

SYNTHESE / EXTENDED ABSTRACT
FRANÇAIS / ENGLISH

**GESTION DE LA FIN DE VIE DES MATERIAUX A BASE
D'AMIANTE ET AUTRES MATERIAUX FIBREUX**

**REVUE INTERNATIONALE DES DIFFERENTS
PROCEDES DE TRAITEMENT**

***END OF LIFE MANAGEMENT OF ASBESTOS BASED
MATERIALS AND OTHER FIBROUS MATERIALS***
INTERNATIONAL REVIEW OF DIFFERENT TREATMENT METHODS

mai 2016

V. NOUVEL, J.-P. PARISI – Groupement EVIDENCE – ALBA Conseil – MEDIECO Conseil & Formation

Créée en 1989 à l'initiative du Ministère en charge de l'Environnement, l'association RECORD – REseau COopératif de Recherche sur les Déchets et l'Environnement – est le fruit d'une triple coopération entre industriels, pouvoirs publics et chercheurs. L'objectif principal de RECORD est le financement et la réalisation d'études et de recherches dans le domaine des déchets et des pollutions industrielles.

Les membres de ce réseau (groupes industriels et organismes publics) définissent collégalement des programmes d'études et de recherche adaptés à leurs besoins. Ces programmes sont ensuite confiés à des laboratoires publics ou privés.

Avertissement :

Les rapports ont été établis au vu des données scientifiques et techniques et d'un cadre réglementaire et normatif en vigueur à la date de l'édition des documents.

Ces documents comprennent des propositions ou des recommandations qui n'engagent que leurs auteurs. Sauf mention contraire, ils n'ont pas vocation à représenter l'avis des membres de RECORD.

- ✓ Pour toute reprise d'informations contenues dans ce document, l'utilisateur aura l'obligation de citer le rapport sous la référence :
RECORD, Gestion de la fin de vie des matériaux à base d'amiante et autres matériaux fibreux. Revue internationale des différents procédés de traitement, 2016, 174 p, n°14-0333/1A

© RECORD, 2016

RESUME

Le présent document constitue une synthèse du **rapport final** de l'étude RECORD n°14/0333/1A relative à la réalisation d'une revue des gisements et des différents procédés de traitement en fin de vie des matériaux à base de fibres minérales naturelles (FMN), tout particulièrement d'amiante et de fibres minérales artificielles (FMA).

L'étude procède dans un premier temps à une analyse des **risques pour la santé** des matériaux fibreux dans le cadre de la phase de gestion de la fin de vie de ces matériaux.

Dans un deuxième temps, une analyse critique de procédures de **désamiantage et déconstruction d'ouvrages et d'équipements** est réalisée.

Ces deux étapes permettent la définition **des flux de matériaux fibreux en fin de vie à traiter** et conduisent au cœur de l'étude : la **revue critique prospective des technologies de traitement des déchets amiantifères et des autres matériaux FMA** qui comporte :

- ✓ Une présentation synthétique des différentes voies technologiques de traitement des matériaux fibreux en fin de vie,
- ✓ Une cartographie complète des procédés de traitement de matériaux fibreux contenant de l'amiante et des autres matériaux fibreux,
- ✓ L'identification de 11 procédés existants et brevets en cours de développement,
- ✓ Une présentation détaillée et critique des technologies les plus prometteuses.

En outre, l'étude propose au fil de sa progression des **pistes de réflexion pour conduire des travaux de recherche et développement** tant sur la réalisation des opérations de désamiantage et déconstruction des ouvrages et équipements que sur les voies technologiques de traitement des matériaux fibreux en fin de vie.

MOTS CLES

Déchet, fibres minérales naturelles, fibres minérales artificielles, amiante, déconstruction, santé, environnement, fin de vie, procédés thermiques, procédés de conversion thermo chimique.

SUMMARY

This document is a summary of the **final report** of the RECORD No 14/0333 / 1A study regarding a review of the deposits and the different end of life treatment processes of materials based on natural mineral fibers (NMF), and particularly asbestos and artificial mineral fibers (AMF).

The study proceeds initially to an analysis of the **health risks** related to fibrous materials and in the context of the end of life management phase of these materials.

In a second stage, a critical analysis of **asbestos removal procedures and deconstruction of structures and equipment** is carried out.

These two phases enable the definition of the different **flows of end of life fibrous materials to treat** and lead to the heart of the study: The **prospective critical review of asbestos waste treatment technologies and other AMF materials** that includes:

- ✓ A summary presentation of the different technological processing channels for end of life fibrous materials,
- ✓ A complete mapping of fibrous material treatment processes containing asbestos and other fibrous materials,
- ✓ The identification of 11 existing processes and patents that are currently being developed,
- ✓ A detailed and critical presentation of the most promising technologies.

In addition, throughout its progress, the study offers lines of approach about conducting research and development both in the operations of asbestos removal and demolition of structures and in the technological processing channels of end of life fibrous materials.

KEYWORDS

Waste, natural mineral fibers, artificial mineral fibers, asbestos, deconstruction, health, environment, end of life, thermal processes, thermo chemical conversion processes.

Contexte et objectifs

RECORD a réalisé une **revue des gisements et des différents procédés de traitement en fin de vie des matériaux à base de fibres minérales naturelles (FMN), tout particulièrement d'amiante et de fibres minérales artificielles (FMA).**

Après avoir établi une synthèse des **risques pour la santé** des matériaux fibreux dans le cadre de la phase de gestion de la fin de vie de ces matériaux, l'étude s'intéresse à l'analyse critique de procédures de **désamiantage et déconstruction d'ouvrages et d'équipements.**

Ces deux premières étapes permettent la définition **des flux de matériaux fibreux en fin de vie à traiter.** Puis, il est procédé à la **revue critique prospective des technologies de traitement des déchets amiantifères et des autres matériaux FMA en s'appuyant sur :**

- Une présentation synthétique des différentes voies technologiques de traitement des matériaux fibreux en fin de vie,
- Une cartographie complète des procédés de traitement de matériaux fibreux contenant de l'amiante et des autres matériaux fibreux,
- L'identification de 11 procédés existants et brevets en cours de développement,
- Une présentation détaillée et critique des technologies les plus prometteuses.

En outre, l'étude propose au fil de sa progression des **pistes de réflexion pour conduire des travaux de recherche et développement** tant sur la réalisation des opérations de désamiantage et déconstruction des ouvrages et équipements que sur les voies technologiques de traitement des matériaux fibreux en fin de vie.

Les matériaux fibreux en fin de vie auxquels s'intéresse l'étude sont :

- **Les déchets amiantifères :** produits contenant des fibres minérales naturelles cristallines de type amiante et « générés par des opérations de désamiantage, en génie civil (flocage, isolation), mais aussi par des opérations de démantèlement d'équipements à base de matériaux contenant de l'amiante (MCA), tels que des dispositifs de filtration, des protections individuelles à base d'amiante, des voitures de train, des déchets de chantiers (matériaux amiante-ciment), etc. »
- **Les déchets de matériaux FMA :** matériaux constitués de fibres minérales artificielles siliceuses et vitreuses telles que fibre de verre, fibre de roche, fibre céramique réfractaire (FCR), fibre de laitier.

Définitions et caractérisation des risques pour la santé humaine des déchets de matériaux contenant des fibres minérales naturelles ou artificielles

L'**objectif de la synthèse des risques pour la santé humaine des déchets de matériaux contenant des fibres minérales naturelles ou artificielles** réalisée dans le cadre de l'étude est de disposer de connaissances communes permettant de :

- Connaître les critères scientifiques de toxicité des matériaux à base de fibres minérales naturelles et artificielles (caractéristiques physiques et chimiques) permettant d'évaluer leur impact sur l'organisme,
- Expliquer les différences toxicologiques des divers types de fibres,
- Comprendre l'évaluation des risques sanitaires liés à l'exposition aux matériaux minéraux fibreux.

