

Les fibres minérales artificielles siliceuses

Fibres céramiques réfractaires
Fibres de verre à usage spécial

Évaluation de l'exposition de la population générale
et des travailleurs

- **Avis de l'Afsset**
- **Rapport du groupe d'experts**



agence française de **sécurité sanitaire**
de l'environnement et du travail

Avril 2007



Les fibres minérales artificielles

Evaluation de l'exposition de la population générale et des travailleurs

Saisine n°« 2004/012 »

RAPPORT FINAL RELATIF
AUX FIBRES CERAMIQUES REFRACTAIRES et
AUX FIBRES DE VERRE A USAGE SPECIAL

Janvier 2007

GROUPE DE TRAVAIL :

Président :

Mme Marie-Claude JAURAND – Directeur de recherche Inserm en biologie cellulaire et moléculaire – recherche sur les mécanismes d'action des fibres minérales artificielles

Membres :

Mme Danièle LUCE – Epidémiologiste au département Santé Travail de l'Institut de Veille Sanitaire (InVS) et directeur de recherche Inserm / Unité 687 – épidémiologie des risques professionnels

Mme Isabelle STÜCKER – Directeur de recherche Inserm / Unité 754 – épidémiologie des cancers broncho-pulmonaires

Mme Stéphanie VANDENTORREN – Epidémiologiste au département Santé Environnement de l'Institut de Veille Sanitaire (InVS) – démission par lettre du 8 mars 2006

M. Jacques AMEILLE – PU-PH de médecine du travail, Université Versailles-Saint Quentin en Yvelines/ chef de l'Unité de pathologie professionnelle, de santé au travail et d'insertion, hôpital Raymond Poincaré, Garches – participation à des travaux de recherche épidémiologiques sur les effets sur la santé des FMA

M. Patrick BROCHARD – PU-PH en médecine du travail au CHU Bordeaux, directeur du Laboratoire Santé Travail Environnement (LSTE, EA 3672) – coordonnateur du programme EVALUTIL

M. Anthony R. BUNSELL – Maître de recherche au centre des matériaux à l'Ecole des Mines de Paris – responsable de recherche sur les fibres et les composites

M. Franck CHAVENTRE – Ingénieur à la division Santé, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) – caractérisation et simulation de l'émission de fibres par des produits de construction

M. Christian COCHET – Responsable de la division Santé, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) – métrologie des fibres en lien avec les produits de construction

M. Stéphane DUCAMP – Technicien hygiéniste industriel au Département Santé Travail de l'Institut de Veille Sanitaire (InVS) – évaluation des expositions professionnelles à l'amiante et aux FMA, construction de matrices emplois-expositions

M. Edmond KAUFFER – Responsable du laboratoire d'analyses inorganiques et de caractérisation des aérosols à l'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS) – métrologie des fibres

M. Laurent MARTINON – Ingénieur hygiéniste au Laboratoire d'Etudes des Particules Inhalées (LEPI) – Ville de Paris

M. Jean-Claude PAIRON – PU-PH en médecine et santé du travail, Université Paris 12 – Créteil

M. Christophe PARIS – PU-PH Université Henri Poincaré, Nancy, Inserm ERI-11 – évaluation des risques professionnels, vice-président du CES « Evaluations des risques liés aux milieux aériens »

M. Raymond VINCENT – Responsable du laboratoire de caractérisation du risque chimique à l'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS) – bases de données d'exposition professionnelle aux agents chimiques

Coordination scientifique :

M. Guillaume BOULANGER – Chargé de projet scientifique au département Santé au Travail
– Afsset (coordination du groupe de travail et rédaction du rapport)

Mme Mounia EL YAMANI – Chargée de projet scientifique au département Santé au Travail
– Afsset (rédaction du rapport)

Secrétariat administratif :

Mme Agnès BRION – Assistante au département Santé au Travail – Afsset

AUDITION DE PERSONNALITES EXTERIEURES :

Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (Ademe), le 8 mars et le 13 avril 2006

Association Française pour la Protection Passive contre l'Incendie (AFPPI), par téléphone

Association Technique de la Sidérurgie (ATS), le 25 septembre et le 17 octobre 2006

Bernard Dumas (filiale d'Arjowiggins), par téléphone

Centre Technique des Industries Aéronautiques et Thermiques (CETIAT), le 03 octobre 2006

Centre Technique des Tuiles et Briques (CTTB), le 28 avril 2006

CERIC, le 21 novembre 2006

Chantiers navals de construction, par téléphone

Confédération des Industries Céramiques de France (CICF) et la Société Française de Céramique (SFC), le 20 avril 2006

Consortium de producteurs de fibres de verre à usage spécial (Hollingsworth & Vose, Johns Manville, Lauscha et M. Bernstein), le 18 avril 2005, 20 février et le 15 mars 2006

CTP Thermique, par téléphone

Electricité de France (EDF), par téléphone

European Ceramic Fibres Industry Association (ECFIA), le 19 novembre 2004, 11 janvier, 14 avril 2005 et le 13 mars 2006

Fédération des chambres syndicales de l'industrie du verre et l'institut du verre, le 21 juillet 2006

Fédération des Industries des Equipements pour Véhicules (FIEV), le 16 mars 2006

Fédération des industries des peintures, encres, couleurs, colles et adhésifs (FIPEC), par téléphone

Fédération des Industries Mécaniques (FIM) et le syndicat des équipements pour Construction, Infrastructures, Sidérurgie et Manutention (CISMA), le 30 mai 2006

Fédération des Minerais, Minéraux Industriels et Métaux non Ferreux (FEDEM), le 14 avril et le 18 septembre 2006

Fédération Française des Entreprises Gestionnaires de services aux Equipements, à l'Energie et à l'Environnement (FG3E), le 18 octobre 2006

Fédération Française du Matériel Incendie (FFMI), par téléphone

Fédération Nationale des Activités de la Dépollution et de l'Environnement (FNADE), le 26 juin 2006

Fondeurs de France, le 5 avril et le 15 septembre 2006

Franbat, Saft et la FEDEM, le 6 octobre 2006

Groupement des Fabricants de Matériels de Chauffage Central par l'Eau Chaude et de Production d'Eau Chaude Sanitaire (GFCC), le 8 septembre et le 12 octobre 2006

Groupement des Industries Françaises Aéronautiques et Spatiales (GIFAS), le 5 juillet 2006

Groupement Interprofessionnel des Fabricants d'Appareils d'Equipement Ménager (GIFAM), le 7 mars 2006

