensibiliser sur leur risque d'exposition à ces fibres [103]. Le badge passif amiante devait être porté par ces professionnels au niveau de la zone respiratoire pendant une semaine au cours de leurs interventions de maintenance. Les badges collectés ont été analysés par META (NF X 43-050). 35 % des badges ont montré la présence d'amiante (les variétés chrysotile, amosite, crocidolite et trémolite ont été détectées). Les concentrations variaient de 4,4 f/L à 634 f/L. Parmi les personnes exposées, la moitié n'avait pas identifié ce risque.

Une campagne de mesurage des niveaux d'empoussièrlement dans les activités du second œuvre du bâtiment, concernant spécifiquement les interventions sur des matériaux, des équipements, des matériels ou des articles susceptibles de provoquer l'émission de fibres d'amiante (activités de « sous-section 4 »), appelée campagne « CARTO », a démarré en 2014. Elle relève d'une convention entre la DGT, l'Organisme professionnel de prévention du bâtiment et des travaux publics (OPPBTP) et l'INRS. Les résultats d'exposition de 15 situations de travail ont été publiés [104], pour lesquelles au moins dix mesurages par situation ont pu être effectués. Plusieurs situations de travail concernent les dalles et revêtements de sol amiantés, avec des résultats de 2,09 f/L à 8,4 f/L lors du perçage, entre 2,96 et 7 f/L pour le recouvrement, de 3 f/L pour le vissage et dévissage de dalles de sol et enfin de 2,9 à 7,8 f/L lors du décollement de quelques dalles. Les résultats vont de 2,9 à 7,7 f/L lors du perçage de peinture/enduit amiante intérieur et de 3 à 13,5 f/L lors du recouvrement de ces matériaux par de la peinture ou enduit, et de 2,84 à 9,2 f/L pour du recouvrement par de la toile de verre ou du papier peint. La dépose de papier-peint sur des enduits ou peintures amiantées ont montré des concentrations allant de 2,9 à 68,4 f/L et le grattage manuel de ces matériaux de 3 à 926,8 f/L. La découpe-démontage de canalisations en amiante-ciment en milieu extérieur par outil manuel génère des empoussièrlements en fibres d'amiante compris entre 2,1 et 259 f/L. Le démontage des toitures en amiante-ciment montre des concentrations comprises entre 3 et 1574 f/L. Le démoussage des toitures entraîne des concentrations allant de 3 à 267,3 f/L. Le perçage de colle de faïence amiantée montre des empoussièrlements de 2,96 à 71,8 f/L. Le décollement de carreaux de faïence collés avec de la colle amiantée ont montré des concentrations allant de 2,9 à 980,8 f/L. Enfin, le perçage de peintures et enduits de façades en extérieur a généré des empoussièrlements compris entre 2,3 et 9,9 f/L. Ces résultats proviennent de modes opératoires écrits intégrant la mise en œuvre effective de moyens de protection collective comme l'aspiration à la source et le mouillage des matériaux, par des personnes formées à la prévention des risques liés à l'amiante, et dont les interventions ont été réalisées sous la surveillance d'un superviseur de l'OPPBTP ou d'une Caisses d'assurance retraite et de la santé au travail (Carsat).

En 2015, une revue des expositions à l'amiante chrysotile lors de travaux sur chaussée amiantée a été réalisée à partir des données de suivi de 53 chantiers menés en France [105]. Dans cette revue, les auteurs se sont intéressés aux mesures environnementales effectuées en limite de chantier et dans la zone de chantier, ainsi qu'aux mesures sur opérateurs lors de différentes situations de travail. Parmi les 302 mesurages réalisés, 173 étaient des mesures sur opérateur et 129 des mesures environnementales. En limite de chantier, toutes les analyses environnementales ont un résultat inférieur à 5 f/L ; dans la zone de chantier, la valeur maximale est de 14,5 f/L. En ce qui concerne les concentrations mesurées sur opérateur, les opérations de sciage et de burinage ont montré respectivement des valeurs maximales de 95,6 et 968 f/L. Pour le conducteur de la fraiseuse, l'étendue des concentrations est de 1,35 à 69 f/L, celle du conducteur de la pelle est comprise entre 1,25 et 13,3 f/L. Le régleur au sol est exposé à des concentrations comprises entre 1,5 et 32,7 f/L, et les opérateurs au sol chargés des reprises de tas de fraïats à la pelle manuelle pour effectuer le nettoyage de la zone entre 0,75 et 39,4 f/L. Les concentrations maximales relevées sur les opérateurs sont inférieures à 5 f/L lors du thermo-décapage, de l'enrobage à froid, de la réparation de nid de poule, du carottage, du décapage ou du décroûtage. Si cette étude a porté uniquement sur le mesurage du chrysotile, il convient de préciser que 10 % des échantillons analysés ont néanmoins été signalés comme contenant des fibres d'actinolite.

De 2018 à 2020, une campagne de mesurage des poussières inhalables et d'amiante a été menée sur plusieurs types d'installations de gestion des déchets de chantier, en Ile de France [106]. Celle-ci entre dans le cadre d'une convention signée entre la Fédération nationale des activités de la dépollution et de l'environnement (Fnade), la Fédération professionnelle des entreprises du recyclage (Federec-BTP), la Caisse régionale de l'Assurance Maladie Ile de France (Cramif) et l'INRS. Des échantillons de matériaux suspectés de contenir de l'amiante ont été prélevés dans 3 types d'installations non autorisées à admettre les déchets en contenant ; de l'amiante a été détecté dans 10 des 15 échantillons. De plus, 46 prélèvements atmosphériques ont été exploités pour la recherche d'amiante sur 9 sites, dont 26 prélèvements individuels sur opérateur, 10 prélèvements d'ambiance au poste de travail et 10 prélèvements environnementaux en limite de site. Concernant les mesures individuelles, aucun dépassement de la valeur de référence de 10 f/L n'est observé sur les installations autorisées à recevoir des déchets d'amiante. Deux dépassements ont été mesurés, avec une concentration maximale de 14,8 f/L observé sur des opérateurs travaillant au contact des déchets en milieu intérieur. Pour les prélèvements environnementaux au poste de travail, l'étendue des concentrations est de 0,9 à 6,1 f/L, cette valeur maximale ayant été mesurée sur un site non autorisé à admettre les déchets d'amiante, en milieu extérieur, lors du déchargement dans des bennes à gravats équipées d'un dispositif d'arrosage fonctionnant par intermittence lors du prélèvement. Les concentrations mesurées pour les prélèvements en limite de site sont inférieures à 5 f/L.

La Direction générale de la santé a diligenté en 2016 une étude sur l'entretien des dalles de sol vinyle amiante à laquelle ont participé le Laboratoire analyse, fibres et particules de la ville de Paris (LAFP), la Cramif, le Centre technique international de la propreté (CITP) et l'INRS [107]. Ces travaux avaient pour objectifs d'acquérir des connaissances sur les expositions des opérateurs et celles environnementales à l'amiante en fonction des modes opératoires mis en œuvre, de vérifier la présence de fibres d'amiante dans les effluents (eau de lavage) et les consommables (lingettes, bandeaux de lavage, disques de mono-brosses...) et enfin de mesurer la part de fibres d'amiante réglementaires ($L > 5 \mu\text{m}$, $D < 3 \mu\text{m}$ et $\text{ratio } L/D > 3$) et de fibres courtes d'amiante émises ($L \leq 5 \mu\text{m}$). Au cours de cette campagne, 15 prélèvements individuels sur opérateur et 47 prélèvements environnementaux ont été collectés. Les modes opératoires visés par l'étude sont le balayage à l'humide, le lavage manuel, le lavage mécanisé par voie humide, la méthode spray, le lustrage, et le décapage à l'humide. Le respect des modes opératoires déployés a conduit à une faible exposition aux fibres d'amiante. Sur les prélèvements sur opérateur, les fibres réglementaires sont absentes et les fibres courtes sont présentes sur 2 prélèvements relatifs au balayage à l'humide et au décapage au mouillé avec cependant des concentrations inférieures à 10 f/L. Les résultats des mesures environnementales respectaient tous la valeur de référence de 5 f/L concernant les fibres réglementaires, à l'exception d'un résultat à 11,5 f/L lors d'une opération de lustrage. Cette valeur est expliquée par la présence d'un amas de fibres courtes présentant les dimensions d'une fibre réglementaire ($L > 5 \mu\text{m}$). Des fibres courtes d'amiante ont été détectées dans des prélèvements environnementaux lors d'opérations de décapage à l'humide, de lustrage et de balayage à l'humide / lavage manuel avec des concentrations maximales respectives de 75,82 f/L, 26,5 f/L et 15,2 f/L. Par ailleurs, la présence systématique de fibres de chrysotile dans les eaux de lavage et les consommables a été détectée. Les préconisations visant à prévenir l'exposition des salariés faites à l'issue de cette étude ont servi de base à l'écriture de la recommandation R 514 adoptée en 2022 par le Comité technique national des activités de services (intérim, santé, nettoyage...) et destinée aux chefs d'entreprises de propreté ainsi qu'aux donneurs d'ordres [108].