Context and objectives

RECORD conducted a **review of the deposits and the different end of life treatment processes of materials based on natural mineral fibers (NMF), and particularly asbestos and artificial mineral fibers (AMF).**

After establishing a synthetic overview of the **health risks related to fibrous materials and in the context of the end of life management phase of these materials,** the study focuses on the critical analysis of **asbestos removal and deconstruction of structures and equipment procedures.**

These two phases enable the definition of the different **flows of end of life fibrous materials to treat.** It then proceeds to a **prospective critical review of asbestos waste treatment technologies and other AMF materials based on:**

- A summary presentation of the different technological processing channels for end of life fibrous materials,
- A complete mapping of fibrous material treatment processes containing asbestos and other fibrous materials,
- The identification of 11 existing processes and patents that are currently being developed,
- A detailed and critical presentation of the most promising technologies.

In addition, throughout its progress, the study offers **lines of approach about conducting research and development** both in the operations of asbestos removal and demolition of structures and in the technological processing channels of end of life fibrous materials.

The study focuses on the following end of life fibrous materials:

- **The asbestos-containing waste:** Products containing crystalline natural mineral fibers of the asbestos type and "generated by operations such as asbestos removal, civil engineering (flocking, insulation), but also materials containing asbestos (MCA) coming from equipment dismantling operations, such as filtering devices, asbestos-based personal protection, train cars, construction waste (asbestos-cement materials), etc. "
- **Waste AMF materials:** materials consisting of artificial mineral siliceous and vitreous fibers such as glass fiber, rock fiber, refractory ceramic fiber (RCF), slag fiber.

Definitions and human health risk characterization of waste materials containing natural or artificial mineral fibers

The **summary of the human health risks of waste materials containing natural or artificial mineral fibers conducted as part of the study has an objective of providing common knowledge on:**

- Knowing the scientific criteria regarding the toxicity of materials based on natural and synthetic mineral fibers (physical and chemical) so as to assess their impact on the organism,
- Explaining the toxicological differences of the various types of fibers,
- Understanding the assessment of health risks related to the exposure to the fibrous mineral materials.

It explains the classification of fibers, the foundation for the characterization of the fiber health risks, the toxicity of natural fibers (NMF) and man-made mineral fibers

Elle explicite la classification des fibres, les bases de la caractérisation des risques sanitaires des fibres, la toxicité des fibres minérales naturelles (FMN) et des fibres minérales artificielles (FMA), l'évaluation et la limitation de l'exposition aux fibres minérales, la gestion des risques sanitaires des déchets de FMN et FMA, la gestion des risques sanitaires liés à une contamination des eaux par des fibres provenant de matériaux contenant de l'amiante.

Les fibres minérales peuvent présenter des risques pour la santé pour les raisons suivantes :

- **La forme « fibre »** : les fibres prises en compte d'un point de vue réglementaire, dans les mesures d'air, sont celles définies par l'Organisation mondiale de la santé c'est-à-dire ayant une longueur supérieure à 5 µm et un diamètre inférieur à 3 µm en raison de leur pénétration au sein de l'appareil respiratoire. La forme "fibre" est un élément pathogénique qui s'est révélé important avec l'amiante. En raison de cette structure, "toute nouvelle fibre proposée comme substitut à l'amiante ou pour tout autre usage doit être soupçonnée, a priori, d'être pathogène" (Rapport INSERM, 1999).
- **La taille des fibres** : la taille des fibres conditionne leur capacité à être inhalées. Le danger est important pour des fibres de petit diamètre et de grande longueur. Avec un diamètre inférieur à 3 µm, une fibre est dite « respirable », selon la terminologie anglaise. Elle peut se déposer dans le poumon profond (zone alvéolaire) avec le risque de migrer vers la plèvre. Si le diamètre est supérieur à 3 à 5 µm, la fibre est dite inhalable. Elle se dépose dans le tractus respiratoire, notamment au niveau des bronches et des bronchioles. Des irritations passagères de la peau, des yeux et des voies respiratoires supérieures peuvent survenir avec les fibres de diamètre plus élevé.
- **La structure des fibres** : le type d'organisation spatiale de la structure des fibres influe sur la toxicité. Une structure moléculaire cristalline est un facteur de dangerosité à la différence d'une structure vitreuse considérée comme peu nocive avec un pouvoir fibrosant limité et une relative solubilité en milieu pulmonaire.
- **La biopersistance des fibres** : La biopersistance pulmonaire est définie comme la durée de rétention des fibres dans le poumon. Plus elle est longue, plus les risques de modification pathologique de l'épithélium respiratoire et de possibilité de migration dans la plèvre augmentent. Elle dépend des caractéristiques chimiques et physiques des fibres ainsi que des mécanismes d'élimination physiologique du poumon (dissolution, fragmentation, élimination mucociliaire trachéobronchique et action lymphocytaire).

Pour appréhender les facteurs de variation de la toxicité des différentes fibres on retiendra **que le potentiel toxique d'une fibre diminue lorsque : sa longueur diminue, son diamètre augmente, sa biopersistance diminue, sa solubilité augmente.**

Synthèse de l'analyse des problématiques de désamiantage et déconstruction réalisées en amont des opérations de traitement de déchets de matériaux amiantés

Des retours d'expérience correspondant à quatre typologies d'opérations de déconstruction rencontrées par les membres de RECORD dans leur gestion de patrimoine immobilier et mobilier ont été retenus :

(MMMMF), the assessment and limiting the exposure to mineral fibers, the management of health risks of waste NMF and AMF and the management of health risks of water contamination by fibers from materials containing asbestos.

The mineral fibers may present health risks for the following reasons:

- **The "fiber" form:** From a regulatory point of view, fibers in air measurements are defined by the World Health Organization: They have a length bigger than 5 µm and a diameter less than 3 microns because of their capacity to penetrate into the respiratory tract. **The "fiber" form is a pathogenic element that has gained importance with the asbestos.** Because of this specific structure, "any new fiber proposed as a substitute for asbestos or for any other use is suspected, in principle, of being pathogenic" (INSERM Report, 1999).
- **The size of fiber:** The fiber size determines their capacity to be inhaled. The hazard is significant for fibers of small diameter and great length. With a diameter less than 3 microns, a fiber is said to be "breathable" in English terminology. It can be deposited deep in the lungs (alveolar area) with the potential to migrate to the pleura. If the diameter is bigger than 3 to 5 microns, the fiber is called breathable. It is deposited in the respiratory tract, and particularly in the bronchi and bronchioles. Temporary irritation of the skin, eyes and upper respiratory tract may occur with fibers of larger diameter.
- **The fiber structure:** The spatial organization type of the fiber structure affects the toxicity. A crystalline molecular structure is a hazard factor in contrast to a vitreous structure considered as less harmful with a limited fibrogenic power and a slight solubility in pulmonary medium.
- **The biopersistence of fibers:** Pulmonary biopersistence is defined as the duration of the fiber's retention in the lung. The longer it is retained, the more the risks of pathological changes in the respiratory epithelium and possibility of migration into the pleural cavity increase. It depends on the chemical and physical characteristics of the fibers as well as the physiological lung clearance mechanisms (dissolution, fragmentation, tracheobronchial mucociliary removal and lymphocytic action).

To understand the toxicity variation factors of different fibers, it should be noted that the toxic potential of a fiber decreases when: its length decreases, its diameter increases, its biopersistence decreases, its solubility increases.

Summary of the analysis of issues regarding asbestos removal and deconstruction carried out before waste treatment operations of asbestos materials

Based on experience feedback, four types of deconstruction operations encountered by RECORD members in their movable and immovable property management were identified:

- **the total deconstruction of an industrial site : equipment and buildings included,**
- **equipment dismantling**

- la déconstruction totale d'un site industriel : équipements et bâtiments,
- la déconstruction d'équipements,
- la déconstruction d'un bâtiment tertiaire complexe (type siège d'entreprise),
- la déconstruction d'un bâtiment tertiaire de bureaux usuel.

De l'analyse, basée sur des retours d'expérience de projets concrets de déconstruction il ressort que **la maîtrise des diagnostics amiante et déchets est un préalable à l'innovation en matière de traitement des déchets amiantés.**

Cette maîtrise constitue de surcroît un **facteur d'optimisation économique** : le coût de traitement des déchets contenant de l'amiante représente une faible part du coût global des opérations de désamiantage des ouvrages et équipements. Il en résulte actuellement une priorisation des actions de recherche et développement sur les procédés de désamiantage par rapport aux solutions de traitement.