Groupement Technique Français contre l'Incendie (GTFI), par téléphone

Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN), par téléphone

Institut Français du Textile et de l'Habillement (IFTH), le 14 mars 2006

M. Pézerat, toxicologue et directeur de recherche honoraire au CNRS, le 24 janvier 2006

Organisme Professionnel de Prévention du Bâtiment et des Travaux Publics (OPPBTP), par téléphone

Société Nationale des Chemins de Fer (SNCF), le 2 juin et le 16 novembre 2006

Stein Hurtey, le 16 octobre 2006

Syndicat National des Entrepreneurs et Constructeurs en Thermique Industrielle (SNECTI), le 21 septembre 2006

Syndicat National des Formulateurs de Résines Synthétiques (SNFORES), par téléphone

Union des Industries Chimiques (UIC), le 26 juillet 2006

Union Française des Industries Pétrolières (UFIP), le 11 octobre 2006

Union Nationale des Exploitants du Déchet (UNED), par téléphone

Union syndicale des constructeurs de matériel aéraulique, thermique, thermodynamique et frigorifique (UNICLIMA), le 9 novembre 2006

Vesuvius, par téléphone

ADOPTION DU RAPPORT :

Ce rapport a été soumis pour commentaires au Comité d'Experts Spécialisés « Evaluations des risques liés aux milieux aériens », dit CES Air :

- CES « Air » – le 16 décembre 2005
- CES « Air » – le 23 juin 2006
- CES « Air » – le 15 décembre 2006

Après prise en compte des commentaires, le rapport a été approuvé par les membres du groupe de travail.

Il a été adopté par le CES Air le 2 février 2007.

Abréviations

ACGIH: American Conference of Industrial Hygienists

Ademe : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

ADN : Acide DésoxyriboNucléique

AES : Alkaline Earth Silicate

AFPPI : Association Française pour la Protection Passive contre l'Incendie

Afsset : Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail

APFE : Association des Producteurs de Fibres de verre Européens

ATS : Association Technique de la Sidérurgie

ATSDR: Agency for Toxic Substances and Disease Registry

CARE: Control And Reduce Exposure

CAREX : Carcinogen Exposure

CERCLA : Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act

CET : Centre d'Enfouissement Technique

CETIAT : Centre Technique des Industries Aérauliques et Thermiques

CHO : Chinese Hamster Ovary

CICF : Confédération des Industries Céramiques de France

CIRC : Centre International de Recherche sur le Cancer

CISMA : syndicat des équipements pour Construction, Infrastructures, Sidérurgie et Manutention

CTIF : Centre Technique Industriel de la Fonderie

CMR : Cancérogène Mutagène Reprotoxique

CnamTS : Caisse Nationale d'Assurance Maladie des Travailleurs Salariés

Cram : Caisse Régionale d'Assurance Maladie

CSHPF : Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France

CSTB : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

CTTB : Centre Technique des Tuiles et Briques

Dares : Direction de l'Animation de la Recherche, des Etudes et des Statistiques

DEEE : Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques

DGCCRF : Direction Générale de la Concurrence, de la Consommation et de la Répression des Fraudes

DRIRE : Directions Régionales de l'Industrie de la Recherche et de l'Environnement

ECFIA : European Ceramic Fibres Industry Association

EDF : Electricité de France

EPI : Equipement de Protection Individuel

ERM: Environmental Resources Management

EURIMA: European Mineral Wool Manufacturers Association

FCR: Fibre Céramique Réfractaire

FEDEM : Fédération des Minerais, Minéraux Industriels et Métaux non Ferreux

FFMI : Fédération Française du Matériel Incendie

FG3E : Fédération Française des Entreprises Gestionnaires de services aux Equipements, à l'Energie et à l'Environnement

FIEV : Fédération des Industries des Equipements pour Véhicules

FIM : Fédération des Industries Mécaniques

FIPEC : Fédération des industries des peintures, encres, couleurs, colles et adhésifs

FMA : Fibre Minérale Artificielle

FNADE : Fédération Nationale des Activités de la Dépollution et de l'Environnement

FVS : fibre Vitreuse Synthétique

GFCC : Groupement des Fabricants de Matériels de Chauffage Central par l'Eau Chaude et de Production d'Eau Chaude Sanitaire

GIFAM : Groupement Interprofessionnel des Fabricants d'Appareils d'Equipement Ménager

GIFAS : Groupement des Industries Françaises Aéronautiques et Spatiales

GTFI : Groupement Technique Français contre l'Incendie

HEPA : High Efficiency Particulate Air

HVAC : Heating, Ventilation and Air Conditioning

IFTH : Institut Français du Textile et de l'Habillement

IIMTPIF : Institut Inter-universitaire de Médecine du Travail de Paris Ile-de-France

INRS : Institut National de Recherche et de Sécurité

Inserm: Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale

InVS : Institut de Veille Sanitaire

IPCS: International Programme on Chemical Safety

IRSN : Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire

ISPED : Institut de Santé Publique, d'Épidémiologie et de Développement

LEPI : Laboratoire d'Etudes des Particules Inhalées – Ville de Paris

LHCF : Laboratoire d'Hygiène et du Contrôle des Fibres

LIC : Laboratoire Interrégional de Chimie

LLBA : Liquide de Lavage BronchoAlvéolaire

MEBA : Microscopie Electronique à Balayage Analytique

META : Microscopie Electronique à Transmission Analytique

MLE : Maximum Likelihood Estimate

MMMMF: Man-Made Mineral Fiber

MMVF: Man-Made Vitreous Fiber

MOCP : Microscopie Optique à Contraste de Phase

MOLP : Microscopie Optique à Lumière Polarisée

NIOSH: National Institute of Occupational Safety and Health

NOEL : Non Observable Effect Level

NTP: National Toxicology Program

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

OPPBTP : Organisme Professionnel de Prévention du Bâtiment et des Travaux Publics

OSHA: Occupational Safety and Health Administration

PNSE : Plan National Santé Environnement

PNSM : Programme National de Surveillance du Mésothéliome

PSP : Programme de Suivi des Produits

PST : Plan Santé au Travail

RCC: Research and Consulting Company

RCFC: Refractory Ceramic Fibres Coalition

RCRA: Resource Conservation and Recovery Act

RNSP : Réseau National de Santé Publique

RPA: Risk and Policy Analyst

SFC : Société Française de Céramique

SHE: Syrian Hamster Embryo

SNCF : Société Nationale des Chemins de Fer

SNECTI : Syndicat National des Entrepreneurs et Constructeurs en Thermique Industrielle