Une étude menée sur des papiers d'archives datant des années 1900, fabriqués à partir d'une pâte à papier contenant des fibres d'anthophyllite-amiante, a montré une exposition individuelle des opérateurs manipulant les documents jusqu'à 6,03 f/L. Les documents manipulés ont conduit à une concentration d'amiante anthophyllite dans l'air du local de travail de 10,07 f/L, soit deux fois supérieure au seuil de gestion fixé dans le code de la santé publique [109].

Le secteur de la collecte et de l'assainissement des eaux usées est identifié comme pouvant générer de possibles expositions à l'amiante des professionnels de ce secteur. En effet, l'amiante présent dans les eaux collectées peut être issu d'eaux résiduelles de chantiers de désamiantage (en cas de défaillance des dispositifs de filtration de l'eau contaminée), de la collecte d'eaux de drainage de surfaces contenant naturellement de l'amiante (eaux pluviales sur terrains amiantifères), ou encore du fait des conduits de collecte des eaux pluviales ou usées en amiante ciment, usagés ou altérés lors d'opérations d'hydrocurage ou de maintenance. Ainsi, les égoutiers, les hydrocureurs, les opérateurs chargés de la gestion du traitement des eaux usées en station d'épuration (STEP) et les agents de maintenance des égouts et des STEP peuvent être exposés à l'amiante [110].

Une campagne de mesurage des expositions dans les activités d'hydrocurage menée entre 2016 et 2020 a permis de caractériser des expositions individuelles aux fibres d'amiante comprises entre 3 f/L et 1305 f/L. Toutefois, 96 % des 61 prélèvements individuels réalisés étaient de premier niveau d'empoussièrement (< 100 f/L). Plusieurs variétés de fibres d'amiante ont été mesurées dans le cadre de cette campagne : chrysotile, amosite et crocidolite. Par ailleurs, les prélèvements d'ambiance ont montré une contamination possible de l'air dans l'environnement des interventions avec des mesurages compris entre 4,5 f/L et 572 f/L. Cependant, 62 % des 34 prélèvements d'ambiance réalisés étaient inférieurs à la valeur de gestion en santé publique (< 5 f/L) [111].

Dans le cadre de leurs obligations réglementaires et d'accréditation COFRAC, les organismes du contrôle de l'amiante en milieu de travail doivent renseigner le résultat des mesurages de l'amiante sur opérateurs, par META, dans la base SCOLA. Une extraction des données est mise à disposition du public à l'aide de l'application Scol@miante [112]. Cette application, permet d'estimer l'empoussièrement *a priori* d'un processus, par l'interrogation de quintuplets « type d'activité » (soit le retrait ou l'encapsulation d'amiante « sous-section 3 » ; soit les interventions sur des matériaux, des équipements, des matériels ou des articles susceptibles de provoquer l'émission de fibres d'amiante « sous-section 4 »), « matériau », « technique de traitement », « travail à l'humide », « captage à la source ». Le résultat de l'évaluation correspond à la valeur du percentile 95 de l'ensemble des valeurs présentes dans Scol@miante pour chaque quintuplet interrogé. Il est assorti d'un indice de confiance dépendant du nombre de données ayant permis l'évaluation. La mise à jour des données est effectuée annuellement. Au 31 décembre 2023, la base était alimentée de 199 355 mesures d'amiante réalisées en META validées depuis le 1^{er} juillet 2012.

Réglementation

Rappel : La réglementation citée est celle en vigueur en novembre 2024.

Les textes cités se rapportent essentiellement à la prévention du risque en milieu professionnel et sont issus du Code du travail, du Code de la sécurité sociale, du Code de la santé publique et du Code de l'environnement.

Un historique des textes réglementaires liés à l'amiante et parus depuis 1945 est disponible sur le site de l'INRS [113].

Sécurité et santé au travail

Mesures de prévention des risques chimiques (agents chimiques dangereux)

- Articles R. 4412-1 à R. 4412-57 du Code du travail.
- Circulaire DRT du ministère du travail n° 12 du 24 mai 2006 (non parue au JO).

Mesures de prévention des risques chimiques (agents cancérigènes, mutagènes, toxiques pour la reproduction dits CMR, de catégorie 1A ou 1B - amiante)

- Articles R. 4412-59 à R. 4412-75 et R. 4412-83 à R. 4412-93 du Code du travail.
- Circulaire DRT du ministère du travail n° 12 du 24 mai 2006 (non parue au JO).

Aération et assainissement des locaux

- Articles R. 4222-1 à R. 4222-26 du Code du travail.
- Circulaire du ministère du Travail du 9 mai 1985 (non parue au JO).
- Arrêtés des 8 et 9 octobre 1987 (JO du 22 octobre 1987) et du 24 décembre 1993 (JO du 29 décembre 1993) relatifs aux contrôles des installations.

Douches

- Article R. 4228-8 du Code du travail et arrêté du 23 juillet 1947 modifié, fixant les conditions dans lesquelles les employeurs sont tenus de mettre les douches à la disposition du personnel effectuant des travaux insalubres ou salissants (régime général).

Maladies à caractère professionnel

- Articles L. 461-6 et D. 461-1 et annexe du Code de la sécurité sociale : déclaration médicale de ces affections.

Maladies professionnelles

- Article L. 461-4 du Code de la sécurité sociale : déclaration obligatoire d'emploi à la Caisse primaire d'assurance maladie et à l'inspection du travail ; tableaux n°30, 30bis et 30ter.

Suivi Individuel Renforcé (SIR)

- Article R. 4624-23 du Code du travail.

Surveillance post-exposition ou post-professionnelle

- Article D. 461-23 du Code de la sécurité sociale.
- Article L. 4624-2-1 du Code du travail.

Entreprises extérieures

- Article R. 4512-7 du Code du travail et arrêté du 19 mars 1993 (JO du 27 mars 1993) fixant la liste des travaux dangereux pour lesquels il est établi par écrit un plan de prévention.

- **Travaux interdits**
 - Jeunes travailleurs de moins de 18 ans : article D. 4153-18 du Code du travail : interdiction pour les opérations susceptibles de générer une exposition à un empoussièrément de fibres d'amiante de niveau 1, 2 et 3 tels que définis à l'article R. 4412-98 du Code du travail. Des dérogations sont possibles sous certaines conditions pour les opérations de niveau 1 uniquement.
 - Travailleurs d'entreprises de travail temporaire et en CDD : article D. 4154-1 du Code du travail : interdiction de les affecter à des opérations d'entretien ou de maintenance sur des flocages ou calorifugeages, travaux de confinement, de retrait de l'amiante ou/et de démolition.
- **Mesures de prévention des risques d'exposition à l'amiante**
 - Articles R. 4412-94 à R. 4412-148 du Code du travail : risques d'exposition à l'amiante.
 - Articles R. 4412-97 à R. 4412-124 : dispositions communes à toutes les activités, « sous-section 2 ».
 - Articles R. 4412-125 à R.4412-143 : dispositions spécifiques aux opérations de retrait ou d'encapsulage de l'amiante, « sous-section 3 ».
 - Articles R. 4412-144 à R.4412-148 : dispositions spécifiques aux interventions sur des matériaux, des équipements, des matériels ou des articles susceptibles de provoquer l'émission de fibres d'amiante, « sous-section 4 ».
 - Arrêté du 23 février 2012 modifié par arrêté du 20 avril 2015 : formation à la prévention des risques liés à l'amiante.
 - Arrêté du 7 mars 2013 : équipements de protection individuelle.
 - Arrêté du 8 avril 2013 modifié par arrêté du 25 juillet 2022 : règles techniques et moyens de protection collective.
 - Arrêté du 25 juillet 2022 : certification des entreprises de traitement de l'amiante et conditions d'accréditation des organismes certificateurs.
 - Instruction DGT n° 2015-238 du 16 octobre 2015 : application du décret du 29 juin 2015 relatif aux risques d'exposition à l'amiante.
 - Articles L. 4731-1 à L. 4731- 54 du Code du travail : procédure d'arrêt de chantier du bâtiment et des travaux publics par l'inspecteur du travail.
- **Valeurs limites d'exposition professionnelle (Française)**
 - Articles R. 4412-100 à R. 4412-106 du Code du travail.
- **Valeurs limites d'exposition professionnelle (Européenne)**
 - Directive 2023/2668/CE du 22 novembre 2023 modifiant la Directive 2009/148/CE.
- **Fiche d'exposition à l'amiante**
 - Article R. 4412-120 du Code du travail.
- **Mesurage**
 - Arrêté du 14 août 2012 modifié par les arrêtés du 30 mai 2018, du 25 juillet 2022 puis du 4 juin 2024 : conditions de mesurage des niveaux d'empoussièrément, contrôle du respect de la valeur limite d'exposition professionnelle aux fibres d'amiante et conditions d'accréditation des organismes procédant à ces mesurages.
- **Repérage amiante avant travaux**
 - Décret n° 2017-899 du 9 mai 2017 : repérage de l'amiante avant certaines opérations.
 - Décret n° 2019-251 du 27 mars 2019 : repérage de l'amiante avant certaines opérations et protection des marins contre les risques liés à l'inhalation des poussières d'amiante.
 - Arrêté du 19 juin 2019 modifié par arrêté du 25 mars 2022 : repérage de l'amiante dans les navires, bateaux, engins flottants et autres constructions flottantes.
 - Arrêté du 16 juillet 2019 modifié par arrêté du 23 janvier 2020 : repérage de l'amiante dans les immeubles bâtis.
 - Arrêté du 13 novembre 2019 : repérage de l'amiante dans les matériels roulants ferroviaires.
 - Arrêté du 24 décembre 2020 : repérage de l'amiante dans les aéronefs.
 - Arrêté du 22 juillet 2021 : repérage de l'amiante dans les installations, structures ou équipements concourant à la réalisation ou la mise en œuvre d'une activité.
 - Arrêté du 4 juin 2024 : repérage de l'amiante dans les immeubles autres que bâtis tels que les ouvrages de génie civil, infrastructures de transports ou réseaux divers.
 - Arrêté du 1^{er} juillet 2024 : critères de certification des diagnostiqueurs intervenant dans les domaines du diagnostic amiante, électricité, gaz, plomb et termites, de leurs organismes de formation et exigences applicables aux organismes de certification.
- **Classification et étiquetage**