Conséquence des prescriptions réglementaires en matière d'émission de fibres lors des opérations de désamiantage, le choix du procédé de désamiantage est déterminé avant tout par son efficacité vis-à-vis de la séparation des matériaux amiantés de leur support et ses impacts sur l'environnement de travail : sécurité des opérateurs et limitation de l'empoussièrment.

Les flux de déchets produits correspondent à des associations de matériaux contenant de l'amiante avec des matériaux qui en sont dépourvus (plâtre, métaux,...) compte tenu d'une part, des procédés de désamiantage mis en œuvre, (produit de sablage, etc), d'autre part, des difficultés de désassemblage des matériaux entre eux (flocage sur une paroi en plâtre,...).

Cette approche sécuritaire et les problématiques de séparation des matériaux posent la question de la pertinence dans certains cas du désamiantage d'éléments constitutifs d'équipements ou d'ouvrages par rapport à leur traitement direct comme déchet amianté.

Les opérations de désamiantage ont lieu très majoritairement (en termes de volumes de déchets produits) lors de la phase spécifique de désamiantage et sont complétées par des opérations de désamiantage complémentaires lors de la déconstruction. Aussi, une massification des flux de déchets contenant de l'amiante existe de fait et peut constituer un atout pour la mise en œuvre de procédés de prétraitement ou traitement mobiles sur site.

Les sites industriels comportent outre des ouvrages et équipements liés au process, des bâtiments tertiaires ; il en résulte deux typologies de chantiers de désamiantage/déconstruction. Afin de limiter les quantités globales de déchets amiantés produites (déchets amiantés liés aux ouvrages ou équipements et déchets de protection des personnels et de l'environnement), il est opportun d'adopter pour chaque typologie une organisation des prestations de désamiantage et déconstruction adaptée.

Les conséquences des choix des procédés de désamiantage liés à la nouvelle réglementation mériteraient de faire l'objet d'une approche globale de type ACV des impacts des quantités de déchets de matériels de protection produites en regard des impacts des déchets de matériaux de construction amiantés objet de l'opération de désamiantage.

Une telle analyse apporterait des éléments de réflexion utiles pour faire évoluer les procédures actuelles de désamiantage en

- *the deconstruction of a tertiary complex building (company headquarters type)*
- *the deconstruction of a tertiary common office building*

*The analysis, based on feedback from concrete projects on deconstruction, shows that the **control of asbestos diagnoses and waste is a prerequisite for innovation in the treatment of asbestos waste.***

*This control also provides an **economic optimization factor**: the cost of waste treatment containing asbestos represents only a small share of the overall cost of the asbestos removal operations for buildings and equipment. It is currently a priority in research and development actions on asbestos removal processes relative to treatment solutions.*

Resulting from regulatory requirements regarding the emission of fibers during asbestos removal operations, the choice of the asbestos removal process is determined primarily by its efficiency vis-à-vis the separation of asbestos materials from their support and its impacts on the working environment: the safety of the operators and dust limitation.

The streams of waste generated match combinations of asbestos-containing materials with materials that are devoid (plaster, metals, ...) taking into account, on the one hand, the methods of asbestos removal implemented (product sandblasting, etc.), and on the other hand the difficulties of disassembling materials between them (flocking on a plaster wall, ...).

This security approach and material separation issues raise the question of relevance in some cases of removing asbestos from equipment or structure constituent elements in relation to their direct treatment as asbestos containing waste.

In terms of waste volumes produced, asbestos removal operations take place very predominantly during the specific phase of asbestos removal and are supplemented by additional asbestos removal operations during deconstruction. Also, a massification of flows of waste containing asbestos does indeed exist and can be an asset for the implementation of pretreatment or mobile treatment processes on site.

Other than structures and equipment related to the process, industrial sites also include tertiary buildings, resulting in two types of asbestos removal / deconstruction sites.

To limit the overall amount of asbestos waste produced (asbestos waste from structures and equipment and waste from the protection equipment for the personnel and environment), it is appropriate to adopt an adapted asbestos removal and deconstruction method for each site type.

The consequences arising from the choice of the asbestos removal processes related to new regulations deserve a Life Cycle Analysis type of approach of the impacts of protective material waste quantities produced in relation to the impacts of asbestos building waste materials originating from the asbestos removal operation.

Such analysis would provide useful points for consideration to change the current procedures for asbestos removal in line with the requirements for the person and environmental protection as well as the budget control.

cohérence avec les impératifs de protection des personnes et des milieux et de maîtrise budgétaire.

Synthèse de l'analyse des procédés de traitement des matériaux fibreux contenant de l'amiante

L'identification des brevets entrant dans le champ de l'étude a été réalisée en s'appuyant sur la base de l'OMPI (Organisation Mondiale pour la Propriété Intellectuelle).

Les procédés paraissant les plus intéressants à étudier plus en détail au regard des critères fixés dans le cadre de l'étude sont les suivants :

Process	Family	Method	Patent	All asbestos waste	Organic pollution tolerance	Objective for complete destruction	Valorisation	2 phase process	Advancement
<i>MCT Establishment</i>	<i>T</i>	<i>Dehydration</i>	<i>1</i>	Yes	Yes	Yes	Weak	No	N/A
<i>TAIHEIYO CEMENT CORP</i>	<i>T</i>	<i>Dehydration</i>	<i>5</i>	Yes	Yes	Yes	Weak	No	N/A
<i>INERTAM</i>	<i>T</i>	<i>Fusion / vitrification</i>	<i>N/A</i>	Yes	Yes	Yes	Weak	No	Industrial
<i>Direct Melting System / Thermoselect</i>	<i>T</i>	<i>Fusion (Gasefication)</i>	<i>N/A</i>	Yes	Yes	Yes	Weak	No	N/A
<i>SUMITOMO OSAKA CEMENT</i>	<i>TC</i>	<i>Mineralizing agent / acid</i>	<i>24 (of which 2 worldwide)</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	No	N/A
<i>ARI-TECHNOLOGIES</i>	<i>TC</i>	<i>Agent minéralisant</i>	<i>3</i>	Yes	Yes	Yes	Weak	Yes	Industrial
<i>ATON HT</i>	<i>TC</i>	<i>Mineralising agent</i>	<i>2 (of which 2 worldwide)</i>	Yes	Yes	Yes	Weak	Yes	Industrial Pilot
<i>TECHME / IRAM</i>	<i>TC</i>	<i>Mineralising agent</i>	<i>1 (Worldwide)</i>	Yes	Yes	Yes	Not planned	Not planned	Laboratory Pilot
<i>NEO-ECO RECYCLING</i>	<i>TC</i>	<i>Acid</i>	<i>2 (Worldwide)</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Laboratory Pilot
<i>Carpena / Lacout</i>	<i>TC</i>	<i>Acid</i>	<i>3 (Worldwide)</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Research partner
<i>VALMIANTE</i>	<i>TC</i>	<i>Acid</i>	<i>Non déposé</i>	No	Yes	Yes	Yes	N/A	Research

- En italique figurent les procédés qui paraissaient intéressants à étudier plus en détail mais pour lesquels il n'a pas pu être établi un contact avec les sociétés concernés.*
- Concernant le procédé DMS (Direct Melting System) il a été présenté dans le paragraphe précédent sur les procédés thermiques.

Les principaux enseignements de l'étude en matière de **technologies de traitement des déchets amiantifères** sont les suivants :

Avancées technologiques en matière de conversion thermo chimique des déchets amiantés :

Les procédés de traitement ont été sélectionnés pour leur capacité à supprimer les risques sanitaires et environnementaux liés aux déchets amiantés.

Concernant les traitements thermo-chimiques, les procédés les plus avancés se basent sur l'utilisation d'un agent minéralisant qui va permettre de détruire la structure fibreuse de l'amiante par un traitement thermique ne nécessitant pas d'atteindre le point de fusion.

Les 2 procédés retenus (ARI Technologies et ATON-HT) fonctionnent sur un principe théorique similaire utilisant un agent minéralisant de même nature (silicate de sodium / borax). C'est sur le volet du traitement thermique que se fait la différence.

Methods of treating fibrous materials containing asbestos analysis summary

The identification of patents falling within the scope of the study was conducted based on the WOIP database (World Organization for Intellectual Property).