SNFORES : Syndicat National des Formulateurs de Résines Synthétiques

SVF: Synthetic Vitreous Fiber

SYNASAV : SYNDicat NAtional de maintenance et des Services Après-Vente

THE : Très Haute Efficacité

TIMA: Thermal Insulation Manufacturers Association

TNS Sofres : Taylor Nelson Sofres - Société française d'études par sondages

UFIP : Union Française des Industries Pétrolières

UIC : Union des Industries Chimiques

ULPA : Ultra-low Penetration Air

UNED : Union Nationale des Exploitants du Déchet

UNICLIMA : Union syndicale des constructeurs de matériel aéraulique, thermique, thermodynamique et frigorifique

US – EPA: United-States – Environmental Protection Agency

Liste des tableaux

<u>Tableau n°1</u>	Différenciation des FMA siliceuses selon des paramètres physicochimiques	27
<u>Tableau n°2</u>	Composition chimique moyenne pour chaque type de FMA	29
<u>Tableau n°3</u>	Mesure du diamètre des fibres de laine de verre, de laine de laitier, de laine de roche, des FCR et des fibres de verre à usage spécial	32
<u>Tableau n°4</u>	Propriétés physiques suivant le type de FMA	33
<u>Tableau n°5</u>	Production de FMA selon la zone géographique et l'usage	34
<u>Tableau n°6</u>	Composition chimique des FCR	41
<u>Tableau n°7</u>	Caractéristiques physiques des FCR	45
<u>Tableau n°8</u>	Comparaison des FCR avec l'amiante chrysotile et les amphiboles	46
<u>Tableau n°9</u>	Diamètre de deux échantillons de FCR et pourcentages associés de particules non fibreuses	48
<u>Tableau n°10</u>	Statistiques relatives à la dimension des FCR	48
<u>Tableau n°11</u>	Estimation de la capacité de production des FCR par régions du monde et pays en 1990	52
<u>Tableau n°12</u>	Import/export aux Etats-Unis de FCR	53
<u>Tableau n°13</u>	Balance des échanges commerciaux de FCR pour les états membres de l'Union Européenne en 1995	54
<u>Tableau n°14</u>	Production de produits réfractaires au sein de l'Union Européenne	57
<u>Tableau n°15</u>	Principales applications des formes de FCR en Europe et aux USA	61
<u>Tableau n°16</u>	Présentation générale des applications des FCR par secteur d'activité	62
<u>Tableau n°17</u>	Le marché Européen des FCR par application	64
<u>Tableau n°18</u>	Synthèse partielle des usages de FCR pour l'industrie des métaux non ferreux	72
<u>Tableau n°19</u>	Synthèse partielle des usages de FCR pour l'industrie du verre	75
<u>Tableau n°20</u>	Synthèse partielle des usages de FCR pour l'industrie de la chimie	82
<u>Tableau n°21</u>	Synthèse partielle des usages de FCR pour l'industrie ferroviaire	84
<u>Tableau n°22</u>	Répartition des chaudières par secteur de destination	89
<u>Tableau n°23</u>	Utilisation des FCR dans l'industrie du Royaume-Uni	91
<u>Tableau n°24</u>	Déchets de FCR clairement identifiés et traités sur les sites des trois exploitants français de CET de classe I pour l'année 2005	100
<u>Tableau n°25</u>	Comparaison des alternatives aux FCR	102
<u>Tableau n°26</u>	Comparaison FCR/ fibres de remplacement	103
<u>Tableau n°27</u>	Compositions commerciales des laines AES, des FCR et des laines minérales (% pondéral)	105
<u>Tableau n°28</u>	Diamètre de deux échantillons de fibres AES et pourcentages associés de particules non fibreuses	106
<u>Tableau n°29</u>	Comparaison générale des principales propriétés physiques des fibres d'alumine, de mullite et de FCR	111

<u>Tableau n°30</u>	Applications pour les séries de filaments continus Nextel®	114
<u>Tableau n°31</u>	Evolution de la substitution pour le secteur de la chimie et pétrochimie	121
<u>Tableau n°32</u>	Evolution de la substitution pour le secteur des métaux ferreux (fer et acier)	122
<u>Tableau n°33</u>	Evolution de la substitution pour le secteur des métaux non ferreux	124
<u>Tableau n°34</u>	Evolution de la substitution pour le secteur du verre et de la céramique	125
<u>Tableau n°35</u>	Evolution de la substitution pour le secteur de l'industrie productrice d'énergie	127
<u>Tableau n°36</u>	Evolution de la substitution pour le secteur des applications domestiques	127
<u>Tableau n°37</u>	Evolution de la substitution pour le secteur de la protection incendie	128
<u>Tableau n°38</u>	Evolution de la substitution pour le secteur de l'automobile	129
<u>Tableau n°39</u>	Catégories fonctionnelles utilisées pour le programme CARE	146
<u>Tableau n°40</u>	Nombre total d'échantillons collectés durant chaque activité	147
<u>Tableau n°41</u>	Résultats de l'année 7 pour les catégories fonctionnelles se retrouvant aussi bien en production qu'en utilisation	151
<u>Tableau n°42</u>	Résultats des mesures de concentration (fibres/ml) en FCR (1986 – 2006)	155
<u>Tableau n°43</u>	Description des conditions de prélèvements	158
<u>Tableau n°44</u>	Définition des catégories de travaux	159
<u>Tableau n°45</u>	Exposition aux FCR par catégorie de travaux	163
<u>Tableau n°46</u>	Exposition par profession lors de la mise en œuvre de FCR	164
<u>Tableau n°47</u>	Effectif impliquant les FCR en Europe	169
<u>Tableau n°48</u>	Effectif professionnel européen et français susceptible d'être exposé aux FCR	170
<u>Tableau n°49</u>	Composition chimique des fibres de verre à usage spécial (pourcentage pondéral)	185
<u>Tableau n°50</u>	Compositions commerciales des fibres de verre à usage spécial de type E et 475	186
<u>Tableau n°51</u>	Correspondance entre les codes NRL et les diamètres de fibres de verre à usage spécial	188
<u>Tableau n°52</u>	Correspondance entre le code JM, le diamètre des fibres et le type de verre utilisé	188
<u>Tableau n°53</u>	Correspondance entre le code EF, le diamètre des fibres et le type de verre utilisé	189
<u>Tableau n°54</u>	Principales propriétés physicochimiques des différentes classes de fibres de verre à usage spécial	190
<u>Tableau n°55</u>	Principales applications des fibres de verre à usage spécial et correspondance avec le type de verre approprié	193
<u>Tableau n°56</u>	Emissions de fibres de verre à usage spécial provenant de divers types de filtres	210
<u>Tableau n°57</u>	Mesures de concentrations en fibres dans l'air	217
<u>Tableau n°58</u>	Description des établissements ayant fait l'objet de mesures d'exposition aux fibres de verre à usage spécial	218
<u>Tableau n°59</u>	Résultats des mesures de concentration (en fibres/ml) en fibres de verre à usage spécial dans l'air des lieux de travail	218
<u>Tableau n°60</u>	Classification des FMA	222
<u>Tableau n°61</u>	Réglementation française applicable aux FMA	230