a) **Substance** amiante et substances contenant de l'amiante comme impureté

Le règlement (CE) n° 1272/2008 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 (L 353, JOUE du 31 décembre 2008), dit « Règlement CLP », introduit dans l'Union européenne le système général harmonisé de classification et d'étiquetage ou SGH. La classification et l'étiquetage de l'amiante figurent dans l'annexe VI du règlement. La classification est :

 - Cancérogénicité catégorie 1A ; H350
 - Toxicité spécifique pour certains organes cibles, exposition répétée, catégorie 1 ; H372(**)

(**) Selon les règles de classification préexistante, la classification s'appliquait pour une voie d'exposition donnée uniquement dans les cas où il existait des données justifiant la classification en fonction de cette voie. Le règlement CLP prévoit que la voie d'exposition ne doit être indiquée dans la mention de danger que s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie ne peut conduire au même danger. Faute d'informations sur les voies d'exposition non classées (absence de données ou absence d'effet), la classification préexistante a été convertie en classification CLP mais sans précision de voie d'exposition.

b) **Mélanges** contenant de l'amiante

 - Règlement (CE) n° 1272/2008 modifié.

c) **Emballages**

 - Décret n° 88-466 du 28 avril 1988 modifié : étiquetage ou marquage des produits contenant de l'amiante.

Interdiction / Limitations d'emploi

- Décret n° 96-1133 du 24 décembre 1996 modifié : interdiction de l'amiante.

- Arrêté du 24 décembre 1996 : formulaire de déclaration des exceptions au ministère du Travail.
- Arrêté du 12 juillet 2000 : liste des exceptions à l'interdiction.

Substance soumise à restriction

Annexe XVII du règlement (CE) n° 1907/2006 (REACH) établissant la liste des substances soumises à restriction ou limitation d'emploi :

- Point 6 : fibres d'amiante ;
 - Point 28 : substances figurant à l'annexe VI du règlement CLP et classées cancérogènes catégorie 1A ou 1B.
- Pour plus d'informations sur la nature de ces restrictions, se reporter au site de l'ECHA (<https://echa.europa.eu/fr/substances-restricted-under-reach>).

Protection de la population

- **Interdiction**
 - Décret n° 96-1133 du 24 décembre 1996 modifié : interdiction de l'amiante.
 - Décret n° 88-466 du 28 avril 1988 modifié : étiquetage ou marquage des produits contenant de l'amiante.
- **Obligations des propriétaires d'immeubles bâtis**
 - Articles R. 1334-14 à R. 1334-29-9, articles R. 1337-2 à R. 1337-5, annexe 13-9 du Code de la santé publique : protection de la population contre les risques sanitaires liés à une exposition à l'amiante dans les immeubles bâtis.
- **Repérage**
 - Annexe 13-9 du Code de la santé publique : listes A, B et C de matériaux contenant de l'amiante dans les immeubles bâtis.
 - Arrêté du 12 décembre 2012 modifié par arrêté du 26 juin 2013 : critères d'évaluation de l'état de conservation des matériaux et produits de la liste A contenant de l'amiante et contenu du rapport de repérage.
 - Arrêté du 12 décembre 2012 modifié par arrêté du 26 juin 2013 : critères d'évaluation de l'état de conservation des matériaux et produits de la liste B contenant de l'amiante et contenu du rapport de repérage.
 - Arrêté du 21 décembre 2012 modifié : recommandations générales de sécurité et contenu de la fiche récapitulative du « dossier technique amiante ».
 - Arrêté du 26 juin 2013 : repérage des matériaux et produits de la liste C contenant de l'amiante et contenu du rapport de repérage.
 - Arrêté du 1^{er} juin 2015 modifié par arrêté du 23 décembre 2020 : transmission au préfet des rapports de repérage des matériaux et produits de la liste A contenant de l'amiante.
 - Décret n° 2017-1442 du 3 octobre 2017 : prévention des risques liés à l'amiante à bord des navires.
 - Arrêté du 20 décembre 2017 : modèle-type de la grille d'évaluation et contenu du rapport de repérage dans le cadre du repérage de l'amiante à bord des navires.
 - Arrêté du 8 janvier 2018 : modalités d'accréditation des organismes d'inspection réalisant le repérage des matériaux et produits contenant de l'amiante à bord des navires.
- **Mesurage**
 - Arrêté du 19 août 2011 modifié par arrêté du 25 juillet 2022 : réalisation des mesures d'empoussièrement dans l'air des immeubles bâtis.
 - Arrêté du 19 août 2011 modifié par arrêté du 25 juillet 2022 : conditions d'accréditation des organismes procédant aux mesures d'empoussièrement en fibres d'amiante dans les immeubles bâtis.
 - Arrêté du 1^{er} octobre 2019 modifié par arrêté du 25 juillet 2022 : modalités de réalisation des analyses de matériaux et produits susceptibles de contenir de l'amiante, conditions de compétences du personnel et d'accréditation des organismes procédant à ces analyses.

Protection de l'environnement

- **Classification**
 - Article R. 541-7 du Code de l'environnement : classification des déchets.
 - Article R. 541-8 du Code de l'environnement : définition des déchets.
 - Décision n° 2014/955/JE de la Commission européenne du 18 décembre 2014 modifiant la décision 2000/532/CE établissant la liste des déchets, conformément à la directive 2008/98/CE du Parlement et du Conseil européens.
- **Gestion et stockage des déchets**
 - Arrêté du 30 décembre 2002 modifié par arrêté du 25 juin 2018 : stockage de déchets dangereux.
 - Articles R. 541-42 et suivants du Code de l'environnement : traitement des déchets dangereux.
 - Arrêté du 15 février 2016 modifié par arrêté du 7 août 2023 : installations de stockage de déchets non dangereux.
 - Arrêté du 16 février 2006 : formulaire du bordereau de suivi des déchets dangereux.
 - Arrêté du 21 décembre 2021 : contenu des déclarations au système de gestion électronique des bordereaux de suivi de déchets.
 - Arrêté du 31 janvier 2008 modifié par arrêté du 10 janvier 2020 : registre et déclaration annuelle des émissions polluantes et des déchets.
 - "Décision générique" relative aux emballages pour le transport d'amiante non lié.
 - Disposition spéciale prévue au 3.9 de l'annexe I de l'arrêté TMD (emballage de type conteneur-bag) pour certains types de déchets, comme les déchets contaminés par de l'amiante non lié, issus de chantiers routiers, de démolitions, ou de réhabilitations d'immeubles sinistrés.
 - Accord multilatéral M356 au titre de la section 1.5.1 de l'ADR concernant le transport de déchets contaminés par de l'amiante libre.