The methods seeming most interesting to study in detail under the criteria set in the context of the study are:

- In italics are the processes that seem interesting to study in more detail but for which a contact with relevant companies could not be established.*
- Regarding the DMS process (Direct Melting System), it was introduced in the previous paragraph on thermal processes.

The main findings of the study on **asbestos-containing waste treatment technologies** are:

Technological advances in thermochemical conversion of asbestos waste:

The treatment processes were selected for their capacity to eliminate the health and environmental risks related to asbestos waste.

Regarding the thermo-chemical treatments, the most advanced processes are based on the use of a mineralizing agent which helps to eliminate the fibrous structure of asbestos by a thermal treatment that does not require to reach the melting point.

The two processes selected (ARI Technologies and ATON-HT) operate on a similar theoretical principle, using a similar mineralizing agent (sodium silicate / borax). The difference is made at the thermal processing stage.

Thermochemical treatments based on an acid attack (Neo-Eco Recycling / VALMIANTE) are less advanced. These 2

Les traitements thermochimiques basés sur une attaque acide (Neo-Eco Recycling / VALMIANTE) sont moins avancés. Ces 2 projets sont initiés par des acteurs Français mais sont toujours en phase de test.

Sur le plan technique, des solutions de traitement de déchets amiantés à échelle industrielle se dessinent. Les tarifs annoncés sont très compétitifs mais restent à valider. Il est peu probable qu'une solution de traitement puisse être réellement commercialisée à un cout inférieur à celui du stockage en installation dédiée.

Quoiqu'il en soit, l'étude montre que l'enjeu financier pour les acteurs concernés est du côté du désamiantage proprement dit. Le cout de traitement du déchet amianté pèse peu dans le bilan économique global d'une opération de désamiantage comme cela a été mis en évidence lors de l'analyse des retours d'expérience de déconstruction.

En outre, les déchets amiantés restent des « déchets historiques » en raison de l'interdiction de commercialisation des matériaux amiantés.

Au final, parmi les 208 brevets identifiés, 11 correspondent à des procédés de traitement complet des déchets amiantés. Leur analyse permet de conclure à l'existence d'un potentiel de 5 procédés de traitement par conversion thermo chimique en cours de développement.

Développement des technologies et caractéristiques intrinsèques du déchet amianté :

Compte tenu des modes opératoires mis en œuvre pour désamianter les ouvrages et équipement, les flux de déchets amiantés en entrée de traitement correspondent à des matériaux constitués certes d'amiante mais aussi de plâtre, de plastiques, de béton, d'autres matériaux non présents à la base dans les ouvrages et équipements (produits de sablage, confinements et EPI) mais nécessaires au désamiantage et à la protection des opérateurs et de l'environnement...

Une autre problématique également importante à souligner est celle de la séparation amphibole/chrysotile prescrite par certains développeurs en entrée de traitement.

La nature du support a beaucoup plus d'impact sur le choix du mode de traitement que la variété d'amiante. Or, à l'analyse des procédés en développement beaucoup ne semblent pas adaptés à la prise en charge de la complexité intrinsèque du flux de déchets amiantés.

En outre, les procédés de conversion thermo-chimiques peinent à offrir des capacités unitaires de traitement élevées.

Développement de technologies de traitement spécifiques et utilisation de procédés industriels ouverts existants pour le traitement de déchets amiantés **En cimenterie :**

Il apparaît donc pertinent d'un point de vue technico économique d'explorer cette voie de valorisation, ce que n'ont pas manqué de faire les cimentiers japonais (une cinquantaine de brevets déposés sur ce sujet). En revanche, les cimentiers français ne semblent pas favorables au développement du traitement de déchets amiantés sur leurs sites pour des questions d'acceptabilité par les populations riveraines des cimenteries mais également par leurs clients utilisateurs.

En aciérie :

En l'état actuel des technologies, il n'apparaît pas envisageable de traiter les pièces métalliques amiantées directement dans les fours d'aciéries pour procéder à leur valorisation matière. Il

projects are initiated by French actors but are still in the testing phase.

On the technical level, industrial treatment solutions for asbestos waste are emerging. The advertised rates are very competitive but remain to confirm. It is highly unlikely that a treatment solution can actually be sold at a lower cost than storage rates of a dedicated facility.

Nevertheless, the study shows that the financial stakes for the actors involved is on the side of the actual asbestos removal. The asbestos waste treatment cost doesn't weigh much in the global economic balance of an asbestos removal operation, as was highlighted in the analysis of the deconstruction feedback.

Furthermore, asbestos waste remain "historical waste" because of the ban on marketing of asbestos materials.

In the end, amongst the 208 identified patents, only 11 correspond to a complete treatment process for asbestos waste. Their analysis leads to the conclusion that there is a potential for 5 thermo chemical conversion treatment processes, which are currently under development.

Technology development and intrinsic characteristics of asbestos-waste:

Taking into account the procedures used to remove asbestos from buildings and equipment, asbestos-containing waste streams entering the treatment process correspond to materials admittedly consisting of asbestos but of plaster, plastic, concrete, other materials initially not present in the buildings and equipment (sandblasting products, confinements and PPE) but required for the removal of asbestos and the protection of operators and the environment...

Another equally important issue to note is that of the amphibole / chrysotile separation prescribed by some developers at processing entry.

The nature of the holding frame has much more impact on the treatment method choice than that of asbestos variety. However, upon analysis of developing processes, many do not seem suited for the management of the inherent complexity of asbestos waste streams.

In addition, the thermo-chemical conversion processes struggle to provide high unit treatment capacities.

Development of specific treatment technologies and using existing open industrial processes for the treatment of asbestos waste **In cement plants:**

It therefore seems appropriate from a technical and economic point of view to explore this recovery chain, something that the Japanese cement plants did not fail to do (fifty patents filed on this subject). However, the French cement plants do not seem favorable to the development of asbestos waste treatment on their sites for issues of acceptability by local residents bordering the cement plants but also by their user customers.

Steel plant:

In the current state of technology, it appears impossible to treat the asbestos-containing metal parts directly into steel furnaces to attain material recovery. It should be noted that cement plants and steel plants are not designed, in their

convient de noter que les cimenteries et aciéries ne sont pas conçues dans leur configuration actuelle pour mettre en œuvre une prise en charge de déchets amiantés dans un objectif de performance « zéro fibre » contrairement à des procédés spécifiquement développés pour les déchets amiantés.

Développement des technologies de traitement et responsabilité du producteur de déchets :

Tous les procédés de traitement sélectionnés dans le cadre de l'étude permettent un transfert de responsabilité du producteur/détenteur de déchets amiantés à l'installation de traitement de ces déchets.

Ainsi, le risque à long terme pour le producteur du déchet amianté qui en découle, mais également les prescriptions réglementaires applicables aux déchets (limitation de l'enfouissement, accroissement des objectifs de valorisation des déchets du BTP) sont des facteurs pouvant favoriser l'exploitation commerciale de procédés de traitement apparemment mature sur le plan technique.

Développement des technologies de traitement et cadre réglementaire :

La mise en regard des procédés en développement avec la réglementation en matière d'amiante fait apparaître de manière prégnante des difficultés juridiques.

La réglementation en matière d'amiante est éclatée entre les prescriptions du Code de l'environnement et les prescriptions du Code du Travail de la Santé ; même si cette situation répond bien à la différence d'objectifs qui existe entre ces deux codes, il n'en demeure pas moins qu'en pratique **l'application croisée des prescriptions** des deux codes dans le cadre d'une **opération globale de désamiantage soulève des difficultés.**

De même, si la réglementation en matière d'émission de fibres encadre les opérations sur les sites même de désamiantage, il n'existe pas pour les sites dédiés au traitement de déchets amiantés de prescriptions contraignantes (de nature à garantir un niveau similaire de protection des personnes) applicables aux opérations de dépotage, préparation et introduction dans des procédés de conversion thermo chimique des déchets amiantés étudiés.

