

Fibres de cellulose

Fiche toxicologique n°282

Généralités

La cellulose est la molécule organique la plus abondante sur la terre : cet homo-polymère naturel est le constituant principal de la paroi cellulaire de nombreux végétaux (et notamment des plantes et des arbres) avec une teneur variant de 15 % à 99 % [tableau 1].

Espèce végétale	Teneur en cellulose (% de la matière sèche)
Coton	95-99
Lin	70-75
Bouleau, bambou, blé	40-50
Maïs	17-20

Tableau 1 : Teneur en cellulose de quelques espèces végétales.

La cellulose est un polysaccharide de la série des β -D-glucanes. Son motif répétitif est le cellobiose [figure 1] : il est constitué de deux β -D-glucopyranoses (glucoses) dans leur conformation chaise 4C_1 unies par une liaison glycosidique β 1-4 [1].

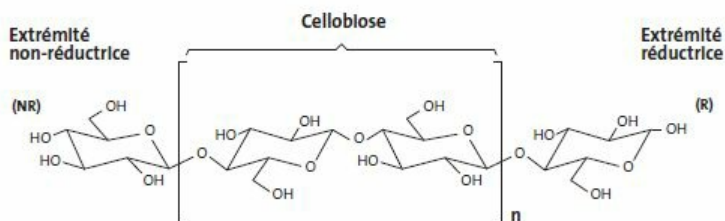


Figure 1 : Représentation de la chaîne de cellulose.

La cellulose est constituée à plus de 95 % de glucose, mais certains sucres tels que le galactose, le mannose ou le xylose peuvent être incorporés en petite quantité dans les chaînes. Le nombre de maillons de glucose (ou degré de polymérisation) varie suivant l'origine de la cellulose.

Les macromolécules de cellulose sont susceptibles de former de multiples liaisons hydrogène intramoléculaires, mais également intermoléculaires qui s'établissent d'une macromolécule à une autre, à partir des groupements hydroxyles. Les chaînes de cellulose peuvent donc s'associer et ainsi constituer des microfibrilles de taille variable, dans lesquelles certaines régions sont hautement ordonnées (zones cristallines) et d'autres moins (zones amorphes). La réunion de ces fibrilles constitue des fibres, forme sous laquelle se présente la cellulose.

Les fibres de cellulose sont considérées comme des fibres naturelles organiques. Elles sont biodégradables et recyclables.

Edition 2011

Formule :

Substance(s)

Nom	Détails
Fibres de cellulose	Numéro CAS : 9004-34-6
	Numéro CE : 232-674-9
	Numéro index : Non attribué
	Synonymes : Alpha-cellulose, Cellulose microcristalline, (1-4- β -D-glucosyl)n, 1-4- β -D glucane

Etiquette

Cellulose

- Cette substance doit être étiquetée conformément au règlement (CE) n° 1272/2008 dit "règlement CLP".

232-674-9

Caractéristiques

Fabrication

L'extraction de la cellulose de coproduits agricoles et forestiers est préférentiellement appelée « enrichissement en cellulose », car le produit obtenu n'est pas de la cellulose parfaitement pure, mais plutôt une matière enrichie en cellulose.

L'extraction de la cellulose requiert l'élimination de la lignine ainsi que d'autres constituants des végétaux comme l'hémicellulose, les résines organiques, les graisses et les cires. Cette extraction est réalisée par des traitements successifs mécaniques (broyage par attrition) ainsi que chimiques (procédés de purification acides et basiques) [2] [3]. Ces traitements doivent être effectués avec le minimum de distorsions mécaniques possibles afin de ne pas endommager la texture fibreuse de la cellulose. Des étapes complémentaires de blanchiment, de formulation, de séchage et de mise en forme, orientées principalement par les exigences des clients, peuvent compléter ces traitements.

Les principaux pays producteurs de cellulose sont les états qui possèdent de vastes territoires boisés comme le Canada, les États-Unis ainsi que les pays nordiques (Finlande, Norvège et Suède) et l'Amérique latine [2].

Utilisations

La cellulose est une matière première industrielle importante. Les fibres de cellulose sont utilisées sous forme de fibres brutes pour la fabrication de pâte à papier. Elles sont également employées après transformation dans l'industrie chimique pour la fabrication de matières plastiques : acétate de cellulose, celluloid, cellophane, rhodoid... ainsi que dans la fabrication de fibres textiles artificielles : acétate de cellulose, viscose, lyocell, modal, rayonne... Les fibres de cellulose transformées sont, par ailleurs, utilisées comme précurseurs pour la production de fibres de carbone.

L'enquête de filière [4] sur l'utilisation des matériaux fibreux en France menée par l'INRS en 2006 a montré que 188 448 tonnes de fibres de cellulose et mélanges (incluant les esters de cellulose) ont été utilisées par les entreprises.

Les produits à base de fibres de cellulose sont :

- Les papiers - cartons :
 - papier à usage graphique : papier journal, d'impression ou d'écriture ;
 - papier d'emballage : cartons plats, papier ondulé ;
 - papiers industriels ou spéciaux : papier à usage fiduciaire, papier à usage graphique, papier à cigarette, abrasif, papier filtre, etc.
 - papier d'hygiène ou pour produits à usage unique pour la santé, l'hygiène et l'essuyage : papier crêpé, ouate de cellulose, papier mousseline.
- Les produits textiles contenant des fibres de cellulose, d'acétate de cellulose, de viscose, de lyocell, de modal, etc. Les produits à base de fibres ciment en remplacement de l'amiante : plaques ondulées, ardoises, tuyaux, canalisations, etc.
- Les matériaux de friction (freins), les nappes tramées pour pneumatiques.
- Les produits d'isolation thermique et phonique à base de ouate de cellulose fabriquée à partir de papier recyclé. Ils sont également utilisés pour leur résistance au feu, à la vermine et aux moisissures.
- Des produits divers utilisés en industrie agroalimentaire, comme les boyaux artificiels pour la charcuterie, des additifs alimentaires (agents de texture).
- Les films pour pellicules photographiques.