<u>Tableau n°62</u>	Résumé des informations disponibles sur les valeurs limites d'exposition professionnelle par état pour les FMA	232
<u>Tableau n°63</u>	Valeurs limites d'exposition professionnelle pour les FMA aux Etats-Unis	236

Liste des figures

<u>Figure n°1</u>	Présentation générale de la famille des fibres	24
<u>Figure n°2</u>	Typologie des FMA par l'OMS	26
<u>Figure n°3</u>	Typologie des FMA par le CIRC	28
<u>Figure n°4</u>	Caractéristiques principales des FMA siliceuses vitreuses	30
<u>Figure n°5</u>	Lien entre la classification européenne et la composition chimique des FMA	31
<u>Figure n°6</u>	Production de laines minérales artificielles vitreuses en Europe : 2.5 millions de tonnes/an	35
<u>Figure n°7</u>	Procédés de fabrication des FCR par soufflage ou par centrifugation	42
<u>Figure n°8</u>	Diagramme de flux du procédé de fabrication des FCR	43
<u>Figure n°9</u>	Intervalles de températures d'utilisation des FCR et autres matériaux	44
<u>Figure n°10</u>	Intervalles de températures et fréquence d'utilisation des FCR et autres fibres	45
<u>Figure n°11</u>	Histogrammes comparant les diamètres de FCR en vrac produites par centrifugation ou par soufflage	47
<u>Figure n°12</u>	Histogrammes comparant les diamètres de FCR en vrac produites par centrifugation ou par soufflage et destinées uniquement aux tests expérimentaux	47
<u>Figure n°13</u>	Production de FCR et AES en France	56
<u>Figure n°14</u>	Production et devenir des FCR	58
<u>Figure n°15</u>	Présentation des FCR sous diverses formes	60
<u>Figure n°16</u>	Estimation de l'évolution des quantités et du domaine d'applications des FCR en France (1994 et 2004)	63
<u>Figure n°17</u>	Présentation du revêtement d'un four par des FCR	65
<u>Figure n°18</u>	Localisation actuelle des FCR sur une ligne de galvanisation de l'acier	66
<u>Figure n°19</u>	Procédé de fabrication du verre	74
<u>Figure n°20</u>	Wagon de tuiles pour la cuisson	80
<u>Figure n°21</u>	Localisation des FCR dans un wagon de tuiles	80
<u>Figure n°22</u>	Domaines d'application des fibres AES	107
<u>Figure n°23</u>	Moyenne géométrique des moyennes pondérées durant l'installation de FCR sur les sites des clients	149
<u>Figure n°24</u>	Distributions des fréquences cumulées pour toutes les données clients pour 4 années	149
<u>Figure n°25</u>	Moyenne arithmétique des valeurs moyennes pondérées dans les sites de production durant l'ensemble de l'étude	150
<u>Figure n°26</u>	Moyenne pondérée de concentrations en fibres pour l'année 7 pour toutes les catégories fonctionnelles producteurs et utilisateurs confondus	150
<u>Figure n°27</u>	Diagramme échelle montrant la fréquence de distribution cumulée des valeurs moyennes pondérées pour les catégories fonctionnelles	152

<u>Figure n°28</u>	Evolution des résultats de mesures d'exposition individuelles aux FCR entre 1986 et 2006	157
<u>Figure n°29</u>	Exposition aux FCR par catégorie de travaux	161
<u>Figure n°30</u>	Exposition par type de profession (Code ROME) lors de la mise en œuvre de FCR	165
<u>Figure n°31</u>	Procédé de fabrication par atténuation de flamme	187
<u>Figure n°32</u>	Exemples de géométries de filtres à très haute efficacité	195
<u>Figure n°33</u>	Illustration de la localisation éventuelle de filtres à très haute efficacité dans la ventilation d'un bâtiment général	196
<u>Figure n°34</u>	Illustration de la localisation éventuelle de filtres à très haute efficacité pour la filtration des hôpitaux	197
<u>Figure n°35</u>	Illustration de la localisation éventuelle de filtres à très haute efficacité au sein d'une installation nucléaire	198
<u>Figure n°36</u>	Illustration de la localisation éventuelle de filtres à très haute efficacité pour la filtration des salles propres	199
<u>Figure n°37</u>	Illustration de la localisation éventuelle de filtres à très haute efficacité pour la filtration lors d'opérations agroalimentaires	200
<u>Figure n°38</u>	Illustration de la localisation éventuelle de filtres à très haute efficacité pour la filtration des salles blanches industrielles	201
<u>Figure n°39</u>	Illustration de la localisation éventuelle de filtres à très haute efficacité pour la filtration des tunnels de peinture dans l'industrie automobile	201
<u>Figure n°40</u>	Illustration de la localisation éventuelle de filtres à très haute efficacité dans une turbine à gaz	202

Liste des graphiques

<u>Graphique n°1</u>	Secteur de la production et de la transformation de FCR	135
<u>Graphique n°2</u>	Secteurs d'utilisation des FCR (fabrication de produits minéraux non métalliques, à l'exclusion des dérivés pétrole et du charbon)	137
<u>Graphique n°3</u>	Secteurs d'utilisation des FCR (industrie métallurgique de base)	138
<u>Graphique n°4</u>	Secteurs d'utilisation des FCR (fabrication d'ouvrages en métaux, de machines et de matériel)	139
<u>Graphique n°5</u>	Secteur de la fumisterie industrielle	140
<u>Graphique n°6</u>	Autres secteurs d'utilisations des FCR	141
<u>Graphique n°7</u>	Valeurs pondérées sur 8 heures	142
<u>Graphique n°8</u>	Valeurs réelles sur une durée représentative d'une journée de travail (5 – 6 heures)	143
<u>Graphique n°9</u>	Fréquences cumulées pour les prélèvements d'ambiance et individuels	156