Transport

- **Transport terrestre national et international (route, chemin de fer, voie de navigation intérieure)**
 - ADR, RID, ADN R :
 - L'amiante doit être déclaré sous l'une des rubriques suivantes :
 - Amiante amphibole N° ONU : 2212 Classe : 9
 - Groupe d'emballage : II
 - Amiante chrysotile N° ONU : 2590 Classe : 9
 - Groupe d'emballage : III

- o "Décision générique" relative aux emballages pour le transport d'amiante non lié.
- o Disposition spéciale prévue au 3.9 de l'annexe I de l'arrêté TMD (Transport matières dangereuses) pour l'emballage de certains types de déchets comme les déchets de terres contaminées, les déchets solides et objets contaminés par de l'amiante non lié issus de chantiers routiers ou de chantiers de démolition ou de réhabilitation d'immeubles ou d'ouvrages, notamment l'utilisation de conteneur-bags.
- o Accord multilatéral M356 au titre de la section 1.5.1 de l'ADR concernant le transport de déchets contaminés par de l'amiante libre.
- **Transport par air**
 - o IATA
- **Transport par mer**
 - o IMDG

Recommandations

L'amiante est interdit depuis 1997 mais des millions de mètres carrés de matériaux en contenant sont encore en place dans les bâtiments, les appareils et les installations. En raison des risques pour la santé qui découlent de l'exposition à l'amiante, la réglementation, en particulier les articles R. 4412-94 à R. 4412-148 du Code du travail, impose des mesures très strictes de prévention et de protection, avec des obligations spécifiques aux différents types d'activités :

- les travaux de retrait ou d'encapsulation d'amiante et de matériaux, d'équipements et de matériels ou d'articles en contenant, y compris dans les cas de démolition (activités dites de « retrait » ou de « sous-section 3 ») ;
- les interventions sur des matériaux, des équipements, des matériels ou des articles susceptibles de provoquer l'émission de fibres d'amiante (activités dites « d'interventions et de maintenance » ou de « sous-section 4 »).

Au point de vue technique

La prévention du risque amiante repose sur l'émissivité des processus mis en œuvre [114]. Le processus correspond à la combinaison du matériau, de la technique employée pour le traiter et des moyens de protection collective inhérents à la technique (comme l'aspiration à la source, le mouillage à cœur des matériaux, l'abattage des poussières). Trois niveaux d'empoussièrément des processus sont ainsi définis : le premier niveau est inférieur à 100 f/L, le deuxième niveau est compris entre 100 et 6 000 f/L et le troisième niveau entre 6 000 et 25 000 f/L. L'évaluation du niveau d'empoussièrément des processus se déroule en plusieurs étapes : **estimation du niveau d'empoussièrément a priori lors de l'évaluation initiale**. Pour les travaux de retrait en sous-section 3, réalisation d'un chantier test, de trois chantiers de validation et de vérifications périodiques [115]. Pour les interventions en sous-section 4, un chantier d'évaluation du niveau d'empoussièrément est préconisé pour chaque processus lors de sa première mise en œuvre. Puis une vérification *a minima* annuelle est à effectuer lors du contrôle du respect de la VLEP [6, 116].

Plus le niveau d'empoussièrément est élevé, plus les mesures de prévention à mettre en œuvre sont contraignantes. Ainsi, lors d'opérations sur matériaux amiantés, il convient de :

- **Former le personnel** à la prévention des risques liés à l'amiante et à la sécurité, notamment aux risques potentiels pour la santé, au rôle et à l'emploi des équipements de protection collective et individuelle, et aux méthodes de travail recommandées. À l'issue de cette formation, une attestation de compétences doit être délivrée à chaque travailleur. Pour les activités de sous-section 3, le personnel doit être formé par un organisme de formation certifié. Pour les activités de sous-section 4, la formation peut être réalisée par un formateur certifié par le Réseau Assurance Maladie risques professionnels / INRS. La formation est renouvelée périodiquement.
- Procéder à une **évaluation des risques**, portant notamment sur le niveau d'empoussièrément *a priori* ou connu du processus, les caractéristiques du lieu de l'opération, les niveaux d'exposition attendus, la durée de l'exposition, la charge physique liée à la pénibilité des équipements de protection individuelle, les autres risques existants.
- Définir, en fonction des résultats de l'évaluation des risques, les mesures de prévention à mettre en œuvre pour supprimer ou **réduire au niveau le plus bas possible** l'émission et la dispersion de fibres d'amiante pendant les travaux, assurer la protection des opérateurs, éviter la diffusion des fibres hors de la zone de travail, garantir l'absence de pollution résiduelle après les travaux.
- **Isoler** la zone de travail et en restreindre l'accès. Pour les processus en deuxième et troisième niveaux d'empoussièrément, il est nécessaire de confiner la zone de travail et de prévoir un seul accès pour le personnel intervenant, en mettant en place une installation de décontamination équipée de deux douches. En milieu extérieur, il est recommandé d'utiliser une unité mobile de décontamination (UMD) ventilée et correctement équipée [117] pour assurer la décontamination des travailleurs.
- Assurer le **renouvellement de l'air** dans les zones confinées pour réduire la concentration en fibres d'amiante. Le taux de renouvellement d'air dans la zone confinée est de 6 à 15 volumes par heure en deuxième niveau d'empoussièrément, et à plus de 20 volumes par heure en troisième niveau.
- Rédiger un **bilan aéraulique** prévisionnel permettant de définir les zones élémentaires à prendre en compte pour le dimensionnement des matériels nécessaires pour la réalisation du confinement dynamique (positionnement, nombre et calibre des extracteurs, des entrées d'air de compensation maîtrisées et de réglage). Vérifier le bilan aéraulique prévisionnel avant le démarrage du chantier [118, 119].
- Mettre la zone en **dépression**. Le niveau de dépression ne doit jamais descendre en dessous de 10 Pa. Ces mesures permettent d'éviter la diffusion des fibres hors de la zone de travail. Contrôler la dépression en permanence sur les chantiers réalisés sous confinement dynamique.
- Mettre à la disposition du personnel des **équipements de protection individuelle adaptés** : une combinaison étanche aux poussières de type 5 [120] à usage unique ou combinaison ventilée de type 2, des gants étanches aux particules et des bottes décontaminables ou surbottes / surchaussures, ainsi qu'un appareil de protection respiratoire adapté aux niveaux d'empoussièrément [121] :
 - o appareil isolant à adduction d'air de classe 4 avec masque complet, à débit continu ou à la demande à pression positive,
 - o appareil à ventilation assistée avec masque complet TM3P, ou casque / cagoule TH3P ou demi-masque TM2P,
 - o masque complet ou demi-masque équipé de filtre P3,
 - o demi-masque filtrant FFP3, uniquement en sous-section 4 pour des interventions de 15 minutes par jour en premier niveau d'empoussièrément.

Les **appareils de protection respiratoire (APR)** ne doivent pas être portés plus de 2h30 par vacation, et au maximum 6 heures par jour. Ils doivent être **adaptés à la morphologie du porteur** et être ajustés sur une peau lisse et rasée [122]. Ils seront retirés lorsque toute exposition à l'amiante aura cessé, et en particulier lorsque les vêtements de protection auront été enlevés lors de la dernière étape de la décontamination, dans la seconde douche (dite douche d'hygiène). Les batteries des moteurs des appareils de protection respiratoire à ventilation assistée doivent toujours être bien rechargées. Les filtres et cartouches sont changés après chaque vacation. L'utilisation de l'adduction d'air nécessite un réservoir d'air de qualité respirable en quantité suffisante pour tous les opérateurs en zone de travail, ou un apport en continu à partir d'un dispositif de type moteur-ventilateur captant une source d'air de qualité respirable hors de la zone. L'air respirable doit être délivré dans l'appareil isolant jusqu'à la douche d'hygiène dans l'installation de décontamination.

- **Travailler à l'humide**, imprégner préalablement les matériaux avec un agent mouillant chaque fois que cela est possible selon la nature des matériaux, utiliser des outils manuels ou à **vitesse lente** reliés à un aspirateur de classe H, démonter ou déconstruire les matériaux... Ces procédés permettent de **réduire l'émission** de fibres.