Propriétés physiques

Les fibres de cellulose possèdent un diamètre moyen qui varie de 15 à 30 µm selon leur origine et leur mode de fabrication [2]. Elles sont très rigides et sont considérées comme de bons isolants thermiques et acoustiques. Elles présentent également de bonnes qualités adsorbantes. La conformation spatiale de la cellulose détermine ses propriétés physiques et chimiques.

Nom Substance	Détails
Fibres de cellulose	Masse volumique 1,5 à 1,55 g/cm³
	Allongement à la rupture 20 à 40 %
	Coefficient de dilatation thermique 80.10⁻⁶/K
	Conductivité thermique 0,06 W/m/K à 23 °C
	Module d'Young 3 à 36 GPa
	Ténacité 13 à 23 cN/tex.

Ténacité : le tex est l'unité normalisée pour les filés de fibres. il définit le poids en grammes de 1000 m de fil.

Propriétés chimiques

La cellulose se dégrade dès 100 °C en se dépolymérisant. Cependant, dans l'air, la cellulose pure est stable jusqu'à 300 °C, elle se consume à partir de 330 °C et s'embrase vers 380 °C. L'ajout de borate de sodium, de chlorure de sodium ou de phosphate de sodium permet de retarder cet embrasement [1].

La cellulose est insoluble à la fois dans les solvants organiques classiques et dans l'eau. Elle présente également une bonne résistance aux acides dilués, aux alcalins ainsi qu'aux huiles et graisses. Elle résiste à la corrosion, à la vermine et aux moisissures (notamment lors de l'ajout de sels boriques). Pour solubiliser la cellulose, il est nécessaire d'utiliser des solvants complexes et atypiques [1] :

- les solvants aqueux, et notamment des solutions aqueuses très concentrées d'acides (sulfurique, nitrique...), de bases (potasse, hydrazine...), de sels (iodure de potassium) ou de N-méthylmorpholine-N-oxyle.
- les systèmes de solvants à base de diméthylsulfoxyde (DMSO) tels que le DMSO/paraformaldéhyde, le DMSO/paraformaldéhyde/thiamine, le DMSO/fluorure de tétrabutylammonium trihydrate, le DMSO/méthylamine et le DMSO/dioxyde d'azote.
- les systèmes de solvants contenant un halogénure de lithium, le plus souvent il s'agit de chlorure de lithium, mais également de bromure de lithium associé à du N,N-diméthylacétamide.

0.0.1. Récipients de stockage

Les fibres de cellulose doivent être conditionnées de manière totalement étanche dans des emballages doubles en matière plastique soigneusement fermés.

Leur stockage doit s'effectuer dans des locaux frais, bien ventilés, à l'abri des rayons solaires et à l'écart de toute source de chaleur ou d'ignition et des matières inflammables.

VLEP et mesurages

Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle

En France, les fibres de cellulose sont considérées comme des poussières sans effet spécifique. Le ministère chargé du travail a fixé, dans les locaux à pollution spécifique de ce type de poussières, une concentration moyenne de l'atmosphère inhalée par le travailleur (évaluée sur une période de 8 heures) de 10 mg/m³ pour la fraction totale (inhalable) et de 5 mg/m³ pour la fraction alvéolaire.

En 1987, une valeur moyenne d'exposition (VME) non réglementaire a été fixée pour la cellulose sous forme de fibres de papier à 10 mg/m³.

À titre de comparaison, la valeur limite de moyenne d'exposition (TLV-TWA) proposée aux États-Unis par l'ACGIH est de 10 mg/m³ et l'OSHA propose des valeurs moyennes de 15 mg/m³ (poussières totales) et 5 mg/m³ (fraction respirable).

Méthodes d'évaluation de l'exposition professionnelle

Microscopie optique à contraste de phase (MOCP)

La technique habituellement utilisée pour le mesurage de la concentration en nombre de fibres dans l'air et au poste de travail est la MOCP associée à la technique du filtre à membrane. Les fibres de cellulose en suspension dans l'air sont prélevées sur des membranes filtrantes et des pompes portables sont utilisées pour les prélèvements individuels. La membrane filtrante est ensuite transparisée pour permettre le comptage des fibres en MOCP.

La technique de comptage par MOCP, décrite dans la norme XP X 43-269 [5], prend en compte les fibres de longueur supérieure à 5 µm, de largeur inférieure à 3 µm et de rapport longueur sur largeur supérieur à 3. Le résultat est exprimé en nombre de fibres par centimètre cube d'air, calculé à partir du nombre de fibres déposées sur le filtre et du volume d'air échantillonné.

Cette technique ne permet pas de différencier les fibres de cellulose des autres fibres éventuellement présentes dans l'air, ni d'observer celles dont le diamètre est inférieur à quelques dixièmes de micron. En effet, le pouvoir séparateur d'un microscope optique est de 0,2 µm, les fibres de diamètre inférieur à cette valeur ne sont donc pas visibles.

Microscopie électronique

La spéciation des fibres peut être effectuée avec les techniques d'analyse en microscopie électronique à transmission analytique (META) ou à balayage analytique (MEBA).

En effet, couplées à des méthodes spectroscopiques de rayon X, elles permettent de déterminer la composition chimique élémentaire des fibres. La META permet, en outre, d'observer les fibres quel que soit leur diamètre et d'accéder à une information de nature structurale par la technique de diffraction électronique.

Gravimétrie

Il est également possible d'utiliser une méthode d'analyse gravimétrique pour déterminer la teneur pondérale d'un aérosol de fibres de cellulose. La détermination de la masse d'aérosol prélevée s'effectue par différence entre la masse de la coupelle après prélèvement et sa masse vierge. Les résultats sont exprimés en mg/m³.

Suivant la fraction à analyser - inhalable, thoracique ou alvéolaire - le prélèvement s'effectuera :

- avec une cassette fermée, décrite dans la norme NF X 43-257 [6]. Cette méthode est mieux adaptée lorsque l'aérosol est composé de particules très fines ;
- avec des échantillonneurs de type CIP10, équipés d'une coupelle rotative composée d'une mousse polyuréthane préalablement pesée à vide, et des sélecteurs de fraction correspondants. Cette méthode est décrite dans la norme NF X 43-259 [7]. Elle semble mieux adaptée aux aérosols composés de particules de tailles hétérogènes.