Mise en perspective des résultats de l'étude

Les investigations et analyses réalisées dans le cadre de cette étude ont permis à RECORD d'identifier les principaux freins à l'émergence de nouvelles solutions de traitement des déchets de matériaux fibreux en fin de vie, et en particulier de déchets contenant de l'amiante :

- Le caractère complexe et la diversité des déchets amiantés

Alors que l'amiante est composée de seulement deux grandes catégories de familles de minéraux (les Amphiboles et les Serpentes), les déchets amiantés sont constitués eux d'amiante associé à un support de composition très variable (plâtre, plastiques, béton, métaux,...) et dans des proportions éminemment variables.

Cette variabilité intrinsèque des flux de déchets contenant de l'amiante est aujourd'hui difficile à appréhender pour les développeurs de nouveaux procédés de traitement.

Elle induit également des difficultés pour échantillonner et caractériser les déchets amiantés.

current configuration, to implement a management of asbestos waste in a performance objective of "zero fiber" as opposed to processes developed specifically for asbestos waste.

Development of treatment technologies and responsibility of the waste producer:

All treatment methods selected as part of the study allow a responsibility transfer from the producer / holder of asbestos-containing waste to the waste treatment facility.

Thus, the long-term risk for the producer of asbestos-containing waste resulting therefrom, but also regulatory requirements for waste (landfill limitations, increased recovery targets for the building and public works waste) are factors that encourage the commercial exploitation of treatment processes, which seem mature on the technical level.

Development of treatment technologies and regulatory framework:

The confrontation of developing processes with asbestos related regulations of pregnant vividly reveals legal difficulties.

Asbestos related regulations are split between the requirements of the Environmental Code and the requirements of the Labor and Health code; even if the situation meets the various objectives existing between these two codes, the fact remains that in practice **the cross application of the requirements** of both codes as part of the **overall asbestos removal procedure raises difficulties.**

Similarly, even though the regulations regarding fiber emission frame the operations on the actual asbestos removal sites, there are no binding rules for the sites dedicated to the treatment of asbestos waste (such as to guarantee a similar level of protection of individuals) applicable to transfer, preparation and introduction operations in the asbestos waste thermo chemical conversion processes studied.

Study results in perspective

The investigations and analysis carried out in this study have allowed RECORD to identify the main obstacles to the emergence of new waste treatment solutions for end-of-life fibrous materials, particularly asbestos-containing waste:

- The complexity and diversity of asbestos waste

While asbestos is composed of only two major categories of mineral groups (the Amphiboles and Serpentes), the asbestos waste themselves are composed of asbestos associated with a very variable support frame composition (plaster, plastic, concrete, metal ...) and in highly variable proportions.

This intrinsic variability of asbestos-containing waste streams is currently difficult to understand for developers of new treatment processes.

It also leads to difficulties when sampling and characterizing the asbestos waste.

Indeed, it is recalled that for present analytical characterization, the determination of airborne asbestos

En effet, il est rappelé qu'actuellement en matière de caractérisation analytique la détermination des concentrations en fibres d'amiante en suspension dans l'air est réalisée dans le cadre de la norme NF X 43-050 de janvier 1996 relative à la détermination de la concentration en fibres d'amiante par microscopie électronique à transmission analytique (META). Cette norme est réputée satisfaire aux exigences de l'Arrêté du 14 août 2012 relatif aux conditions de mesurage des niveaux d'empoussièrément, 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.

Or, cette méthode de détermination des dimensions, de la nature et des concentrations en fibres d'amiante ne peut pas différencier les fibres individuelles issues d'amphiboles asbestiformes de celles issues d'autres variétés non asbestiformes du même minéral amphibole.

- La structure et le contenu éclatés de la réglementation applicable aux déchets contenant de l'amiante

La réglementation en matière d'émission de fibres encadre les opérations sur les sites même de désamiantage ; en revanche, il n'existe pas pour les sites dédiés au traitement de déchets amiantés de prescriptions contraignantes (de nature à garantir un niveau similaire de protection des personnes) applicables aux opérations de dépotage, préparation et introduction dans des procédés de conversion thermo chimique des déchets amiantés étudiés.

Autre aspect important, le seuil réglementaire de concentration de 0.1 % d'une substance reconnue comme étant cancérigène, des catégories 1 ou 2 (propriété HP7 – cancérigène) sert de base juridique pour justifier d'un classement en déchet dangereux au regard de la réglementation des déchets du Code de l'Environnement de déchets contenant de l'amiante.

Or compte tenu de ses objectifs, le Code de la Santé Publique et du Travail s'appuie lui, pour formuler ses prescriptions en matière de protection des opérateurs de désamiantage, sur le classement de toutes les fibres d'amiante comme des cancérigènes certains, quelle que soit leur type minéralogique, (classement du Centre international de recherche sur le cancer - CIRC).

Il résulte de ces incohérences juridiques, liées aux différences d'objectifs (légitimes) poursuivis par les deux codes, des zones d'ombre réglementaires qui en l'état actuel peuvent porter préjudice au développement de nouvelles solutions de traitement des déchets amiantés.

- Le poids économique de la phase de désamiantage par rapport à celle de traitement du déchet contenant de l'amiante

L'étude avait comme axe de développement prioritaire les procédés de traitement des déchets amiantés tant dans leur dimension technique qu'économique.

Or les travaux réalisés dans le cadre de l'étude ont mis en évidence la faible part du coût de traitement des déchets contenant de l'amiante dans le coût global des opérations de désamiantage.

Il en résulte actuellement une priorisation des actions de recherche et développement sur les procédés de désamiantage par rapport aux solutions de traitement.

- L'acceptabilité de certains procédés au regard des problèmes de santé publique liés à l'amiante

L'acceptabilité de nouveaux procédés de traitement dédiés mais aussi de l'acceptabilité d'un recours aux procédés industriels ouverts (cimenteries, aciéries) pour traiter les déchets amiantés pose la question de l'encadrement

fibers concentrations is conducted as part of the NF X 43-050 - January 1996 standard related to the asbestos fibers concentration determination by analytical transmission electron microscopy (ATEM). This standard is deemed to meet the requirements of the 14 August 2012 Decree related to the conditions of dust levels measurement, the respect of the limit value control requirements for occupational exposure to asbestos fibers and the conditions of accreditation of organizational bodies performing these measurements.

However, this method of determining the size, nature and concentrations of asbestos fibers cannot differentiate between the individual amphibole asbestiform and non-asbestiform fibers of the same amphibole mineral.

- The economic weight of the asbestos removal phase with respect to the asbestos-containing waste treatment phase

The study's development focus was on asbestos waste treatment processes both in their technical and economic dimension.

However, the work carried out as part of the study highlighted the small share of the asbestos-containing waste treatment cost in the overall cost of asbestos removal operations.

As a result, actions in research and development on asbestos removal processes have a priority on actions regarding treatment solutions.

- The acceptability of certain processes in terms of public health problems associated with asbestos

The acceptability of new dedicated treatment processes but also the acceptability of the use of open industrial processes (cement and steel plants) for treating asbestos waste raises questions about the regulatory framework regulating fiber content measurement and the interpretation of the measurement.

The issue of measurement merits being understood both upstream to qualify the 0.1% asbestos content of asbestos-containing waste which results in their classification as hazardous waste, and downstream to qualify the "0 fiber" content of the product resulting from the treatment of asbestos waste.

For RECORD, these various obstacles constitute many fields of investigation in pursuit of its cooperative research in the field of waste and industrial pollution.

réglementaire de la mesure de la teneur en fibre et de l'interprétation de la mesure.

La problématique de la mesure mérite d'être appréhendée aussi bien en amont pour qualifier le 0,1% de teneur en amiante des déchets contenant de l'amiante qui a pour conséquence leur classification en déchet dangereux, qu'en aval pour qualifier la teneur « 0 fibre » du produit issu du traitement des déchets d'amiante.

Ces différents freins constituent pour RECORD autant de champs d'investigation pour la poursuite de ses travaux de recherche coopérative dans le domaine des déchets et des pollutions industrielles.

CONNAISSANCES DE BASE SUR LES MATERIAUX FIBREUX

Pour bien comprendre les problématiques traitées à travers cette étude, les caractéristiques principales des matériaux fibreux sont rappelées ci-après.

EXISTE-T-IL DIFFERENTES CATEGORIES DE FIBRES ?

Les fibres sont classées selon leur **origine naturelle ou manufacturées**, leur **composition** et leur **structure**.