- **Collecter les déchets** au fur et à mesure de leur production et les emballer dans des sacs étanches par catégorie, fermés par col de cygne. Procéder à la décontamination des sacs dans l'installation de décontamination des déchets (en cas d'impossibilité technique de mettre en place une installation de décontamination des déchets, il convient d'utiliser l'installation de décontamination du personnel en adaptant le mode opératoire de sortie des sacs) et à leur mise en big-bag doté d'une double poche étanche, étiquetés « amiante ». Organiser une **zone d'entreposage temporaire des déchets**, fermée, protégée des intempéries et accessible aux seules personnes autorisées, en vue de leur évacuation vers une filière autorisée conformément à la réglementation [123]. Assurer la traçabilité des déchets sur la plateforme numérique réglementaire Trackdéchets [124] à chaque étape depuis la demande d'admission jusqu'à l'élimination dans l'installation de stockage autorisée ou d'inertage.
- Procéder à de **fréquents contrôles de la teneur en fibres d'amiante dans l'air**, en zone de travail, sur opérateur, dans l'environnement du chantier (zone d'approche, sortie des extracteurs, compartiment propre de l'installation de décontamination, sortie de l'installation de décontamination des déchets, base vie, limite de chantier ...) [125 à 127].
- Procéder à un **nettoyage** soigneux des surfaces, en fin de travaux, à l'aide d'un aspirateur de classe H, et à l'humide. Décontaminer également les outils et les équipements. Lors d'opérations de travaux publics, ou en terrain amiantifère, mettre en place des dispositifs et procédures de décontamination des engins et des véhicules [128, 129].
- Vérifier périodiquement les installations, équipements de protection collective et individuelle, et les maintenir en parfait état de fonctionnement [130]. Contrôler la dépression en permanence sur les chantiers réalisés en confinement dynamique.
- Mettre en place des dispositifs en cas d'incident ou d'accident entraînant une exposition anormale.
- Prévoir une procédure d'intervention des secours d'urgence en cas d'accident, intégrant la spécificité du confinement et de la décontamination.
- Pour les activités de « sous-section 3 », rédiger un **plan de démolition, de retrait, ou d'encapsulation** pour chaque opération. Ce plan comporte une description précise du chantier et de l'ensemble des mesures prises pour assurer la protection du personnel intervenant et de l'environnement. Son contenu est défini dans la réglementation. Il est communiqué au médecin du travail et au comité social et économique. Il est transmis un mois avant la date de démarrage des travaux, à l'Inspection du travail, aux agents des services de prévention des organismes de Sécurité Sociale, à l'OPPBT au moyen de la plateforme DEMAT@MIANTE [131].
- Détenir une **certification** pour réaliser le traitement des matériaux contenant de l'amiante lors de travaux en « sous-section 3 » [132, 133].
- Pour les activités en « sous-section 4 », rédiger un **mode opératoire** pour les interventions susceptibles de provoquer l'émission de fibres d'amiante. Ce document précise les types d'interventions réalisées et décrit l'ensemble des mesures prises pour assurer la protection du personnel intervenant et de l'environnement. Son contenu est défini dans la réglementation. Il est soumis à l'avis du médecin du travail et au comité social et économique de l'entreprise, et transmis à l'Inspection du travail, aux agents des services de prévention des organismes de Sécurité Sociale, à l'OPPBT [6].
- Informer, avant chaque intervention, les travailleurs sur les risques et les mesures de prévention mises en place. Une **notice de poste** doit être établie [134].
- Tenir à jour une liste des salariés exposés au risque amiante.
- Établir pour chaque salarié exposé une « **fiche d'exposition** » précisant la nature, la durée et les périodes d'exposition, les procédures de travail, les équipements de protection collective et individuelle utilisés et les résultats des contrôles de l'exposition individuelle au poste de travail, ainsi que la durée et l'importance des expositions accidentelles. Cette fiche doit être transmise au médecin du travail et est tenue à la disposition du salarié.
- Interdire de fumer, boire et manger sur les lieux de travail.
- Observer une hygiène corporelle très stricte.
- Assurer le **suivi individuel renforcé** des travailleurs.

Au point de vue médical

■ Lors des visites initiales et périodiques

Rechercher particulièrement lors de l'interrogatoire et l'examen clinique, des antécédents ou symptômes témoins de pathologies respiratoires ou cancéreuses (en particulier des poumons, de la plèvre, du larynx et de l'ovaire) : toux, dyspnée, expectoration, douleur thoracique, hémoptysie... Un tabagisme sera recherché (le cas échéant, inciter au sevrage).

La périodicité des examens médicaux et la nécessité ou non d'effectuer des examens complémentaires seront déterminées par le médecin du travail en fonction des données de l'examen clinique, et de l'appréciation de l'importance de l'exposition. Il s'appuie sur les recommandations de bonnes pratiques en vigueur et prend en compte l'impact psychologique que peut engendrer ces dépistages [67, 77, 135].

Pour plus d'informations sur le suivi médical des travailleurs exposés ou ayant été exposés à l'amiante, consulter le TP 27 paru dans la revue Références en Santé au Travail [136].

■ Conduite à tenir en cas d'urgence

En cas d'urgence, en particulier sur un chantier de désamiantage, transporter la victime en dehors de la zone polluée en prenant toutes les précautions nécessaires pour les sauveteurs. Si la victime est inconsciente, la placer en position latérale de sécurité et mettre en œuvre, s'il y a lieu, des manœuvres de réanimation. Si la victime est consciente, la maintenir au maximum au repos. En cas de gêne respiratoire, faire transférer en milieu hospitalier pour bilan des lésions, surveillance et traitement symptomatique si nécessaire.

Bibliographie

- 1 | Asbestos and other natural mineral fibres. Environmental Health Criteria n° 53. Genève : OMS ; 1986 (<https://www.who.int/fr>).
- 2 | Kirk-Othmer - Encyclopedia of chemical technology, 4th ed. Vol. 3. New York : John Wiley & sons ; 1992 : 659-688.
- 3 | Rendall REG - Occurrence, production, properties, and uses of asbestiform fibers. In : Liddel D, Miller K (eds). Mineral fibers and health. Boca Raton : CRC Press ; 1990 : 11-25.
- 4 | Amiante. In : Statistica (<https://fr.statista.com/>).
- 5 | Effets sanitaires et identification des fragments de clivage d'amphiboles issus des matériaux de carrière. Avis de ANSES et Rapport d'expertise collective. 2015 (<https://www.anses.fr/>).
- 6 | Interventions d'entretien et de maintenance susceptibles d'émettre des fibres d'amiante. Guide de prévention. ED 6262. INRS (<https://www.inrs.fr/>).
- 7 | Détermination de la concentration des fibres en suspension dans l'air. Méthode recommandée : la microscopie optique en contraste de phase (comptage sur membrane filtrante). OMS ; 1998 (<https://www.who.int/fr>).