Ces méthodes globales ne permettent cependant pas de différencier la nature des fibres prélevées. Elles prennent en compte toutes les poussières échantillonnées sans distinction morphologique ou de nature [8 à 11].

Incendie - Explosion

La fibre de cellulose est inflammable. Dans un espace confiné, un nuage de poussières de cellulose peut exploser en présence d'une source d'ignition.

Par exemple, la cellulose sous forme de fibres de papier peut exploser si les poussières en mélange dans l'air ont une concentration comprise entre 30 et 120 g/m³ et lorsqu'elles sont mises en présence d'une source d'ignition d'une énergie d'au moins 20 mJ [12].

Afin de la rendre non inflammable, la cellulose doit être mélangée ou associée à des produits minéraux comme les micas ou les vermiculites.

Pathologie - Toxicologie

Toxicocinétique - Métabolisme

Le diamètre moyen des fibres étant important, leur dépôt dans la zone alvéolaire est faible. Chez le rat par instillation intratrachéale, les fibres de cellulose sont plus bio-persistantes que les fibres céramiques. Un phénomène de division de ces fibres en fibrille est admis mais reste très limité.

Chez l'animal

Le diamètre moyen des fibres de cellulose étant important, le nombre de fibres pouvant se déposer dans le poumon profond et plus précisément dans la zone alvéolaire (fraction alvéolaire) est faible. Muhle et coll. (1997) [13] ont montré chez le rat par instillation intratrachéale (2 mg) que les fibres de cellulose étaient plus bio-persistantes que des fibres céramiques. En effet, un an après l'administration, les fibres de cellulose s'étaient divisées et les auteurs n'avaient pas constaté leur dissolution. Cette bio-persistence très élevée a été critiquée sur la base d'une dose excessive en fibres alvéolaires induisant un phénomène de surcharge pulmonaire diminuant la clairance normale des fibres inhalées et posant des problèmes en terme de transposition des résultats à l'homme (Levy, 1995 [14] ; DOH, 1998 [15] ; Harrison et coll., 1999 [16], Warheit et coll., 2001 [17]). Il a été cependant admis que ces fibres pouvaient se diviser en fibrilles, mais ce phénomène a été considéré comme très limité (DOH, 1998 [15]).

Toxicité expérimentale

Les fibres de cellulose ont donné lieu à très peu d'études expérimentales malgré des applications diverses et variées. Une fibrose pulmonaire est induite par l'instillation intratrachéale de fortes concentrations de cellulose. Un effet tumorigène est observé lors d'études réalisées par des voies non extrapolables à l'homme ; seule une étude à long terme par inhalation de fibres alvéolaires permettrait de confirmer ou non cet effet.

Toxicité aiguë

L'équipe de Tatrai a conduit plusieurs études de toxicité respiratoire (cf. ci-dessous) par instillation intratrachéale de 15 mg de produit. Il est à noter qu'une telle dose entraîne vraisemblablement une surcharge pulmonaire et excède les capacités normales d'épuration des poumons.

Tatrai et Ungvary (1992) [18] ont administré par instillation intratrachéale chez le rat mâle 15 mg de poussière de paprika (constituée de cellulose à environ 20 %) ou de la poudre de cellulose (5 rats par groupe). Selon les auteurs, les deux traitements ont conduit à des effets de sévérité comparable. Un extrait, sans fibre, de poussière de paprika n'ayant entraîné aucun effet histologique, les auteurs concluaient que les effets dus à la poussière de paprika pouvaient, au moins en partie, être attribués aux fibres de cellulose.

La même équipe (Tatrai et coll., 1995 [19]) a administré selon le même protocole à des rats mâles 15 mg de poussière de bois de pin, 15 mg de poudre de cellulose pure ou 15 mg d'extrait global de poussière de bois de pin exempt de fibre. Ils observaient des effets pulmonaires similaires dans les deux premiers cas (alvéolobronchiolite fibrosante), pas dans le troisième.

Ces travaux ont été prolongés (Tatrai et coll., 1996 [20]) en examinant les effets sur des rats d'une instillation intratrachéale unique de cellulose (15 mg/animal) tamisée, puis traitée pour recueillir la fraction la plus fine. Une alvéolite granulomateuse fibrosante a été mise en évidence, accompagnée d'un accroissement de la production d'IgA dans le liquide de lavage broncho-alvéolaire. La fibrose progressait modérément dans le temps.

Après injection de 15 mg de cellulose par voie intratrachéale chez le rat (Adams et coll., 1997 [21]), un œdème interstitiel et des signes d'inflammation étaient relevés dès le premier jour. Par la suite et jusqu'à 7 jours, la réaction inflammatoire persistait dans les alvéoles et les bronches ainsi que dans le parenchyme. Le suivi histologique à 1 mois montrait une bronchioalvéolite fibreuse.

Au cours d'une étude expérimentale de type aiguë réalisée par le National Toxicology Program (NTP) (2006) [22], la fraction respirable (fibres et particules) d'un échantillon de cellulose pour isolation a été administrée par instillation intratrachéale à des rats mâles F344. La dose était de 5 mg/kg de poids corporel (p.c.), choisie sur la base des résultats d'une pré-étude pour une légère réponse inflammatoire. Les rats ont été suivis durant 28 jours. Le protocole était complété par deux groupes témoins : un groupe témoin « particules » recevant du dioxyde de titane et un groupe témoin « véhicule » recevant du tampon phosphate. Les liquides de lavage broncho-alvéolaires (LLBA) ont été analysés 1, 3, 7, 14 et 28 jours après l'instillation ; une analyse histopathologique des poumons a été réalisée aux 14^e et 28^e jours après le traitement. Les auteurs ont observé dans le LLBA que la cellulose pour isolation provoquait un afflux de cellules inflammatoires plus important que le TiO₂ ainsi qu'une augmentation du taux de protéines et conduisaient à une réaction inflammatoire légère. Ces variations n'étaient plus significatives au 14^e jour. L'analyse histologique au 28^e jour a montré que, contrairement au TiO₂, la cellulose pour isolation provoquait une légère augmentation des fibrilles de collagène associée avec des nodules granulomateux. Au total, ces résultats montraient une toxicité pulmonaire minimale.