Sommaire

Abréviations	7
Liste des tableaux	10
Liste des figures	13
Liste des graphiques	15
Sommaire	16
Avant-propos	19
1 Introduction	20
1.1 Contexte	20
1.2 Objectifs de la saisine	21
1.3 Instruction de la saisine	22
2 Présentation des fibres minérales artificielles	23
2.1 Définition d'une fibre et des FMA	23
2.2 Typologie utilisée pour les FMA	26
2.2.1 La typologie de l'International Programme on Chemical Safety (IPCS)	26
2.2.2 La typologie de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS)	26
2.2.3 La typologie de l'Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale (Inserm)	27
2.2.4 La typologie du Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC)	28
2.3 Composition chimique des FMA	28
2.4 Propriétés physico-chimiques des FMA	31
2.5 Production des FMA	33
2.5.1 Production de FMA dans les années 1970	34
2.5.2 Production de FMA dans les années 1980	34
2.5.3 Production actuelle de FMA	35
3 Méthodes de comptage et d'identification des fibres	36
3.1 Microscopie optique à contraste de phase (MOCP)	36
3.2 Microscopie optique à lumière polarisée (MOLP)	37
3.3 Microscopie Electronique à Balayage Analytique (MEBA) et Microscopie Electronique à Transmission Analytique (META)	37
3.3.1 MEBA	37
3.3.2 META	38
4 Les fibres céramiques réfractaires	39
4.1 Production et utilisation	39
4.1.1 Définition des FCR	39
4.1.2 Composition chimique et mode de fabrication	40
4.1.3 Propriétés physico-chimiques	44
4.1.4 Les additifs et liants	49
4.1.5 Producteurs de FCR	50
4.1.6 La production	51
4.1.7 Les transformateurs de FCR	57
4.1.8 Les utilisateurs de FCR	58
4.1.9 Accessibilité et moyens de repérage de ces fibres	94
4.1.10 Prise en charge et traitement des déchets contenant des FCR	97

4.2	Produits de substitution	101
4.2.1	Les laines de silicates alcalino-terreux (AES)	104
4.2.2	Les laines minérales	108
4.2.3	Les laines à forte teneur en alumine et faible teneur en silice (Laine HT)	108
4.2.4	Les fibres polycristallines	109
4.2.5	Fibres de silice étirée (quartz)	115
4.2.6	Fibres de silice lixiviée	115
4.2.7	Matières réfractaires isolantes conventionnelles	116
4.2.8	Mousses céramiques	117
4.2.9	Matériel d'isolation microporeux	117
4.2.10	Ampleur de la substitution	118
4.3	Evaluation de l'exposition de la population générale et des travailleurs aux fibres céramiques réfractaires	131
4.3.1	La base de données EVALUTIL relative à l'évaluation des expositions professionnelles aux fibres d'amiante et aux FMA	131
4.3.2	La base de données CARE	146
4.3.3	La base de données COLCHIC	154
4.3.4	Conclusion commune aux trois bases	167
4.3.5	Evaluation de la prévalence de l'exposition professionnelle aux FCR	169
4.3.6	Evaluation de l'exposition non professionnelle de la population générale	175
4.4	Mécanismes et toxicité cellulaire	178
4.5	Accords et publications récentes au niveau national, européen et international.....	181
4.5.1	Accord volontaire canadien sur les FCR	181
4.5.2	Accord volontaire entre l'US EPA et la Refractory Ceramic Fibres Coalition (RCFC)	181
4.5.3	Accord entre l'Occupational Safety and Health Administration (OSHA) et la Refractory Ceramic Fibres Coalition (RCFC)	181
4.5.4	Publication d'un rapport du National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH) sur l'exposition professionnelle aux FCR	181
4.5.5	Elaboration d'une charte des producteurs de FCR implantés en France	182
5	Les fibres de verre à usage spécial	183
5.1	Production et utilisation.....	183
5.1.1	Définition des fibres de verre à usage spécial	183
5.1.2	Composition chimique et mode de fabrication	184
5.1.3	Propriétés physico-chimiques	188
5.1.4	Les additifs et liants	190
5.1.5	Les producteurs de fibres de verre à usage spécial	191
5.1.6	Les transformateurs de fibres de verre à usage spécial	192
5.1.7	Les utilisateurs de fibres de verre à usage spécial	193
5.2	Description des applications	194
5.2.1	Filtration d'air à haute efficacité	195
5.2.2	Filtration d'air à ultra haute efficacité	197
5.2.3	Filtration liquide	203
5.2.4	Séparateur de batteries	203
5.2.5	Renforcement pour les applications aéronautiques	207
5.2.6	Isolation des aéronefs	207
5.2.7	Autres applications	208
5.2.8	Accessibilité et moyens de repérage de ces fibres	209
5.2.9	Prise en charge et traitement des déchets contenant des fibres de verre à usage spécial	211
5.3	Produits de substitution	212
5.3.1	Alternatives pour la filtration d'air	213
5.3.2	Alternatives pour la filtration liquide	213
5.3.3	Alternatives pour les séparateurs de batteries	214
5.3.4	Nouvelles approches	215
5.3.5	Ampleur de la substitution	216

5.4	Evaluation de l'exposition de la population générale et des travailleurs aux fibres de verre à usage spécial	217
5.4.1	La base de données EVALUTIL relative à l'évaluation des expositions professionnelles aux fibres d'amiante et aux FMA	217
5.4.2	La base de données COLCHIC	218
5.4.3	Evaluation de la prévalence de l'exposition professionnelle aux fibres de verre à usage spécial	219
5.4.4	Evaluation de l'exposition non professionnelle de la population générale	219
5.5	Mécanismes et toxicité cellulaire des fibres de verre à usage spécial	220
5.6	Accord au niveau national	221
6	La législation actuelle	222
6.1	Classification internationale des FMA	222
6.2	Législation européenne	223
6.3	Législation nationale	226
6.3.1	La population générale	226
6.3.2	Les professionnels	227
6.4	Evolutions possibles de la réglementation	231
7	Conclusion	237
8	Synthèse	241
9	Recommandations	250
10	Bibliographie	252
	Lettre de saisine	263
	Annexe 2 : Synthèse des déclarations publiques d'intérêt	265
	Annexe 3 : Analyse statistique des fibres en suspension sur différents postes de travail (CIRC, 2002)	268
	Annexe 4 : Liste explicative des produits contenant des FCR, appellations commerciales et numéro CAS des composants (ECFIA, 2005)	269
	Annexe 5 : Applications actuelles des diverses formes de FCR et de laines d'AES (ECFIA, 2006b)	276
	Annexe 6 : Procédé de fabrication de l'acier (ATS, 2006)	281
	Annexe 7 : Tableaux détaillant l'ensemble des données présentées dans les graphiques issus d'EVALUTIL	282
	Notes	288

Avant-propos

Le chapitre 1 introductif rappelle le contexte et les objectifs de la saisine.