- 8 | Particules minérales allongées. Identification des sources d'émission et proposition de protocoles de caractérisation et de mesure. Avis de l'ANSES et Rapport d'expertise collective. 2017 (<https://www.anses.fr/>).
- 9 | Evaluation des risques relatifs au talc seul et au talc contaminé par des fibres asbestiformes et non asbestiformes. Avis de l'ANSES et Rapport d'expertise collective. 2012 (<https://www.anses.fr/>).
- 10 | Valeurs limites d'exposition en milieu professionnel : les fibres d'amiante. Evaluation des effets sur la santé et des méthodes de mesure des niveaux d'exposition sur le lieu de travail. Avis de l'AFSSET et Rapport d'expertise collective. 2009 (<https://www.anses.fr/>).
- 11 | Fibres courtes d'amiante et autres particules minérales allongées de moins de 5 micromètres de longueur. Mises à jour des données sanitaires et d'exposition. Avis de l'ANSES et Rapport d'expertise collective. 2022 (<https://www.anses.fr/>).
- 12 | NF X 43-050. Qualité de l'air. Détermination de la concentration en fibres d'amiante par microscopie électronique à transmission. Méthode indirecte. AFNOR ; 2021.
- 13 | NF X 43-269. Qualité de l'air. Air des lieux de travail. Prélèvement sur filtre à membrane pour la détermination de la concentration en nombre de fibres par les techniques de microscopie : MOCP, MEBA et META. Comptage par MOCP. AFNOR ; 2017.
- 14 | Amiante. In Gestis database, 2024 (<http://limitvalue.ifa.dguv.de/>).
- 15 | ECHA. Committee for Risk Assessment (RAC) for evaluation of limit values for asbestos at the workplace ; Annex 1. 2021 (<https://echa.europa.eu/documents/10162/b80eb054-907e-b8f3-8c86-d89b7c0fe2b2>).
- 16 | Directive (UE) 2023/2668 du Parlement européen et du Conseil du 22 novembre 2023 modifiant la directive 2009/148/CE concernant la protection des travailleurs contre les risques liés à une exposition à l'amiante pendant le travail (<https://eur-lex.europa.eu/>).
- 17 | HSG 248 - Asbestos : the analysts' guide. HSE, 2021 (<https://www.hse.gov.uk/>).
- 18 | Fibres courtes d'amiante en milieu professionnel. Avis de l'ANSES et Rapport d'expertise collective. 2024 (<https://www.anses.fr/>).
- 19 | Questions Réponses - Métrologie amiante. Direction générale du travail. 2024 (<https://travail-emploi.gouv.fr/>).
- 20 | Asgharian B, Anjilvel S. A multiple-path model of fiber deposition in the rat lung. *Toxicological Sciences*. 1998 ; 44, 80-86.
- 21 | Bernstein DM, Rogers R, Smith P. The biopersistence of Canadian chrysotile asbestos following inhalation : Final results through 1 year after cessation of exposure. *Inhalation Toxicology*, 2005 ; 17 : 1-14.
- 22 | Coin PG, Roggli VL, Brody AR. Persistence of long, thin chrysotile asbestos fibers in the lungs of rats. *Environ Health Perspect*. 1994 ; 102 Suppl 5 : 197-199.
- 23 | Gualtieri AF et al. New insights into the toxicity of mineral fibres : A combined *in situ* synchrotron μ -XRD and HR-TEM study of chrysotile, crocidolite, and erionite fibres found in the tissues of Sprague-Dawley rats. *Toxicol Lett*. 2017 ; 274 : 20-30.
- 24 | Oberdörster G. Toxicokinetics and effects of fibrous and nonfibrous particles. *Inhalation Toxicology* 2002, 14 : 29-56.
- 25 | Bernstein DM, Morscheidt C, Grirmn HG, Thevenaz P, et al. Evaluation of soluble fibers using the inhalation biopersistence model, a nine-fiber comparison. *Inhalation Toxicology*. 1996 ; 8 : 345-385.
- 26 | Donaldson K, Murphy FA, Duffin R, Poland CA. Asbestos, carbon nanotubes and the pleural mesothelium : a review of the hypothesis regarding the role of long fibre retention in the parietal pleura, inflammation and mesothelioma. *Part Fibre Toxicol*. 2010, Mar 22 ; 7 : 5.
- 27 | Miserocchi G, Sancini G, Mantegazza F, Chiappino G. Translocation pathways for inhaled asbestos fibers. *Environ Health*. 2008, Jan 24 ; 7 : 4.
- 28 | Les fibres courtes et les fibres fines d'amiante. Prise en compte du critère dimensionnel pour la caractérisation des risques sanitaires liés à l'inhalation d'amiante. Avis de l'Afsset et Rapport d'expertise collective. 2009 (<https://www.anses.fr/>).
- 29 | Morgan A. Deposition of inhaled asbestos and man-made mineral fibers in the respiratory tract. *Ann Occup Hyg*. 1995 39 (5), 747-758.
- 30 | Warheit DB, Driscoll KE, Oberdoerster G et al. Symposium overview, Contemporary issues in fibers. *Fundamental and Applied Toxicology*. 1995, 25, 171-173.
- 31 | Feder IS, Tischoff I, Theile A, Schmitz I, Merget R, et al. The asbestos fiber burden in human lungs : new insights into the chrysotile debate. *European Respiratory Journal*. 2017, 49 : 1602534.
- 32 | Boulanger G, Andujar P, Pairon JC, Billon-Galland MA et al. Quantification of short and long asbestos fibers to assess asbestos exposure : a review of fiber size toxicity. *Environmental Health* 2014, 13:59.
- 33 | Auerbach O, Conston AS, Garfinkel L, Parks VR et al. Presence of asbestos bodies in organs other than lung. *Chest*. 1980, 77 : 133-137.
- 34 | Churg A, Wright JL. Persistence of natural mineral fibers in human lung : an overview. *Environ Health Perspect* 1994, 102 Suppl 5 : 229-233.
- 35 | INSERM. Effets sur la santé des principaux types d'exposition à l'amiante. 1997 (<http://www.ipubli.inserm.fr/handle/10608/203>).
- 36 | International Agency for Research on Cancer. Asbestos (chrysotile, amosite, crocidolite, tremolite, actinolite, and anthophyllite). IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum. 2012 ; 100C : 219-309 (<https://monographs.iarc.who.int/>).
- 37 | Lippmann M. Toxicological and epidemiological studies on effects of airborne fibers : coherence and public health implications. *Crit Rev Toxicol*, 2014 ; 44(8) : 643-695.
- 38 | Jaurand MC, Levy F. Effets cellulaires et moléculaires de l'amiante. *Médecine/Sciences* 1999 ; 15:1370-1378.
- 39 | Jaurand MC, Renier A, Daubriac J. Mesothelioma : Do asbestos and carbon nanotubes pose the same health risk ? *Particle and Fibre Toxicology* 2009, 6 : 16.
- 40 | Nishimura Y, Maeda M, Kumagai-Takei N, Lee S et al. Altered functions of alveolar macrophages and NK cells involved in asbestos-related diseases. *Environ Health Prev Med*. 2013 May ; 18(3) : 198-204.
- 41 | Maki Y, Nishimura Y, Toyooka S, Soh J et al. The proliferative effects of asbestos-exposed peripheral blood mononuclear cells on mesothelial cells. *Oncology Lett*. 2016 May ; 11(5) : 3308-3316.
- 42 | Gavett SH et al. Persistent effects of Libby amphibole and amosite asbestos following subchronic inhalation in rats. *Part Fibre Toxicol*. 2016 ; 13:17.
- 43 | Matsuzaki H, Kumagai-Takei N, Lee S, Maeda M et al. Search for biomarkers of asbestos exposure and asbestos-induced cancers in investigations of the immunological effects of asbestos. *Environ Health Prev Med*. 2017 ; 22 : 53.