Irritation, sensibilisation

La poudre de cellulose Cellulon™, qui présente de fortes similitudes avec la cellulose microcristalline, n'a pas montré d'effet irritant sur l'œil et la peau du lapin (Schmitt et coll., 1991 [27]). Aucune donnée n'a été trouvée sur l'évaluation du potentiel sensibilisant de la cellulose.

Conclusion sur les études de toxicologie expérimentale

L'expertise collective réalisée par l'INSERM sur les « Effets sur la santé des fibres de substitution à l'amiante » (1999) [2] signalait essentiellement le caractère pro-inflammatoire des fibres de cellulose et évoquait une étude qui avait relevé une augmentation du nombre de tumeurs non statistiquement significative après injection intrapéritonéale (Rosenbruch et coll., 1992 [28]). Peu de travaux expérimentaux ont été réalisés depuis. Ils confirment que les fibres de cellulose ne peuvent être considérées comme inertes du point de vue de leurs effets potentiels sur le système pulmonaire, mais leur nocivité semble cependant réduite en particulier du fait de leur grande taille et de la très faible part de fibres respirables dans l'aérosol (Morgan et coll., 2004 [31]). Les fibres alvéolaires de cellulose peuvent provoquer chez l'animal des réactions pulmonaires : fibrose et granulomes. Elles semblent capables de se diviser en fibres plus fines qui contribuent à accroître leur bio-persistence. Elles induisent la production d'espèces réactives de l'oxygène. L'injection intrapéritonéale à forte dose montre une tumorigénicité, mais très inférieure à celle de la crocidolite. Cet effet tumorigène n'est observé qu'au cours d'études conduites par des voies non extrapolables à l'homme ; seule une étude à long terme par inhalation de fibres alvéolaires permettrait de confirmer ou non cet effet.

Toxicité subchronique, chronique

Milton et coll. (1990) [23] ont instillé par voie intratrachéale dans les poumons de hamsters des poussières de cellulose pure stérilisée (0,75 mg/100 g p.c., 2 fois/semaine, pendant 6 semaines). Leur objectif était de vérifier si la poussière de cellulose, utilisée comme contrôle lors d'expériences rapportées par d'autres, était réellement assimilable à une poussière inerte. Une fibrose apparaissait avec cette forte charge pulmonaire (au total, environ 3 mg/g de poumon). Les animaux ainsi traités présentaient une compliance réduite (estimée entre 60 et 70 % de la capacité pulmonaire totale), des granulomes (présence de fibres de cellulose) et un épaississement parenchymateux (tous éléments révélateurs d'une fibrose histologiquement apparente).

Hadley et coll. (1992) [24] rapportent une étude de toxicité de la cellulose commerciale utilisée pour l'isolation dans le bâtiment, après broyage partiel pour parvenir à une fraction d'environ 35 à 40 % de particules alvéolaires pour le rat. Ils ont exposé par inhalation des groupes de rats Wistar à 100, 500 et 2 000 mg/m³, 6 heures/jour, 5 jours/semaine, pour un total de 21 expositions. Ils ont observé des pathologies pulmonaires doses dépendantes : infiltrations macrophagiques de l'interstitium, zones avec alvéolite et hyperplasie épithéliale, granulomes avec dépôts de collagène dans l'interstitium péribronchiolaire à la plus forte concentration.

Warheit et coll. (1998) [25] ont exposé des rats à un aérosol de fibres de cellulose 6 heures/jour, 5 jours/semaine pendant 2 semaines, à deux concentrations cibles : 300 et 575 fibres/mL de longueur moyenne comprise entre 10 et 13 µm. Pour le groupe le plus exposé, la clairance des fibres était modérée à lente avec une valeur d'environ 50 % de la charge pulmonaire initiale après 3 mois. Les fibres ont produit une inflammation pulmonaire modérée et transitoire qui revenait aux valeurs des rats témoins 10 jours après la fin de l'exposition.

L'étude de Cullen et coll. (2000) [26] avait pour objectif de tester les effets inflammatoires d'un échantillon de fibres de cellulose dans deux modèles animaux : d'une part, chez la souris, par injection intrapéritonéale (IP) et d'autre part, chez le rat, par inhalation.

L'expérimentation chez la souris comprenait l'injection IP de fibres de cellulose ou de fibres de crocidolite, ces dernières étant les témoins positifs. Les doses, de 104 à 108 fibres, provoquaient dans la cavité intrapéritonéale un recrutement marqué de cellules inflammatoires présentant un pic 24 heures après l'injection. La crocidolite était beaucoup plus active que la cellulose pour une même dose exprimée en nombre de fibres. L'expérimentation par inhalation consistait à exposer des rats à un aérosol de fibres alvéolaires de cellulose 5 jours/semaine pendant 3 semaines à une concentration de 1 000 fibres/mL. L'inhalation a induit une réponse pulmonaire inflammatoire précoce, mise en évidence par le lavage broncho-alvéolaire, avec un pic 24 heures après le début de l'inhalation, qui ensuite déclinait progressivement en dépit d'une exposition poursuivie pendant 13 jours. Les résultats de ces expérimentations ont conduit les auteurs à conclure que la cellulose était moins inflammatoire que la crocidolite. Il n'y a pas de donnée de toxicité chronique publiée chez l'animal, à notre connaissance.

Effets ototoxiques

Effets génotoxiques

La poudre CellulonTM ne produisait pas d'effet génotoxique dans plusieurs systèmes expérimentaux (Schmitt et coll., 1991 [26]) : test d'Ames sur 5 souches (avec et sans activation métabolique) ; test de synthèse non programmée d'ADN sur hépatocytes de rats ; test des aberrations chromosomiques et test de mutagenèse HGPRT sur cellules ovariennes de hamster chinois (avec et sans activation métabolique).