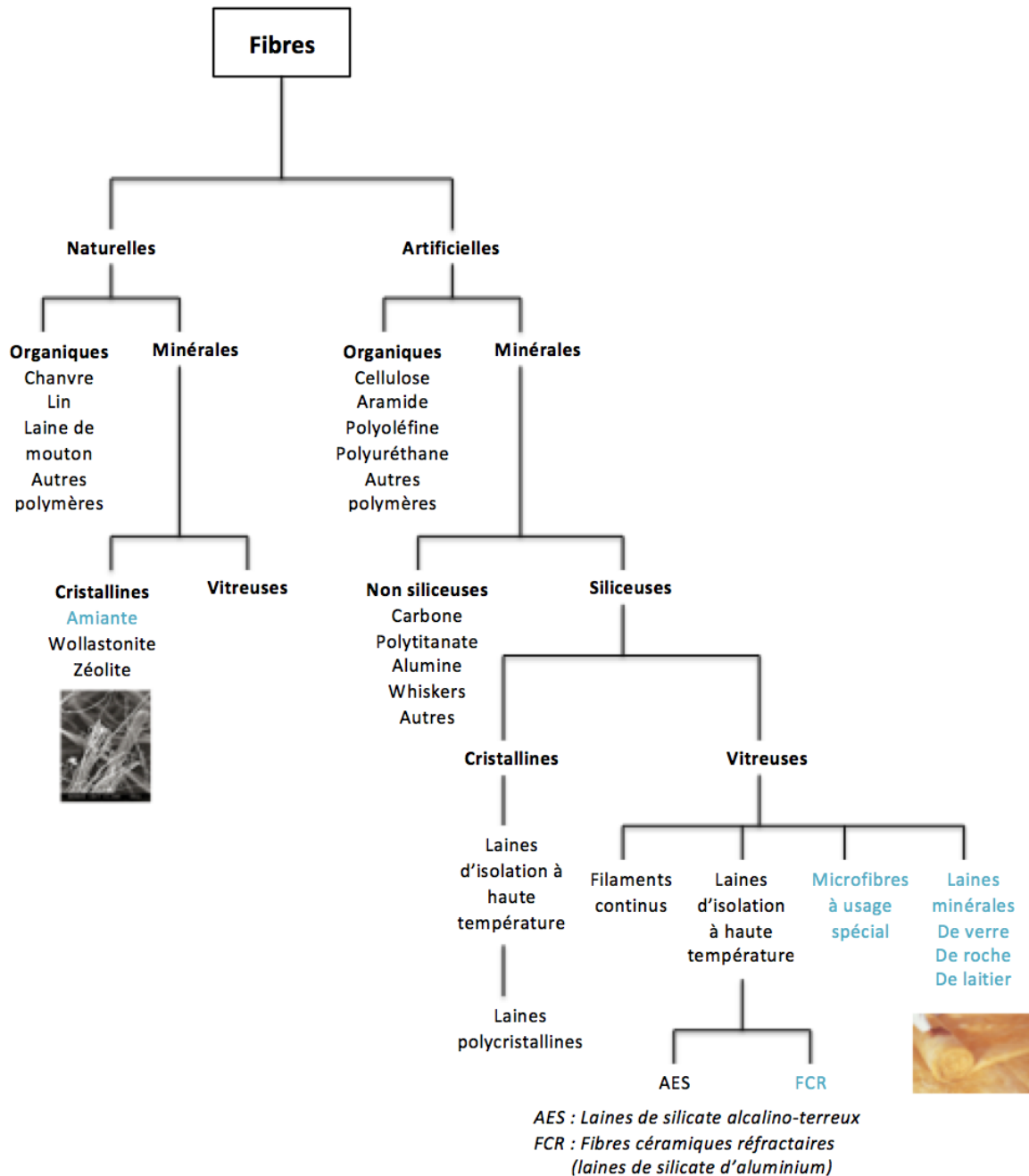


Figure 1 Présentation des différentes familles de fibres (complétée à partir de TIMA, 1991)

L'étude concerne tout particulièrement les fibres naturelles minérales cristallines dont l'amiante et les fibres artificielles minérales, siliceuses et vitreuses dont l'usage le plus important est représenté par les laines minérales d'isolation.

POURQUOI LES FIBRES MINÉRALES PEUVENT PRÉSENTER DES RISQUES POUR LA SANTÉ ?

▪ **La forme « fibre »**

Les fibres prises en compte d'un point de vue réglementaire, dans les mesures d'air, sont celles définies par l'Organisation mondiale de la santé c'est-à-dire ayant une longueur supérieure à 5 µm et un diamètre inférieur à 3 µm en raison de leur pénétration au sein de l'appareil respiratoire.

La forme "fibre" est un élément pathogénique qui s'est révélé important avec l'amiante.

En raison de cette structure, "toute nouvelle fibre proposée comme substitut à l'amiante ou pour tout autre usage doit être soupçonnée, *a priori*, d'être pathogène" (Rapport INSERM, 1999).

▪ **La taille des fibres**

La taille des fibres conditionne leur capacité à être inhalées. Le danger est important pour des fibres de petit diamètre et de grande longueur.

Avec un diamètre inférieur à 3 µm, une fibre est dite « respirable », selon la terminologie anglaise. Elle peut se déposer dans le poumon profond (zone alvéolaire) avec le risque de migrer vers la plèvre.

Si le diamètre est supérieur à 3 à 5 µm, la fibre est dite inhalable. Elle se dépose dans le tractus respiratoire, notamment au niveau des bronches et des bronchioles.

Des irritations passagères de la peau, des yeux et des voies respiratoires supérieures peuvent survenir avec les fibres de diamètre plus élevé.

▪ **La structure des fibres**

Le type d'organisation spatiale de la structure des fibres influe sur la toxicité.

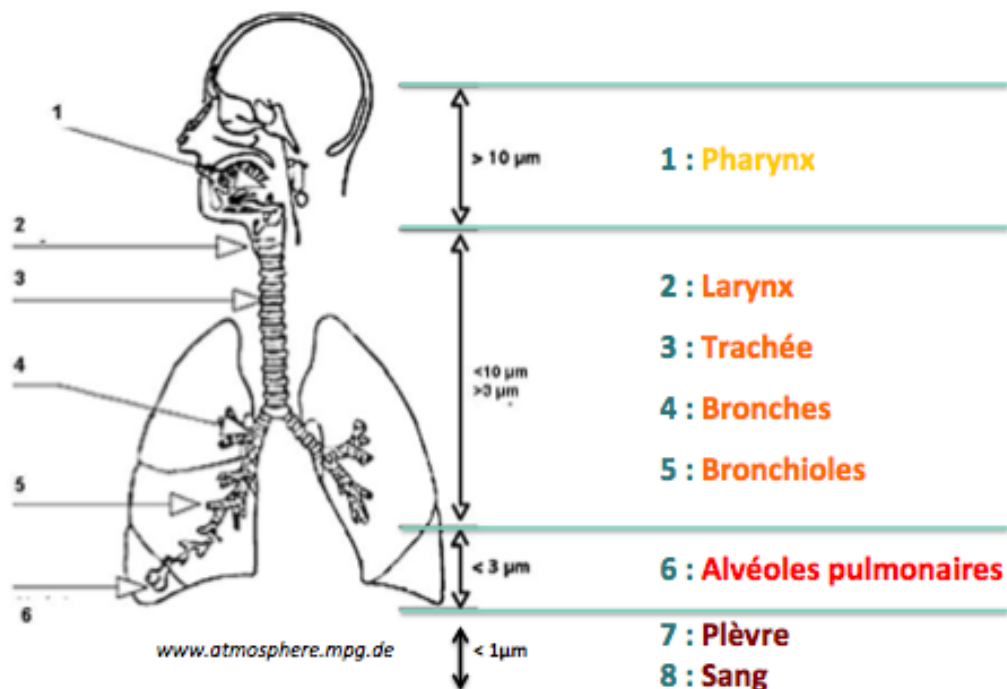


Figure 2 Pénétration dans le système respiratoire selon le diamètre des fibres

Une structure moléculaire cristalline (cas des fibres d'amiante) est un facteur de dangerosité à la différence d'une structure vitreuse (cas des fibres des laines minérales d'isolation) considérée comme peu nocive avec un pouvoir fibrosant limité et une relative solubilité en milieu pulmonaire.