Le chapitre 2 contient des données générales sur les fibres minérales artificielles (FMA) en évoquant notamment la classification retenue par les différents organismes pour la réalisation des expertises, leur composition physico-chimique, leurs caractéristiques et leur production. Le chapitre 3 concerne les méthodes de comptage et d'identification des fibres et présente les techniques employées en indiquant notamment leurs limites et leurs performances. La rédaction de ces chapitres, pour le premier et le deuxième sous la plume de l'Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail (Afsset) et le troisième sous celle du groupe de travail, s'appuie notamment sur la littérature scientifique et technique par l'intermédiaire d'ouvrages ou de publications.

Les chapitres 4 et 5 se préoccupent spécifiquement des fibres céramiques réfractaires (FCR) et des fibres de verre à usage spécial et constituent le cœur de ce rapport. Les chapitres incorporent deux contributeurs distincts.

Les parties relatives à « la production et l'utilisation », « les produits de substitution » et « les accords et prochaines publications au niveau national, européen et international » découlent principalement des auditions réalisées par l'Afsset auprès des producteurs et utilisateurs de FCR et de fibres de verre à usage spécial, mais s'inspirent également de publications de référence. La rédaction se veut factuelle, dénuée d'interprétation et synthétise les données collectées. A la lecture de cette partie, le groupe de travail propose des commentaires en fin de chapitre dans un encadré nuancé en bleu.

Les chapitres concernant l'évaluation de l'exposition et les mécanismes de toxicité cellulaire résultent des différentes contributions des experts du groupe de travail. Néanmoins, la partie décrivant les résultats de la base CARE a été rédigée par l'ECFIA.

Enfin, l'Afsset propose, avant les recommandations et la conclusion rédigées par le groupe de travail, un chapitre résumant les différentes réglementations nationales inhérentes aux FMA ayant un impact sur l'exposition de la population professionnelle et générale.

1 Introduction

1.1 Contexte

Le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF) s'est prononcé, par avis du 5 février 2004, sur la protection de la population contre les risques pour la santé de l'exposition aux FMA siliceuses. Le document relève de nombreuses incertitudes dans les données épidémiologiques et générales sur les FMA notamment :

- les dispositions réglementaires relatives à la classification, l'emballage, l'étiquetage, la limitation de la mise sur le marché et de l'emploi, ne s'appliquent qu'aux substances et préparations et il apparaît difficile de maîtriser l'exposition de la population dès lors que des articles, équipements ou tout autre produit contenant des substances ou préparations dangereuses continuent à être en circulation sur le marché ;
- de nouveaux types de FMA ne cessent d'apparaître sur le marché, que pour la plupart d'entre elles on ne dispose d'aucune information sur leurs effets chez l'homme et que les données expérimentales les concernant sont rares ;
- et le manque de connaissances relatives à l'impact du vieillissement sur la cohésion des matériaux contenant des FMA.

Compte tenu de toutes ces considérations, le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France a établi de nombreuses recommandations et demande notamment de réaliser des enquêtes, afin de préciser :

- d'une part, en collaboration avec les professionnels concernés des métiers utilisateurs et des industries productrices de FMA, pour chaque type de fibre, et notamment les nouvelles FMA, les applications actuelles et passées, avec pour chacune d'entre elles l'historique de l'emploi (quantités mises en place et retraits annuels depuis le début de l'utilisation), la longévité des ouvrages concernés, et l'accessibilité des fibres ;
- d'autre part, des aspects techniques, en particulier l'évolution des matériaux fibreux avec le vieillissement de l'ouvrage ; ces enquêtes devront tout particulièrement s'intéresser aux FCR et aux microfibrilles de verre de type E ou Glass-475, parce que, dans l'état actuel des connaissances scientifiques, ce sont les plus dangereuses. Elles ont été classées cancérogènes du groupe 2B par le CIRC dès 1988.

Le CSHPF préconise d'évaluer l'exposition de la population résultant des applications actuelles et passées des FCR et des microfibrilles de verre de type E ou Glass-475, lorsque ces applications auront été confirmées, afin de déterminer les mesures appropriées à engager ; l'évaluation s'intéressera particulièrement aux fibres respirables. Par ailleurs, le CSHPF souhaite davantage informer la population sur le risque lié à l'exposition aux FMA et accentuer la mise en œuvre des mesures préventives.

L'une de ces actions, à la charge de l'Afsset, consiste à préciser les applications des FMA siliceuses et évaluer l'exposition de la population générale et professionnelle.

La rédaction de la saisine répond donc à l'une de ces actions et s'inscrit également dans le cadre du Plan National Santé Environnement (PNSE) dont l'action 18 vise à limiter l'exposition de la population générale à ces fibres. L'action 23 incite à réduire les expositions professionnelles aux agents cancérogènes, mutagènes et reprotoxiques (CMR), notamment celles concernant les poussières de bois, le benzène, le plomb et les FCR, en renforçant et en modernisant les moyens de contrôle et les services de santé et sécurité au travail. Les FCR appartiennent à la famille des FMA.

Le Plan Santé au Travail 2005/2009 (PST) s'intéresse également à l'une des catégories de FMA et promeut, dans la fiche 4.9, le principe de substitution pour les substances chimiques

les plus dangereuses (CMR) notamment les FCR. Par ailleurs, le PST souhaite améliorer les connaissances relatives aux expositions professionnelles. Cette action figurant également au PNSE (action 38) prévoit, entre autre, l'amélioration de la méthode de recueil des expositions aux produits chimiques, et en particulier aux FMA.

Les FMA intéressant cette saisine se définissent comme des fibres vitreuses ou amorphes ne possédant pas de structure cristalline. A titre indicatif, cette famille regroupe les FCR, les fibres de verre à usage spécial, les laines de verre, de roche, de laitier et les filaments de verre continus.

Les FMA sont apparues au cours des années 1950, bien avant l'interdiction de l'amiante, et sont depuis utilisées dans des applications multiples et variées avec des caractéristiques diverses. Certes, la substitution de l'amiante a eu une incidence sur l'augmentation de la production de certaines fibres minérales mais les spécifications restent relativement divergentes. A titre d'exemple, les fibres céramiques relativement coûteuses connaissent une utilisation pour des températures élevées jusqu'à 1400 °C et ne s'avèrent pas pertinentes pour des températures inférieures à 800 °C qui constituent approximativement la limite d'utilisation de l'amiante (900 °C).

Etant donné le manque de connaissances sur l'exposition de la population à ces fibres, cette étude souhaite faire la lumière sur les applications et l'utilisation des FMA en évaluant, de manière concomitante, l'exposition de la population générale et professionnelle.