Effets cancérogènes

Aucune étude de cancérogenèse long terme par inhalation n'a été publiée.

Rosenbruch et coll. (1992) [28] ont montré la survenue de cancers dans la cavité abdominale de rats auxquels avait été injectée 20 mg de cellulose par voie intrapéritonéale (la dimension des fibres n'était pas précisée). Néanmoins, l'incidence de ces cancers n'était pas significativement différente des témoins.

Cullen et coll. (2002) [29] ont injecté des fibres respirables de cellulose pure par voie intrapéritonéale chez le rat. Les doses totales administrées étaient de 10⁶, 10⁷, 10⁸ et 10⁹ fibres de longueur supérieure à 5 µm en 3 injections séparées d'une semaine (10⁹ fibres injectées correspondent à 115 mg). Les résultats de cette étude montrent que des hautes concentrations de fibres de cellulose sont capables de produire des tumeurs lorsqu'elles sont injectées par voie intrapéritonéale chez le rat. Deux mésothéliomes ont été observés pour les concentrations 10⁷ et 10⁸ fibres WHO (1 par groupe de dose), mais étant donné la survenue de mésothéliomes spontanés dans cette souche de rats, les auteurs n'étaient pas certains qu'ils étaient en relation avec le traitement. La dose la plus forte en fibres de cellulose (10⁹ fibres WHO), induisait des sarcomes locaux (plutôt que des mésothéliomes) chez 9 animaux sur 50. Par comparaison, la même dose en fibre de crocidolite (10⁹ fibres WHO) induisait des mésothéliomes chez 22 animaux sur 26 (21/26 à 10⁸ fibres, 14/50 à 10⁷ fibres, 4/50 à 10⁶ fibres).

Effets sur la reproduction

En 1972, la US-FDA concluait que la cellulose n'induisait pas d'effets toxiques pour la reproduction sur la base des résultats d'une étude d'administration par voie orale sur 3 générations chez le rat (30 % dans l'alimentation) (cité dans la revue générale d'Anderson et coll., 1992 [30]). Les études ultérieures précisaient une absence d'effet en reprotoxicité et en toxicité du développement chez le rat et la souris.

Toxicité sur l'Homme

Les données sur la toxicité des fibres de cellulose chez l'homme sont peu nombreuses. Les expositions professionnelles peuvent donner lieu à des effets sur les muqueuses oculaires et des voies aériennes (irritation, altérations des fonctions respiratoires).

Toxicité aiguë

Dans une étude américaine réalisée sur 23 salariés appliquant des matériaux d'isolation à base de fibres de cellulose, les symptômes rapportés dans un questionnaire médical remis aux travailleurs avant, pendant et après chaque poste de travail comprenaient une toux, une respiration sifflante, ainsi que des signes d'irritation du nez, de la gorge et des yeux. 43 % de l'effectif alléguait au moins un symptôme au cours de l'étude [32].

Toxicité chronique

Dans la plupart des études épidémiologiques publiées [2, 32 à 36], il existe des limites à l'interprétation des données : puissance statistique et caractérisation des expositions insuffisantes, co-expositions (présence d'une fraction non fibreuse, autres types de fibres, sulfates, silicates...), autres facteurs de confusion non pris en compte (tabagisme), effet « travailleur sain » dans les études transversales.

L'ensemble des études, réalisées principalement dans le secteur de la fabrication du papier, permet toutefois de mettre en évidence une prévalence plus élevée de signes d'irritation des voies aériennes supérieures, de bronchite chronique et d'asthme, ainsi que des altérations de certains paramètres spirométriques (diminution du VEMS et de la CVF) chez les salariés exposés aux poussières de papier constituées majoritairement de fibres de cellulose. Il n'existe cependant pas toujours de corrélation entre ces troubles et les niveaux d'exposition.

Les risques de fibrose pulmonaire, de cancer ainsi que de mésothéliome ne sont pas évaluables au vu des études disponibles. Si ces risques existent, ils sont vraisemblablement très faibles comparativement à ceux en rapport avec les expositions à l'amiante.

Un cas de protéinose alvéolaire pulmonaire a été publié [33] concernant une femme de 35 ans exposée à des poussières provenant de l'isolant du système de ventilation de son domicile. Les poussières contenaient des fibres de cellulose, mais également de nombreuses autres substances inorganiques (silicates, talc...). Les auteurs concluent à l'existence d'un lien entre la pathologie et l'exposition aux fibres de cellulose en raison de la mise en évidence de ces mêmes fibres à l'examen microscopique du tissu pulmonaire après biopsie transbronchique et du fait de l'amélioration de la symptomatologie à l'arrêt de l'exposition. Le niveau d'exposition de la patiente n'est pas connu.

Des cas d'allergies cutanées (urticaires et eczémas de contact) ont été rapportés chez des salariés dans l'industrie du papier. Il n'a pas toujours été possible de déterminer l'agent responsable des lésions. Cependant, de nombreuses substances connues pour leur potentiel sensibilisant sont utilisées lors de la fabrication de la pâte à papier. Il n'y a pas de données permettant d'incriminer les fibres de cellulose elles-mêmes dans la survenue de ces pathologies.

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

Exposition professionnelle

Le nombre insuffisant de données enregistrées dans la base COLCHIC de l'INRS relatives aux expositions aux fibres de cellulose au poste de travail en France ne permet pas une exploitation statistique. À titre indicatif, dans l'industrie papetière, huit mesures réalisées au poste de travail ont donné un résultat inférieur à 0,01 mg/m³, et dans le secteur de l'industrie de la transformation des matières plastiques, deux analyses ont donné un résultat inférieur à 0,01 mg/m³.

Bien qu'environ 49 000 salariés en France mettent en œuvre des fibres de cellulose [4], il existe peu de données dans la littérature sur les niveaux d'exposition des travailleurs à ces fibres.

Une étude réalisée en 2000 par le NTP pour le NIOSH sur l'évaluation de l'exposition des travailleurs lors de l'application de matériaux d'isolation à base de cellulose [32] a notamment porté sur :

- la caractérisation des matériaux d'isolation cellulosique ;
- l'évaluation de l'exposition aux poussières totales des travailleurs de 10 entreprises aux États-Unis qui appliquent des matériaux en vrac contenant de la fibre de cellulose dans les bâtiments résidentiels et commerciaux.