▪ La biopersistance des fibres

La biopersistance pulmonaire est définie comme la durée de rétention des fibres dans le poumon.

Plus elle est longue, plus les risques de modification pathologique de l'épithélium respiratoire et de possibilité de migration dans la plèvre augmentent. Elle dépend des caractéristiques chimiques et physiques des fibres ainsi que des mécanismes d'élimination physiologique du poumon (dissolution, fragmentation, élimination mucociliaire trachéobronchique et action lymphocytaire).

Pour appréhender les facteurs de variation de la toxicité des différentes fibres on retiendra que le potentiel toxique d'une fibre diminue lorsque :

- sa longueur diminue,
- son diamètre augmente,
- sa biopersistance diminue,
- sa solubilité augmente.

QU'EST-CE QUE L'AMIANTE ?

L'amiante est un terme générique pour décrire une variété naturelle de **silicate hydraté** contenant des **minéraux (calcium, fer, magnésium, sodium)** et présentant une **structure cristalline fibreuse**.

Un Silicate hydraté

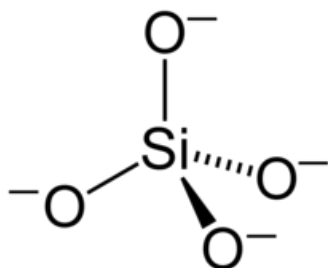


Figure 3 Forme moléculaire du silicate hydraté

Un **silicate** est un minéral structuré à partir d'une unité de base qui est l'ion silicate $[\text{SiO}_4]^{4-}$. On parle du tétraèdre SiO_4 .

Le tétraèdre SiO_4 est extrêmement stable. Seul l'acide fluorhydrique peut dissoudre le squelette silicique en formant des fluoro-silicates hydrosolubles (SiF_4)

On parle de **silicate hydraté** lorsqu'au sein d'un ion silicate, certains atomes d'oxygène sont remplacés par des groupes hydroxyle (OH).

Le groupe ionique SiO_4 possède la particularité de pouvoir constituer des polymères en mettant en commun certains atomes d'oxygène (ou groupe hydroxyle).

Des minéraux

La structure moléculaire des minéraux est constituée d'ions. Au sein d'un minéral la charge totale doit rester neutre.

Lorsque le tétraèdre SiO_4 est isolé sa structure est chargée à -4 . Il y a 2 façons de neutraliser les charges : lier ensemble les tétraèdres par leurs atomes d'oxygène (processus de polymérisation tétraèdre à tétraèdre) et/ou se lier avec des ions positifs tels que Fer (Fe), Magnésium (Mg), Sodium (Na), Calcium (Ca).

Notion de « structure idéale »

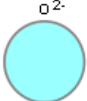








ANION (-)	CATIONS (+)		
 R = 1,40	 R = 0,39	 R = 0,51	
	 R = 0,64	 R = 0,74	 R = 0,66
	 R = 0,97	 R = 0,99	 R = 1,33
R = rayon ionique en Angstroms (1Å = 10 ⁻⁹ mm)			

Figure 4 Tableau comparatif des tailles de cations par rapport à l'anion superoxyde

Même si chaque composé minéral possède une composition chimique définie, on admet certaines variations dues à la substitution de certains ions par d'autres. Les substitutions d'ions dans les minéraux sont en grande partie contrôlées par la taille et la charge des ions, ce qu'illustre le tableau ci-contre.

Ainsi, il sera facile de faire des substitutions d'ions de taille et de charge semblables, comme de substituer le fer (Fe) au magnésium (Mg), ou le sodium (Na) au calcium (Ca). Le calcium, le sodium et le potassium (K) pourront également se substituer au magnésium sous certaines conditions de température et de pression. En revanche il sera plus difficile de substituer du potassium ou de l'oxygène (O) à l'aluminium (Al).

Structure physico-chimique de l'amiante

L'amiante est issu de 2 familles de minéraux : les Amphiboles et les Serpentes.

Toutes les Amphiboles et Serpentes ne sont pas de l'amiante.

Au sein de ces familles, seuls les minéraux ayant une **structure cristalline fibreuse** sont de l'amiante. Cette structure cristalline, qui détermine la forme et la taille des fibres, est un élément de différenciation important entre l'amiante serpentine (le chrysotile) et les amiantes amphiboles. C'est le mode et le degré de polymérisation des ions silicates qui est à l'origine de la classification des 6 variétés d'amiante :

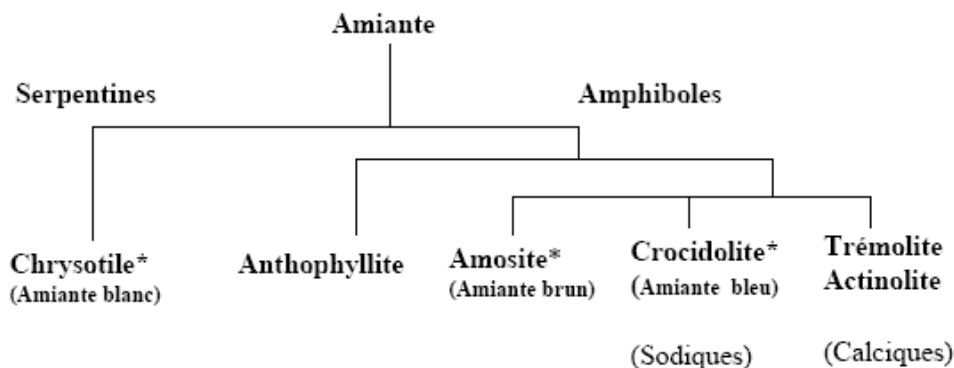


Figure 5 Classement des variétés d'amiante
* variétés d'amiantes d'importance commerciale

L'étude ne s'intéresse qu'aux variétés d'amiantes d'importance commerciale, seules susceptibles d'être présentes dans un déchet amianté : chrysotile (Serpentine), crocidolite et amosite (Amphiboles).

▪ Structure cristalline du chrysotile :

Le **chrysotile est un silicate hydraté essentiellement de magnésium.**

Les cations Si⁴⁺ ou Mg²⁺ sont entourés d'anions oxygène (O⁻) ou hydroxyle (OH⁻).

La structure cristalline du chrysotile se présente comme un polymère formé par la superposition en plusieurs feuillets, d'une couche tétraédrique - Te (tétraèdre SiO₄ associés entre eux) associée à une

couche octaédrique - Oc dite brucitique en référence à sa structure et à sa composition qui ressemblent à celles de la brucite, minéral d'hydroxyde de magnésium ($Mg(OH)_2$) de forme fibreuse. Dans cette couche brucitique de maille $Mg_3(OH)_6$ deux groupements hydroxyles sur trois sont remplacés par des atomes d'oxygène aux pointes des tétraèdres.

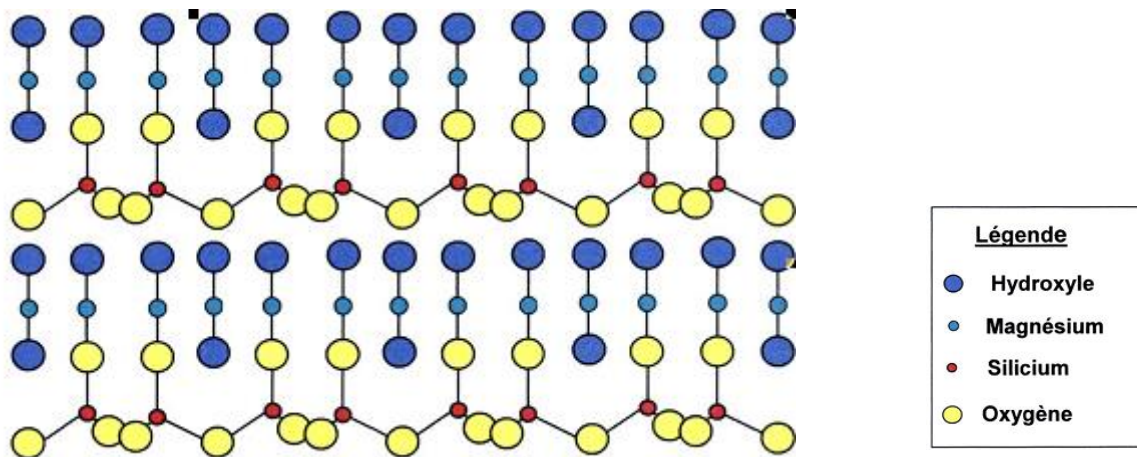


Figure 6 Structure Chimique du chrysotile

En surface du chrysotile, se trouve donc une couche de groupements hydroxyles qui est soutenue par des atomes de magnésium.