1.2 Objectifs de la saisine

L'Afsset a été saisie le 20 juillet 2004 par ses tutelles ministérielles, en l'occurrence la Direction Générale de la Santé, la Direction des Etudes Economiques et de l'Evaluation Environnementale et la Direction des Relations au Travail, afin de procéder à une évaluation de l'exposition actuelle et passée de la population générale et professionnelle aux FMA siliceuses. Les principaux objectifs se déclinent en deux axes :

- préciser les applications passées et actuelles relatives à ces fibres, notamment l'historique de leur emploi, leur accessibilité, le devenir après usage, les caractéristiques techniques et l'évolution des matériaux fibreux avec le vieillissement de l'ouvrage. L'étude devra également recenser les additifs présents dans ces fibres, les évolutions techniques et l'existence de produits ou procédés de substitution non dangereux ou moins dangereux en indiquant la fréquence d'utilisation de ces alternatives ;
- puis dans un second temps, évaluer l'exposition de la population générale et professionnelle ; la priorité étant accordée aux FCR et aux fibres de verre à usage spécial de type E et 475 Glass étant donné leur classification internationale.

1.3 Instruction de la saisine

Pour répondre à la saisine, l'agence a mis en place un groupe de travail *ad hoc* rattaché au Comité d'Experts Spécialisés (CES) « Evaluation des risques liés aux milieux aériens », dit CES « air ». Le traitement de cette saisine s'articule en deux axes :

- la partie technique relative à l'utilisation et aux applications passées et actuelles est instruite par l'agence. Elle réalise ainsi des investigations approfondies en auditionnant notamment les industriels concernés afin de collecter les données. L'instruction a débuté par les producteurs de FMA puis les transformateurs et les utilisateurs de ces fibres. Au vu du taux de participation modéré des industriels, les données collectées ne se prétendent pas exhaustives et restent essentiellement qualitatives. Par ailleurs, l'agence initie des contacts auprès de nombreux interlocuteurs susceptibles de détenir des données pertinentes au sein des ministères, des établissements tels que l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (Ademe), l'Institut de Veille Sanitaire (InVS), l'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS) ou le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB). Cette démarche qui se veut la plus exhaustive permettra d'obtenir une vision précise de la situation française. En parallèle, l'agence a mandaté un cabinet anglais nommé Risk & Policy Analyst (RPA) afin de recueillir, au niveau européen, des données concernant les usages actuels et passés en analysant les tendances divergentes éventuelles. Ce cabinet réalise également une revue comparative de la législation en vigueur dans les états membres de l'Union Européenne.
- le groupe de travail anime et oriente l'étude réalisée par l'Afsset. Les experts interprètent, commentent les résultats obtenus et apportent un regard critique sur l'expertise technique produite. Par ailleurs, le groupe de travail synthétise, en l'état actuel des connaissances, les éléments disponibles en matière d'évaluation de l'exposition de la population générale et professionnelle à ces fibres en s'appuyant sur les données publiées dans la littérature scientifique, collectées au cours des auditions ou extraites d'un certain nombre de bases de données.

L'agence a demandé au CSTB d'initier une étude visant à caractériser la libération des fibres dans l'air lors de différentes phases de manipulation de laines minérales isolantes vieillies naturellement. Cette étude expérimentale repose sur la réalisation d'essais en laboratoire et de mesures d'empoussièrement sur site. Par ailleurs, ce travail est associé à une étude conjointe entre le CSTB et le Laboratoire d'Etudes des Particules Inhalées (LEPI) visant à la mise en place d'un programme de recherche méthodologique relatif au comptage des FMA en procédant à une comparaison entre trois différentes méthodes de comptage sur filtre.

Ce rapport cible, en accord avec les priorités ministérielles, les usages et l'exposition liés aux FCR et aux fibres de verre à usage spécial de type E et 475 Glass.

2 Présentation des fibres minérales artificielles

2.1 Définition d'une fibre et des FMA

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) définit une fibre comme étant « *toute particule solide, naturelle ou artificielle, allongée à bords parallèles ayant une longueur supérieure à 5 μm , un diamètre inférieur à 3 μm et un rapport longueur / diamètre supérieur à 3* » (Inserm, 1999). Les fibres constituent de manière générale une grande famille subdivisée en une multitude de sous familles selon leur nature physico-chimique et leur origine.

Les FMA siliceuses vitreuses se composent principalement de silicates de calcium, magnésium, sodium, potassium, aluminium de bore ainsi que des traces d'oxydes et de métaux. Elles sont produites à partir de roche, de laitier, de verre ou d'argile. Ces fibres diffèrent des fibres minérales naturelles, comme l'amiante, par leur structure vitreuse et non cristalline (anisotropie). Il existe deux catégories de FMA : les laines et les filaments. Les filaments définissent les filaments de verre continus alors que les laines recourent les laines de verre, de roche, de laitier et les FCR (ATSDR, 2004).

Les FMA ne se divisent pas longitudinalement en des fibrilles de faibles diamètres comme c'est le cas pour les fibres d'amiante mais peuvent se briser de manière transversale en segments de longueurs réduites. La composition chimique des FMA définit leur résistance chimique et leur solubilité alors que la conductivité thermique dépend du diamètre de la fibre ; un faible diamètre indiquant une faible conductivité thermique (RPA, 2006).

Les FMA servent principalement à contrôler les pertes de chaleur, absorber l'énergie acoustique, filtrer les impuretés dans les gaz et les liquides, renforcer d'autres matériaux ou contrôler la condensation.

La figure 1 décline une arborescence représentant de manière générique la famille des fibres et ses nombreuses subdivisions.