Cent soixante-quinze prélèvements individuels ont été effectués au cours de cette étude en vue d'évaluer l'exposition des travailleurs aux poussières totales d'isolants cellulosiques.

L'analyse de fibres émises dans l'atmosphère lors de la mise en place de ces matériaux, réalisée en microscopie électronique, a montré qu'elles ont une longueur comprise entre 5 et 150 µm.

Cette étude s'est intéressée à différentes situations impliquant les applicateurs d'isolant cellulosique et les conducteurs de trémie (chargement, réglage) :

- application par soufflage dans un milieu confiné (grenier) ;
- application par insufflation et projection dans les parois murales et plafonds ;
- application d'isolant cellulosique sec ;
- application d'isolant cellulosique à l'humide (brumisation d'eau lors de l'application/procédé de mouillage dans la trémie) ;

Les prélèvements individuels effectués ont permis d'obtenir, après transformation logarithmique des données, les valeurs d'exposition aux poussières totales rassemblées dans le tableau 2 (les prélèvements ont fait l'objet d'une analyse par méthode gravimétrique).

L'étude a permis de vérifier que la brumisation dans les milieux confinés (greniers) permet de réduire le niveau d'exposition aux poussières totales.

Le procédé humide utilisé pour l'application dans les parois murales/plafonds entraîne des niveaux d'exposition supérieurs à l'utilisation du procédé à sec [tableau 2]. Ceci est dû aux difficultés rencontrées pour effectuer le réglage du procédé de mouillage (dosage eau/cellulose) dans la trémie, et à l'intensité de la force appliquée permettant le débit nécessaire à la projection du produit pâteux/humide. Lors de l'opération, la proximité directe de l'opérateur au niveau de la zone d'application génère des projections par rebondissement sur la surface du support reçues par celui-ci, et, lors des applications par soufflage entre les parois, des fuites de matériau se produisent dans les failles ou interstices préexistants dans les murs (percements) lors du soufflage.

Groupe	Méthode	Nombre d'échantillons analysés	Moyenne géométrique	Déviation standard géométrique	Minimum des concentrations mesurées en mg/m ³	Maximum des concentrations mesurées en mg/m ³
Grenier confiné, applicateur	Isolant sec	22	74,8	2,33	16,2	431
	À l'humide	29	18,7	2,85	1,27	97,3
Grenier confiné, conducteur de trémie	Isolant sec	13	25,8	3,09	2,17	140
	À l'humide	24	17,8	2,56	0,82	58,3
Mur/plafond	Isolant sec	9	20,2	2,66	3,86	78,7

Applicateur	À l'humide	27	26,2	1,80	4,34	80,6
Mur/plafond Conducteur de trémie	Isolant sec	7	9,99	2,98	1,22	44,6
	À l'humide	30	22,2	2,03	2,08	61,3

Tableau 2 : Comparaison des concentrations de poussières totales observées par type d'application des isolants celluloseux (procédé sec/procédé humide).

Réglementation

Rappel : La réglementation citée est celle en vigueur à la date d'édition de cette fiche : 2^e trimestre 2011

Les textes cités se rapportent essentiellement à la prévention du risque en milieu professionnel et sont issus du Code du travail et du Code de la sécurité sociale. Les rubriques "Protection de la population", "Protection de l'environnement" et "Transport" ne sont que très partiellement renseignées.

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).

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.

Prévention des incendies et des explosions

- Articles R. 4227-1 à R. 4227-41 du Code du travail.
- Articles R. 4227-42 à R. 4227-57 du Code du travail.
- Articles R. 557-1-1 à R. 557-5-5 et R. 557-7-1 à R. 557-7-9 du Code de l'environnement (produits et équipements à risques).

Valeurs limites d'exposition professionnelle (Françaises)

- Article R. 4222-10 du Code du travail : Poussières réputées sans effet spécifique.

Valeurs limites d'exposition professionnelle (Françaises)

- Circulaire du 13 mai 1987 modifiant la circulaire du ministère du Travail du 19 juillet 1982 (non parues au JO).

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° 66, 66 bis et 90.

Classification et étiquetage

- Règlement (CE) n° 1272/2008 du 16 décembre 2008 dit « règlement CLP ». Les fibres de cellulose ne sont pas inscrites dans l'annexe VI du règlement CLP.

Protection de la population

Se reporter aux règlements modifiés (CE) 1907/2006 (REACH) et (CE) 1272/2008 (CLP). Pour plus d'information, consulter les services du ministère chargé de la santé.

Protection de l'environnement

Installations classées pour la protection de l'environnement : les installations ayant des activités, ou utilisant des substances, présentant un risque pour l'environnement peuvent être soumises au régime ICPE.

Pour consulter des informations thématiques sur les installations classées, veuillez consulter le site (<https://aida.ineris.fr>) ou le ministère chargé de l'environnement et ses services (DREAL (Directions Régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du logement) ou les CCI (Chambres de Commerce et d'Industrie)).

Transport

Se reporter entre autre à l'Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (dit " Accord ADR ") en vigueur (<https://unece.org/fr/about-adr>). Pour plus d'information, consulter les services du ministère chargé du transport.

Recommandations

L'évaluation des risques est notamment basée sur la nature des fibres concernées, la forme sous laquelle elles vont être produites, transformées ou utilisées (humides, additionnées de liant, sèches, etc.), sur le procédé industriel mis en œuvre, sur les niveaux d'exposition attendus ainsi que sur les méthodes envisagées pour réduire leur émission. La mise en œuvre des mesures de prévention collective est prioritaire sur les mesures de protection individuelle, et de manière générale, il convient de rechercher le niveau d'exposition le plus bas possible. L'information et la formation des salariés portent sur les dangers pour la santé des fibres et de ses dérivés, sur les pratiques de travail recommandées et sur l'utilisation des équipements de protection individuelle.