Une couche de groupements silicates est liée à la couche brucitique par des atomes d'oxygène. Les deux couches forment un feuillet.

Les anomalies de superposition ainsi que les contraintes internes dues à l'asymétrie entre les couches Te et Oc incurvent les couches jusqu'à former des cylindres appelés fibrilles.

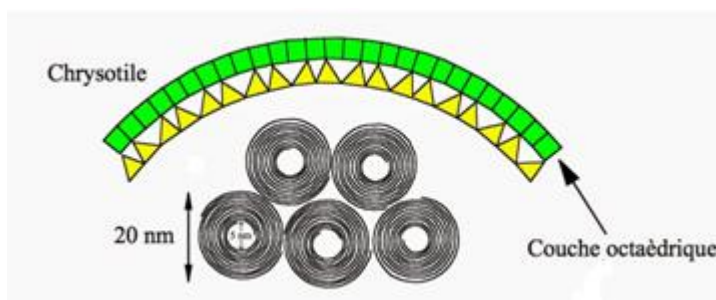


Figure 7 La formation feuillet

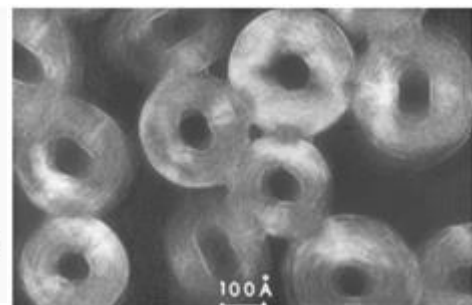


Figure 8 Vue au microscope électronique à transmission, sur une section perpendiculaire à l'axe des fibres

▪ Structure cristalline des amphiboles

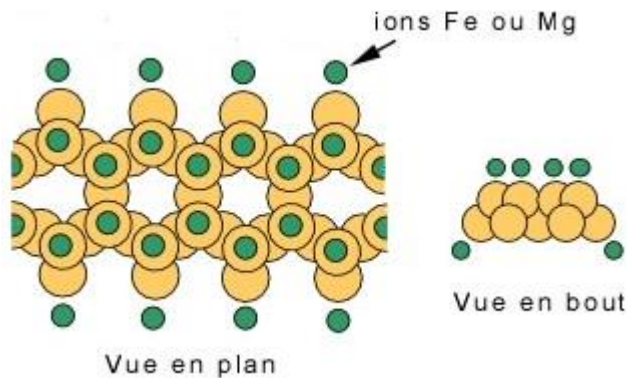
Les **amphiboles** sont des **silicates hydratés** auxquels se lient des **cations Fe et Mg** (Amosite ou amiante brun) ou **Fe et Na** (crocidolite – amiante bleu) qui équilibrent la charge.

La structure cristalline des amphiboles se présente comme un polymère en double chaîne linéaire de tétraèdres SiO_4 (certains atomes d'oxygène étant remplacés par des radicaux hydroxyles).

Ces chaînes doubles (ou rubans) étant liées entre elles par des cations métalliques (Fe /Mg pour l'amosite ; Fe/Na pour le crocidolite... Ca pour les amphiboles calciques.. etc)

Les positions disponibles pour les ions métalliques se trouvent en périphérie et au sommet de la double chaîne.

Deux groupes hydroxyle sont rattachés au cation central et sont **entièrement contenus dans la structure qui est composée d'un empilement de rubans.**



La liaison entre rubans au travers de ces cations métalliques est chimiquement faible et les cristaux montrent facilement un clivage parallèle aux rubans. Contrairement au chrysotile, les amphiboles ne présentent pas une fibrille unique comme unité structurale. Toutes les fibres d'amphibole sont droites et ne présentent pas la courbure typique du chrysotile.

Figure 9 Structure moléculaire des amphiboles

Pour schématiser, les amphiboles présentent une structure moléculaire rigide de forme cylindrique, alors que la structure moléculaire du chrysotile ressemble davantage à une corde flexible faite de petites fibrilles qui peuvent se défaire en plus petites parties.

- **Une structure moléculaire connue, mais une caractérisation du caractère asbestiforme difficile**

Il est important de noter qu'à l'occasion par exemple de la caractérisation de chaussées routières et de la vérification de la présence ou de l'absence d'amiante volontairement ajouté (chrysotile), les analyses de laboratoires ont démontré que les granulats des enrobés routiers pouvaient contenir aussi de l'amiante naturellement présent.

Dans certaines carrières de régions amiantifères, le granulat peut contenir des matériaux fibreux de la famille des amiantes, en général de type trémolite-actinolite.

Or, il existe deux actinolites :

- L'actinolite amiante, dite asbestiforme, qui correspond à un faciès géologique particulier : on parle de faciès asbestiforme associé à une croissance cristalline naturelle unidirectionnelle qui confère à la fibre une souplesse et une résistance à la traction remarquables. Cette croissance ne peut avoir lieu que dans des contextes géologiques bien particuliers.
- L'actinolite non amiante, dont des fragments peuvent avoir une morphologie fibreuse (au sens de la norme NFX 43-050) sans pour autant être qualifiables d'asbestiformes. Les processus d'extraction et de transformation des granulats peuvent justement générer une grande quantité de ces fragments, appelés fragments de clivage.

A l'heure actuelle, l'application de la norme de caractérisation des fibres d'amiante (NFX 43-050 notamment) **ne permet pas de faire la différenciation entre les fibres d'amiante et les fragments de clivage issus du même minéral**. En effet, la désignation de fibre d'amiante, telle que définie dans la norme, répond à l'application des critères morphométriques et non pas à une identification du faciès du minéral.

QUELLES SONT LES PROPRIETES PHYSICO-CIMIQUES DES DIFFERENTS TYPES D'AMIANTE ?

En règle générale, les amiantes sont reconnus pour leur qualités exceptionnelles de :

- Résistance à la chaleur et au feu,
- Faible réactivité chimique (acides et bases),
- Résistance mécanique élevée à la traction et aux frottements (grande flexibilité),
- Imputrescibilité (quasiment non biodégradable à l'échelle de la vie humaine),
- Isolant acoustique,
- Faible conductivité électrique (0,168 W/m/K)*,

- Capacité thermique massique** élevée (1045 J/kg/K),
- Faible densité (Masse volumique de l'amiante en fibres jointes = 1400 kg / m³).

*W = watt ; m = mètre ; K = kelvin ; J = joule ; kg = kilogramme

** Quantité d'énergie à apporter par échange thermique pour élever d'un kelvin (ou de 1°C) la température d'un kg d'amiante.

Ce sont essentiellement la longueur des fibres et leurs qualités (flexibilité / résistance) qui déterminaient les applications de l'amiante.

Les 3 variétés d'amiantes commerciales pouvaient se présenter aussi bien sous forme de fibres courtes que longues et donc être utilisées pour les mêmes applications.

A noter que le chrysotile a une charge de surface positive. Ceci a notamment conduit les industriels à mélanger le chrysotile avec jusqu'à 40 % d'amphiboles, qui possèdent une charge de surface négative, pour la fabrication de l'amiante-ciment (les amphiboles, après leur interdiction ont été remplacées par des agents tensio-actifs).

En conséquence, existe systématiquement plusieurs variétés d'amiante en mélange dans les déchets amiantés avec généralement une prédominance du chrysotile puisqu'il représentait avant les interdictions de commercialisation, plus de 90% de la production mondiale d'amiante ; amosite et crocidolite (variétés commerciales d'amiante amphibole) représentant le reste de la production.

Dans le cadre de l'étude, on parle d'amiante sans faire la plupart du temps de distinction entre amphiboles et chrysotile.