- 44 | Bononi A, Napolitano A, Pass HI, Yang H et al. Latest developments in our understanding of the pathogenesis of mesothelioma and the design of targeted therapies. *Expert Rev Respir Med*. 2015 ; 9(5) : 633-54.
- 45 | Davis JM, Addison J, Bolton RE, Donaldson K et al. The pathogenicity of long versus short fibre samples of amosite asbestos administered to rats by inhalation and intraperitoneal injection. *Br J Exp Pathol* 1986, 67 : 415-430.
- 46 | Davis JM, Beckett ST, Bolton RE, Collings P et al. Mass and number of fibres in the pathogenesis of asbestos related lung disease in rats. *Br J Cancer* 1978, 37 : 673-688.
- 47 | Miller BG, Jones AD, Searl A, Buchanan D et al. Influence of characteristics of inhaled fibres on development of tumours in the rat lung. *Ann Occup Hyg* 1999, 43, 167-179.
- 48 | Report of the World Health Organization workshop on mechanisms of fibre carcinogenesis and assessment of chrysotile asbestos substitutes. 8-12 November 2005, Lyon, France, (<https://www.who.int/>).
- 49 | Huang SXL, Jaurand MC, Kamp DW, Whysner J et al. Role of mutagenicity in asbestos fiber-induced carcinogenicity and other diseases. *Journal of Toxicology and Environmental Health* 2011, Part B, 14 : 179-245.
- 50 | Bhattacharjee P, Paul S. Risk of occupational exposure to asbestos, silicon and arsenic on pulmonary disorders : understanding the genetic-epigenetic interplay and future prospects. *Environmental Research* 2016, 147 : 425-434.
- 51 | Wagner JC, Skidmore JW, Hill RJ, Griffiths DM. Erionite exposure and mesotheliomas in rats. *Br J Cancer*. 1985, May ; 51(5) : 727-730.
- 52 | McConnell EE, Kamstrup O, Musselman R, Hesterberg TW et al. Chronic inhalation study of size-separated rock and slag wool insulation fibres in Fischer 344/N rats. *Inhal Toxicol* 1994, 6 : 571-614.
- 53 | McConnell EE, Axten C, Hesterberg TW et al. Studies on the inhalation toxicology of two fibreglasses and amosite asbestos in the Syrian golden hamster. Part II. Results of chronic exposure. *Inhal Toxicol* 1999, 11 : 785-835.
- 54 | Neumann HG. Risk assessment of chemical carcinogens and thresholds. *Crit Rev Toxicol*. 2009 ; 39(6) : 449-461.
- 55 | Barlow CA, Lievens L, Gross S, Ronk CJ et al. The role of genotoxicity in asbestos-induced mesothelioma : an explanation for the differences in carcinogenic potential among fiber types. *Inhal Toxicol*, 2013 ; 25(9) : 553-567.
- 56 | Haque AK, Ali I, Vrazel DM, Uchida T. Chrysotile asbestos fibers detected in the newborn pups following gavage feeding of pregnant mice. *J Toxicol Environ Health A*. 2001 Jan 12 ; 62(1) : 23-31.
- 57 | Cunningham HM, Pontefract RD. Placental transfer of asbestos. *Nature*. 1974 May 10 ; 249 (453) : 177-178.
- 58 | Haque AK, Vrazel DM. Transplacental transfer of asbestos in pregnant mice. *Bull Environ Contam Toxicol*. 1998 Apr ; 60(4) : 620-625.
- 59 | Schneider U, Maurer RR. Asbestos and embryonic development. *Teratology*. 1977 Jun ; 15(3) : 273-279.
- 60 | Fujitani T, Hojo M, Inomata A, Ogata A et al. Teratogenicity of asbestos in mice. *J Toxicol Sci*. 2014 Apr ; 39(2) : 363-370.
- 61 | Harris EJA, Musk A, de Klerk N, Reid A et al. Diagnosis of asbestos-related lung diseases. *Expert Rev Respir Med*. 2019 Mar ; 13(3) : 241-249.
- 62 | Ameille J. Les différentes pathologies pleuropulmonaires liées à l'amiante : définitions, épidémiologie et évolution. *Rev Mal Respir*. 2012 ; 29 : 1035-1046.
- 63 | Desprésaux T, Clin-Godard B, Mompont D, Prigent H et al. Maladies respiratoires non malignes liées à l'inhalation d'amiante : définition, surveillance, indemnisation. *EMC - Pathologie professionnelle et de l'environnement*. 2016 ; 11 (4) : 1-14.
- 64 | Letourneux M, Paris C, Pommier de Santi P, Clin B. Affections pleuropulmonaires bénignes liées à l'amiante. *Rev Mal Respir*. 2007 ; 24 : 1299-313.
- 65 | Beigelman-Aubry C, Ferretti G, Mompont D, Ameille J et al. Computed tomographic atlas of benign asbestos related pathology. *J Radiol*. 2007 Jun ; 88(6) : 845-62.
- 66 | Clin B, Paris C, Ameille J, Brochard P et al. Do asbestos-related pleural plaques on HRCT scans cause restrictive impairment in the absence of pulmonary fibrosis? *Thorax*. 2011 ; 66(11) : 985-91.
- 67 | Haute Autorité de Santé. Audition publique. Suivi post-professionnel après exposition à l'amiante. 2010. 331 p (<https://www.has-sante.fr/>).
- 68 | Instructions pour l'utilisation de la Classification internationale du BIT des radiographies de pneumoconioses. Edition révisée 2011. Bureau international du Travail, 2013. Série sécurité, hygiène et médecine du travail n°22. 64 p (<https://www.ilo.org/>).
- 69 | Scherpereel A. Amiante et pathologie respiratoire. *Press Méd*. 2016 ; 45 : 117-132.
- 70 | Baud F, Garnier R. Toxicologie clinique. 6ème édition. Paris : Lavoisier Médecine-Sciences ; 2017 : 1654 p.
- 71 | Amiante. In : BIOTOX. Guide biotoxicologique pour les médecins du travail. Inventaire des dosages biologiques disponibles pour la surveillance des sujets exposés à des produits chimiques. INRS, 2024 (<https://www.inrs.fr/publications/bdd/biotox.html>).
- 72 | Gallet J, Laurent F, Paris C, Clin B et al. Pleural plaques and risk of lung cancer in workers formerly occupationally exposed to asbestos : extension of follow-up. *Occup Environ Med*. 2022.
- 73 | Pairon JC, Laurent F, Rinaldo M, Clin B et al. Pleural plaques and the risk of pleural mesothelioma. *J Natl Cancer Inst*. 2013 Feb 20 ; 105(4) : 293-301.
- 74 | Gevenois PA, de Maertelaer V, Madani A, Winant C et al. Asbestosis, pleural plaques and diffuse pleural thickening : three distinct benign responses to asbestos exposure. *Eur Respir J*. 1998 May ; 11(5) : 1021-7.
- 75 | Nielsen LS, Bælum J, Rasmussen J, Dahl S et al. Occupational asbestos exposure and lung cancer - a systematic review of the literature. *Arch Environ Occup Health*. 2014 ; 69(4) : 191-206.
- 76 | Hillerdal G, Henderson DW. Asbestos, asbestosis, pleural plaques and lung cancer. *Scand J Work Environ Health*. 1997 Apr ; 23(2) : 93-103.
- 77 | Haute Autorité de Santé. Recommandations de bonne pratique. Surveillance medico-professionnelle des travailleurs exposés ou ayant été exposés à des agents cancérigènes pulmonaires. 2015. 373 p (<https://www.has-sante.fr/>).
- 78 | Ngamwong Y, Tangamornsuksan W, Lohitnavy O, Chaiyakunapruk N et al. Additive Synergism between Asbestos and Smoking in Lung Cancer Risk : A systematic review and meta-analysis. *PLoS ONE*. 2015 ; 10(8).

- 79 | El Zoghbi et al. Absence of multiplicative interactions between occupational lung carcinogens and tobacco smoking : a systematic review involving asbestos, crystalline silica and diesel engine exhaust emissions. *BMC Public Health*. 2017 ; 17:156.
- 80 | Klebe S, Leigh J, Henderson DW, Nurminen M. Asbestos, Smoking and Lung Cancer : An Update. *Int J Environ Res Public Health*. 2019 Dec 30 ; 17(1) : 258.
- 81 | Sauter JL, Dacic S, Galateau-Salle F, Attanoos RL et al. The 2021 WHO Classification of Tumors of the Pleura : Advances Since the 2015 Classification. *J Thorac Oncol*. 2022 May ; 17(5) : 608-622.
- 82 | World health organization (WHO). Thoracic Tumours. Classification of Tumours, 5th Edition, Volume 5. 2021 (<https://tumourclassification.iarc.who.int/welcome/>).
- 83 | Chérié-Challine L, Gilg Soit Ilg A, Grange D, Bousquet PJ et al. Dispositif national de surveillance des mésothéliomes intégrant la surveillance de leurs expositions. Etat des lieux des systèmes, enjeux de surveillance et recommandations. Synthèse. Santé Publique France ; 2017, (<https://www.santepubliquefrance.fr/>).
- 84 | Lacourt A, Lévêque E, Guichard E, Gilg Soit Ilg A et al. Dose-time-response association between occupational asbestos exposure and pleural mesothelioma. *Occup Environ Med*. 2017 Sep ; 74(9) : 691-697.
- 85 | Lacourt A, Leffondré K, Gramond C, Ducamp S et al. Temporal patterns of occupational asbestos exposure and risk of pleural mesothelioma. *Eur Respir J*. 2012 ; 39(6) : 1304-12.
- 86 | Boffetta P, Pira E, Romano C, Violante FS et al. Response to : 'Dose-time-response association between occupational asbestos exposure and pleural mesothelioma' by Lacourt et al. *Occup Environ Med*. 2018 ; 75(2) : 160.
- 87 | Scherpereel A, Opitz I, Berghmans T, Psallidas I et al. Guidelines for the management of malignant pleural mesothelioma. *Eur Respir J*. 2020 Jun 11 ; 55(6).
- 88 | Gilg Soit Ilg A, Audignon S, Chamming's S et al. Programme national de surveillance du mésothéliome pleural (PNSM) : vingt années de surveillance (1998-2017) des cas de mésothéliome, de leurs expositions et des processus d'indemnisation. Saint-Maurice : Santé publique France, 2019. Synthèse, 14 p. (<https://www.santepubliquefrance.fr/>).
- 89 | Carbone M, Adusumilli PS, Alexander HR Jr, Baas P et al. Mesothelioma : Scientific clues for prevention, diagnosis, and therapy. *CA Cancer J Clin*. 2019 Sep ; 69(5) : 402-429.
- 90 | Expertise préalable à la création d'un tableau de maladie professionnelle ou à l'élaboration de recommandations aux comités régionaux de reconnaissance des maladies professionnelles - Exposition à l'amiante et cancers de l'ovaire et du larynx. ANSES. 2021 ; 509 p (<https://www.anses.fr>).
- 91 | Paris C, Thaon I, Hérin F, Clin B et al. Occupational Asbestos Exposure and Incidence of Colon and Rectal Cancers in French Men : The Asbestos-Related Diseases Cohort (ARDCo-Nut). *Environ Health Perspect*. 2017 ; 125(3) : 409-415.
- 92 | Huang Q, Lan YJ. Colorectal cancer and asbestos exposure-an overview. *Ind Health*. 2020 Jun 9 ; 58(3) : 200-211.
- 93 | Revue systématique de la littérature visant à dresser un état des lieux des connaissances actuelles sur la caractérisation du danger lié à l'ingestion d'amiante. Avis de l'ANSES et Rapport d'expertise collective. 2021, 340 p (<https://www.anses.fr>).
- 94 | Koehoorn M, McLeod CB, Fan J, Arrandale VH et al. Occupational asbestos exposure and gastrointestinal cancers : systematic review and meta-analyses. *Occup Environ Med*, 2025.
- 95 | Haque AK, Mancuso MG, Williams MG, Dodson RF. Asbestos in organs and placenta of five stillborn infants suggests transplacental transfer. *Environ Res*. 1992 ; 58(2) : 163-75.
- 96 | Haque AK, Vrazel DM, Bureau KD, Cooper SP et al. Is there transplacental transfer of asbestos ? A study of 40 stillborn infants. *Pediatr Pathol Lab Med*. 1996 ; 16(6) : 877-92.
- 97 | Haque AK, Vrazel DM, Uchida T. Assessment of asbestos burden in the placenta and tissue digests of stillborn infants in South Texas. *Arch Environ Contam Toxicol*. 1998 ; 35(3) : 532-8.
- 98 | Toxicological Profile for Asbestos. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, September 2001 (<https://www.atsdr.cdc.gov/az/a.html>).
- 99 | Gibbs GW. Fibre release from asbestos garments - *Annals. occup. Hyg*. 1975, Vol. 18, pp. 143-9.
- 100 | Campagne de mesures aux fibres d'amiante par microscopie électronique à transmission analytique (META). INRS, 2011 (<https://www.inrs.fr/>).
- 101 | Eypert-Blaison C, Romero-Hariot A, Clerc F, Vincent R. Assessment of occupational exposure to asbestos fibers : Contribution of analytical transmission electron microscopy analysis and comparison with phase-contrast microscopy. *J Occup Environ Hyg*. 2018 Mar ; 15(3) : 263-274.
- 102 | Chazelet S, Silvente E. Synthèse de la campagne INRS pour la détermination des facteurs de protection assignés des appareils de protection respiratoire utilisés en chantier de désamiantage. Note scientifique et technique, INRS, NS341, 2016 : 22 p (<https://www.inrs.fr/>).
- 103 | Eypert-Blaison C, Freville L, Veissiere S, Starck MC, et al. Amiante : un badge pour améliorer la prévention du risque. INRS. NT 9. HST n° 234, 2014 : pp. 46-50 (<https://www.hst.fr/>).
- 104 | Projet Carto Amiante. 3^e rapport CARTO. 2021 (<https://travail-emploi.gouv.fr/>).
- 105 | Romero-Hariot A, Eypert-Blaison C, Vincent R. Exposition à l'amiante chrysotile lors de travaux sur chaussée amiantée, INRS, EC13, HST n°241, 2015 : pp. 58-66 (<https://www.hst.fr/>).
- 106 | Romero-Hariot A, Martin S, Charoy M. Amiante et poussières inhalables : risques d'exposition des travailleurs des filières de traitement des déchets de chantier, INRS, EC 32, HST n° 264, Octobre 2021 : pp. 84-93 (<https://www.hst.fr/>).
- 107 | Romero-Hariot A, Eypert-Blaison C, Charoy M, Leclercq C et al. Etudes des expositions professionnelles et environnementales aux fibres d'amiante lors de la mise en oeuvre des processus d'entretien des dalles de sol en vinyle amiante. Rapport d'étude 2016/A/25. 2018.
- 108 | Nettoyage des dalles vinyles amiante (DVA). Recommandation CNAM R 514 (https://www.ameli.fr/seine-et-marne/entreprise/tableau_recommandations).
- 109 | Romero-Hariot A, Eypert-Blaison C, Martinon L. Amiante : présence de fibres d'anthophyllite (A-A) dans des papiers d'archives Annexe : étude sur l'origine des fibres d'A-A. INRS, EC 38, HST n° 273, 2023 : pp. 74-80 (<https://www.hst.fr/>).
- 110 | Sauvè JC, Mater G, Romero-Hariot A, Charoy M. Exposition à l'amiante dans la filière de collecte et de traitement des eaux usées : état des lieux. INRS, NT 115, HST n°275, 2024 : pp. 72-76 (<https://www.hst.fr/>).