Au point de vue technique

Stockage

- Avoir recours à des systèmes clos (enceintes ou mélangeurs), en utilisant des techniques automatisées, tout en tenant compte du risque explosif des fibres.
- Capturer les poussières à la source en mettant en place une ventilation par aspiration localisée chaque fois que cela est réalisable, en tenant compte de la nature, des caractéristiques et du débit des polluants de l'air ainsi que des mouvements d'air. Le captage des poussières à la source peut s'effectuer préférentiellement avec des systèmes aspirants, de type tables à dosseret aspirant. Les installations de captage doivent être réalisées de telle sorte que les concentrations dans l'atmosphère ne soient dangereuses en aucun point pour la santé et la sécurité des travailleurs. La ventilation générale n'est envisagée que si le recours à une ventilation locale est techniquement impossible. En effet, la ventilation générale n'est généralement pas satisfaisante, car elle admet un niveau de pollution résiduelle sur le lieu de travail et des gradients de concentration importants entre la source et l'ambiance de l'atelier.
- Travailler à l'humide, si le contexte le permet, en prenant garde au risque électrique.
- Délimiter, signaler et restreindre l'accès à la zone de mise en œuvre.
- Déballez les fibres de cellulose au dernier moment et au plus près de leur lieu d'utilisation.
- Éviter l'usinage (découpe, perçage, ponçage...) de fibres ou de matériaux en contenant en utilisant des produits prêts à poser ou pré-usinés. Si des découpes ou des perçages sont nécessaires, effectuer ces opérations sur une table à dosseret aspirant.
- Utiliser des outils manuels (couteaux, cutters, massicots) ou électriques à vitesse lente qui produisent moins de poussières. Si des outils électriques à vitesse élevée sont néanmoins utilisés, ils doivent être munis de systèmes intégrés de captage des poussières équipés de filtres à très haute efficacité, dits « absolus ».
- Maintenir en bon état de propreté la zone de travail avec un aspirateur équipé d'un filtre très haute efficacité ou par un nettoyage à l'humide avec de l'eau additionnée de détergent. Afin d'éviter la présence de débris ou de déchets sur le sol, disposer des poubelles ou des conteneurs d'élimination étanches au plus près des zones de travail.

Manipulation

- Indiquer dans une consigne d'utilisation les dispositions prises pour la ventilation et fixer les mesures à prendre en cas de panne des installations.
- Procéder à des mesures régulières de la concentration en fibres aux postes de travail, en faisant intervenir une personne ou un organisme agréé.
- Le salarié doit être muni d'équipements de protection individuelle et doit notamment revêtir un vêtement de travail, si possible à usage unique, ensemble veste et pantalon ample, ajustable au niveau du cou, des poignets et des chevilles et dépourvu de plis ou revers avec des poches à rabats.
- Il doit également porter des gants étanches et des lunettes équipées de protections latérales.
- Si le captage des poussières est insuffisant, il est recommandé au salarié de porter un demi-masque filtrant à usage unique antiaérosols de type FFP2 lorsque les durées d'utilisation n'excèdent pas une heure.
- Pour des durées de port supérieures à une heure, le salarié devra porter un appareil de protection respiratoire à ventilation assistée de type cagoule TH2 P, demi-masque ou masque complet TM2 P.

Au point de vue médical

- Il n'existe pas de surveillance médicale réglementaire spécifique pour les travailleurs exposés aux fibres de cellulose.
- À l'examen d'embauche, rechercher plus particulièrement des atteintes respiratoires ou kérato-conjonctivales chroniques. L'examen clinique peut être complété par une radiographie pulmonaire standard de face et des explorations fonctionnelles respiratoires qui serviront d'examen de référence.
- Lors des examens systématiques, des signes d'irritation des yeux, de la gorge et des voies respiratoires devront être recherchés par le médecin du travail.
- La fréquence des examens médicaux périodiques et la nécessité ou non d'effectuer des examens complémentaires seront déterminées par le médecin du travail en fonction de l'importance de l'exposition.
- Il est indispensable de rechercher les éventuelles co-expositions actuelles ou passées susceptibles de générer des pathologies respiratoires (amiante et fibres céramiques réfractaires notamment). Le suivi médical sera alors adapté en fonction de l'existence de ce type d'exposition.
- En cas d'inhalation massive de fibres de cellulose, retirer la victime de la zone polluée. En cas de gêne respiratoire, la faire transférer en milieu hospitalier pour surveillance et traitement symptomatique.

Bibliographie

- 1 | Satge C - Étude de nouvelles stratégies de valorisation de mono et polysaccharides. Université de Limoges ; 2002.
- 2 | Effets sur la santé des fibres de substitution à l'amiante. Expertise collective. INSERM : Paris ; 1999.
- 3 | Avant-projet de valeur limite d'exposition professionnelle aux fibres de cellulose. Chimie Info n° 57, 1997.
- 4 | Moreau B, Grzebyk M - Utilisation de matériaux fibreux en France. Note documentaire ND 2299. Hyg Séc Trav. Cah Notes Doc. 2008 ; 213 : 27-43.
- 5 | Qualité de l'air. Air des lieux de travail. Détermination de la concentration en nombre de fibres par microscopie optique en contraste de phase. Méthode du filtre à membrane. Norme XP X 43-269. La Plaine Saint-Denis : AFNOR ; mars 2002 : 38 pp.
- 6 | Qualité de l'air. Air des lieux de travail. Prélèvement d'aérosol à l'aide d'une cassette (orifice 4 mm). Norme NF X 43-257. La Plaine Saint-Denis : AFNOR ; mai 2008 : 17 pp.
- 7 | Qualité de l'air. Air des lieux de travail. Prélèvement individuel ou à poste fixe de la fraction alvéolaire de la pollution particulaire. Méthode de séparation par cyclone 10 mm. Norme NF X 43-259. La Plaine Saint-Denis : AFNOR ; mai 1990.
- 8 | Concentration pondérale d'un aérosol. Fiche MET 002. In : MétroPol. Métrologie des polluants. INRS, 2009 (www.inrs.fr/metropol/).

- 9 | Comptage des fibres par microscopie optique en contraste de phase. Fiche MET 054. In : MétroPol. Métrologie des polluants. INRS, 2008 (www.inrs.fr/metropol/).
- 10 | Concentration pondérale d'un aérosol sur mousse tournante (CIP 10). Fiche MET 085. In : MétroPol. Métrologie des polluants. INRS, 2009 (www.inrs.fr/metropol/).
- 11 | Échantillonnage individuel d'un aérosol par l'appareil CIP10. Fiche méthodologique H4. In : MétroPol. Métrologie des polluants. INRS, 2002 (www.inrs.fr/metropol/).
- 12 | Babrauskas V - Ignition handbook. Issaquah (WA). Fire Science Publishers. 2003.
- 13 | Muhle H, Ernst H, Bellmann B - Investigation of the durability of cellulose fibres in rat lungs. *Annals of Occupational Hygiene*. 1997 ; 41 (suppl 1) : 184-188.
- 14 | Levy LS - The « particle overload » phenomenon and human risk assessment. *Indoor Environ*. 1995 ; 4 : 254-262.
- 15 | Department of Health (DOH), Committee on Carcinogenicity of Chemicals in Food, Consumer Products and the Environment. England. 1998 ; 89 pp.
- 16 | Harrison PTC, Levy LS, Patrick G, Pigott GH, Smith LL - Comparative hazards of chrysotile asbestos and its substitutes : an european perspective. *Environmental Health Perspectives*. 1999 ; 107 (8) : 607-612.
- 17 | Warheit DB, Reed KL, Webb TR - Man-made respirable-sized organic fibers : what do we know about their toxicological profiles ? *Industrial Health*. 2001 ; 39 : 119-125.
- 18 | Tatrai E, Ungvary G - The aetiology of experimental fibrosing alveo- bronchiolitis induced in rats by paprika dust. *Br. J. Ind. Med*. 1992 ; 49 : 494-498.
- 19 | Tatrai E, Adamis Z, Bohm U et al. - Role of cellulose in wood dust- induced fibrosing alveo-bronchiolitis in rat. *J. Appl. Toxicol*. 1995 ; 15 (1) : 45-48.
- 20 | Tatrai E, Brozik M, Adamis Z et al. - In vivo pulmonary toxicity of cellulose in rats. *J. Appl. Toxicol*. 1996 ; 16 (2) : 129-135.
- 21 | Adamis Z, Tatrai E, Honma K, Ungvary G - In vitro and in vivo assessment of the pulmonary toxicity of cellulose. *J Appl Toxicol*. 1997 ; 17 (2) : 137-141.
- 22 | National Toxicology Program (NTP). Toxicity Study Report on the atmospheric characterization, particle size, chemical composition, and workplace exposure assessment of cellulose insulation (Celluloseins). *Toxicity Report Series*. 2006 ; 74 : 117 pp.
- 23 | Milton DK, Godleski JJ, Feldman HA et al. - Toxicity of intratracheally instilled cotton dust, cellulose, and endotoxin. *Am. Rev. Respir. Dis*. 1990 ; 142 : 184-192.
- 24 | Hadley JG, Kotin P, Bernstein DM - Subacute (28 day) repeated dose inhalation toxicity of cellulose building insulation in the rat. *The Toxicologist*. 1992 ; 12 : 225.
- 25 | Warheit DB, Snajdr SI, Hartsky MA, Frame SR - Two weeks inhalation study in rats with cellulose fibers. In : Chiyotani K, Hosoda Y, Aizawa Y, eds. - Advances in the prevention of occupational respiratory diseases. Proceedings of the 9th International Conference on Occupational Respiratory Diseases. Kyoto, Japan, 13-16 October 1997. Tokyo, Japan : Elsevier ; 1998 ; 579-582.
- 26 | Cullen RT, Searl A, Miller BG, Davis JM, Jones AD - Pulmonary and intraperitoneal inflammation induced by cellulose fibres. *J. Appl. Toxicol*. 2000 ; 20 : 49-60.
- 27 | Schmitt DF, Frankos VH, Westland J et al. - Toxicologic evaluation of CellulonTM fiber : genotoxicity, pyrogenicity, acute and subchronic toxicity. *J Am Coll Toxicol*. 1991 ; 10 : 541-54.
- 28 | Rosenbruch M, Friedrichs K, Schlipkoter HW - Health significance of asbestos fibre substitutes used in the manufacture of fibre cement. *Zbl Arbeitsmed*. 1992 ; 42 : 355-362.
- 29 | Cullen RT, Miller BG, Clark S, Davis JM - Tumorigenicity of cellulose fibers injected into the rat peritoneal cavity. *Inhal Toxicol*. 2002 ; 14 (7) : 685-703.
- 30 | Anderson RL, Owens JW, Timms CW - The toxicity of purified cellulose in studies with laboratory animals. *Cancer Lett*. 1992 ; 63 (2) : 83-92.
- 31 | Morgan DL, Su YF, Dill JA, Turnier JC, Westerberg RB, Smith CS - Chemical and physical characteristics of cellulose insulation particulates, and evaluation of potential acute pulmonary toxicity. *Am J Ind Med*. 2004 ; 46 (6) : 554-69.
- 32 | Health hazard evaluation report 2000-0322-2827 NIOSH. Exposure assessment of cellulose insulation applicators. Mars 2001.
- 33 | McDonald JW, Alvarez F, Keller CA - Pulmonary alveolar proteinosis in association with household exposure to fibrous insulation material. *Chest*. 2000 ; 117 : 1813-7.
- 34 | Järholm B. Natural organic fibers - Health effects. *IntArch Occup Enviro Health*. 2000 ; 73 (suppl) : 69-74.
- 35 | Warheit DB, Reed KL, Webb TR - Man-made respirable-sized organic fibers : what do we know about their toxicological profiles ? *Ind Health*. 2001 ; 39 : 119-25.
- 36 | Kraus T, Pfahlberg A, Gefeller O, Raithel HJ - Respiratory symptoms and diseases among workers in the soft tissue producing industry. *Occup Environ Med*. 2002 ; 59 : 830-5.