- 111** | Sauvé JC, Mater G, Romero-Hariot A, Charoy M. Caractérisation des expositions à l'amiante dans les activités d'hydrocurage : retour d'expérience et préconisations de prévention. INRS, NC 40, HST n°275, 2024 : pp 78-81 (<https://www.hst.fr/>).
- 112** | Scol@miante ; outil d'évaluation a priori des niveaux d'empoussièrement aux fibres d'amiante. INRS (<http://scolamiante.inrs.fr>).
- 113** | Liste des textes réglementaires parus sur l'amiante depuis 1945. INRS (<https://www.inrs.fr/>).
- 114** | Guichard R, Romero-Hariot A, Dubernet F. Chantiers de désamiantage sous confinement : Impact de la ventilation sur l'empoussièrement. INRS, EC 22. HST n° 251, 2018 : pp. 76-81 (<https://www.hst.fr/>).
- 115** | Amiante : définir le niveau d'empoussièrement d'un processus « sous-section 3 ». ED 6367. INRS (<https://www.inrs.fr/>).
- 116** | Travaux de retrait ou d'encapsulage de matériaux contenant de l'amiante. Guide de prévention. ED 6091. INRS (<http://www.inrs.fr/>).
- 117** | Cahier des charges « amiante » pour les unités mobiles de décontamination (UMD). ED 6244. INRS (<https://www.inrs.fr/>).
- 118** | Amiante. Aéraulique des chantiers sous confinement. Brochure. ED 6307. INRS (<https://www.inrs.fr/>).
- 119** | Amiante - Aide au bilan aéraulique des chantiers. Outil de calcul pour les chantiers sous confinement. Outil 111. INRS (<https://www.inrs.fr/>).
- 120** | Protection contre les fibres d'amiante : performances des vêtements de type 5 à usage unique. Brochure. ED 6247. INRS (<http://www.inrs.fr/>).
- 121** | Les appareils de protection respiratoire. Choix et utilisation. Brochure. ED6106. INRS (<https://www.inrs.fr/>).
- 122** | Protection respiratoire : réaliser des essais d'ajustement. Aide-mémoire technique. ED 6273. INRS (<https://www.inrs.fr/>).
- 123** | Exposition à l'amiante lors du traitement des déchets. Guide de prévention. ED 6028. INRS (<https://www.inrs.fr/>).
- 124** | Trackdechets, Plateforme de dématérialisation de la traçabilité des déchets dangereux. Ministère de la transition écologique (<https://trackdechets.beta.gouv.fr/>).
- 125** | Commander des mesures d'amiante dans l'air à des organismes accrédités. Dépliant. ED 6171. INRS (<https://www.inrs.fr/>).
- 126** | Décrypter un rapport d'essai de mesures d'empoussièrement en fibres d'amiante. Dépliant. ED 6172. INRS (<https://www.inrs.fr/>).
- 127** | Amiante : recommandations pour vérifier le respect de la VLEP. INRS, NT1. HST n°233, 2013 pp : 40-45 (<https://www.hst.fr/>).
- 128** | Travaux en terrain amiantifère. Opérations de génie civil de bâtiment et de travaux publics. Guide de prévention. ED 6142. INRS (<https://www.inrs.fr/>).
- 129** | Amiante, Opérations en terrain amiantifère. Points de vigilance en prévention. Brochure. ED 6517. INRS (<https://www.inrs.fr/>).
- 130** | Amiante, Centres de maintenance pour la décontamination, l'entretien et la vérification des équipements de chantier. Brochure. ED 6463. INRS (<https://www.inrs.fr/>).
- 131** | DEMAT@MIANTE, Plateforme de dématérialisation des plans de démolition, de retrait ou d'encapsulage d'amiante (PDRE). Direction générale du travail (<https://www.dematamiante.travail.gouv.fr/>).
- 132** | NF X 46-010. Travaux de traitement de l'amiante. Référentiel technique pour la certification des entreprises. AFNOR ; 2012.
- 133** | NF X 46-011. Travaux de traitement de l'amiante. Modalités d'attribution et de suivi des certificats d'entreprises. AFNOR ; 2016.
- 134** | Risque chimique : fiche ou notice de poste. Brochure. ED6027. INRS (<https://www.inrs.fr/>).
- 135** | Haute Autorité de Santé (HAS). Suivi post-professionnel des personnes exposées à l'amiante. Mise à jour du protocole et de la grille de lecture d'imagerie médicale. Protocole d'imagerie médicale. 2019 ; 13 p (<https://www.has-sante.fr/>).
- 136** | Coates L. Suivi médical des travailleurs exposés ou ayant été exposés à l'amiante : le point sur les recommandations. TP 27. Références en Santé au Travail n° 149, 2017 pp. : 131-139 (<https://www.rst-sante-travail.fr/>).

Historique des révisions

1 ^{ère} édition	1982
2 ^e édition (mise à jour complète)	2009
3 ^e édition (mise à jour complète)	Mai 2018
4 ^e édition (mise à jour partielle) <ul style="list-style-type: none"> ■ Réglementation (mesurage) ■ Bibliographie (réf. 108) 	Juillet 2018
5 ^e édition (mise à jour partielle) <ul style="list-style-type: none"> Réglementation (mise à jour novembre 2024) Seules les parties suivantes n'ont pas été revues : <ul style="list-style-type: none"> ■ Toxicocinétique - Métabolisme ■ Toxicité expérimentale ■ Cohérence des réponses biologiques chez l'Homme et l'animal 	Avril 2025