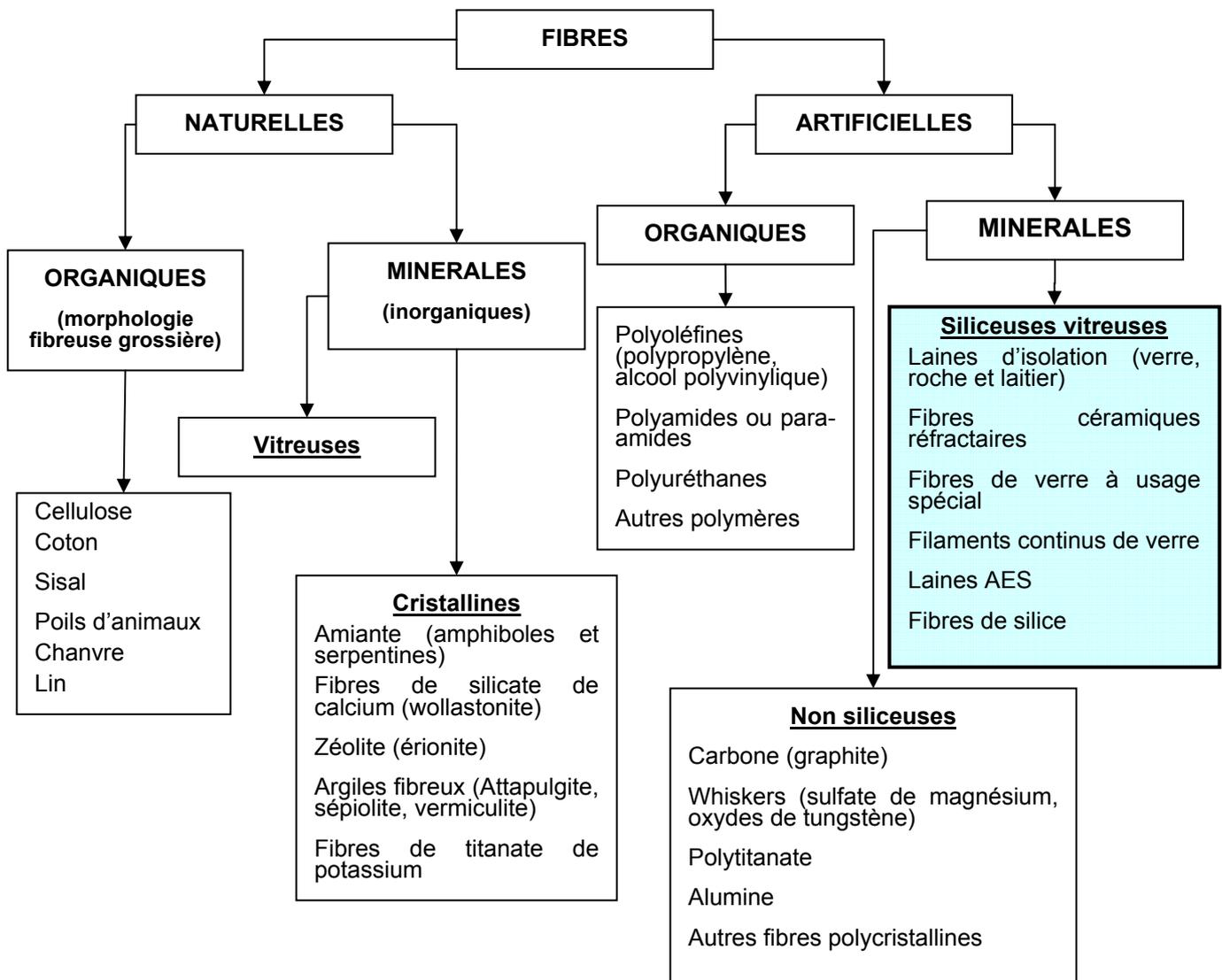


Figure N°1 : présentation générale de la famille des fibres (adaptée de TIMA, 1991)

Dans le rapport rédigé par la Thermal Insulation Manufacturers Association (TIMA), les industriels discutent la définition de FMA et préfèrent utiliser le terme de fibres vitreuses artificielles. En effet, le terme de FMA employé classiquement ne représente pas les produits commerciaux de fibres vitreuses artificielles, tant sur le plan chimique que physique. Selon la TIMA, « un minéral se définit comme un composé inorganique cristallin avec une composition chimique spécifique et une structure cristalline ». Or, les fibres présentent une composition chimique variée et une structure vitreuse. Par conséquent, la TIMA préfère le terme de fibres de silicate vitreuses (TIMA, 1991).

Le groupe de travail indique que cette affirmation paraît discutable. En effet, il existe des minéraux amorphes et des minéraux cristallisés. Les minéraux « silicates » constituent une très vaste famille ; les fibres de silicates vitreuses se retrouvent dans la même situation. Si

l'on considère par exemple les phyllosilicates (silicates en feuille), leur composition chimique est également variée entre, par exemple, les micas et les argiles.

Selon la composition chimique, la solubilité *in vitro* et la biopersistance *in vivo*, plusieurs types de FMA peuvent être distinguées (Mosqueron and Nedellec, 2001) :

- les FCR ;
- les fibres de verre à usage spécial ;
- les filaments continus de verre ;
- les laines minérales d'isolation : les laines de verre, les laines de laitier (le laitier étant un sous produits de la métallurgie) et les laines de roche.

Les FMA se définissent donc comme des silicates amorphes et inorganiques produits à partir de verre, de roche ou d'autres minéraux. La saisine concerne uniquement les FMA siliceuses vitreuses incluant les filaments de verre continu, les laines de verre, de roche, de laitier, les fibres de verre à usage spécial et les FCR. Les diamètres moyens de ces fibres varient de 6 à 15 μm pour les filaments continus, 2 à 9 μm pour les laines minérales, 1,2 à 3,5 μm pour les FCR et de 0,1 à 3 μm pour les fibres de verre à usage spécial (Navy Environmental Health Center, 1991).

Les filaments continus, les laines de verre et les fibres de verre à usage spécial sont produits uniquement à partir de verre, tandis que les autres laines minérales sont fabriquées à partir de roche ou de laitier. Les FCR peuvent être produites à partir de kaolin ou d'oxydes d'alumine, de silice et additionnées d'autres métaux ou de matériaux non-oxydes tels le carbure ou le nitrure de silicium.

A titre indicatif, les FMA siliceuses vitreuses sont dénommées au niveau international et dans la littérature scientifique par diverses appellations dont les termes « *Man-made vitreous fibers* » (MMVF) ou fibres vitreuses artificielles, « *Man-made mineral fibers* (MMMMF) » ou FMA et « *synthetic vitreous fibers* (SVF) » ou fibres vitreuses synthétiques (FVS).

2.2 Typologie utilisée pour les FMA

Il existe différentes manières de classer les fibres en s'appuyant sur leur origine, leur structure chimique, leur morphologie, leurs applications ou leurs méthodes de fabrication (Moore *et al.*, 2002). Les chapitres suivants décrivent les principales typologies évoquées dans la littérature scientifique et leurs divergences selon la méthode d'approche choisie.

2.2.1 La typologie de l'International Programme on Chemical Safety (IPCS)

L'IPCS (1988) adopte une typologie qui différencie :

- les laines d'isolation ;
 - Laines de verre
 - Laines de laitier
 - Laines de roche
- les fibres de verre à filament continu ou fibres de verre textile ;
- les fibres de verre à usages spéciaux (Microfibres®) dont les fibres de type E et Glass 475 ;
- les FCR.

2.2.2 La typologie de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS)

En 1988, l'OMS a classé les FMA en 4 catégories en s'appuyant sur le procédé de fabrication et les dimensions.

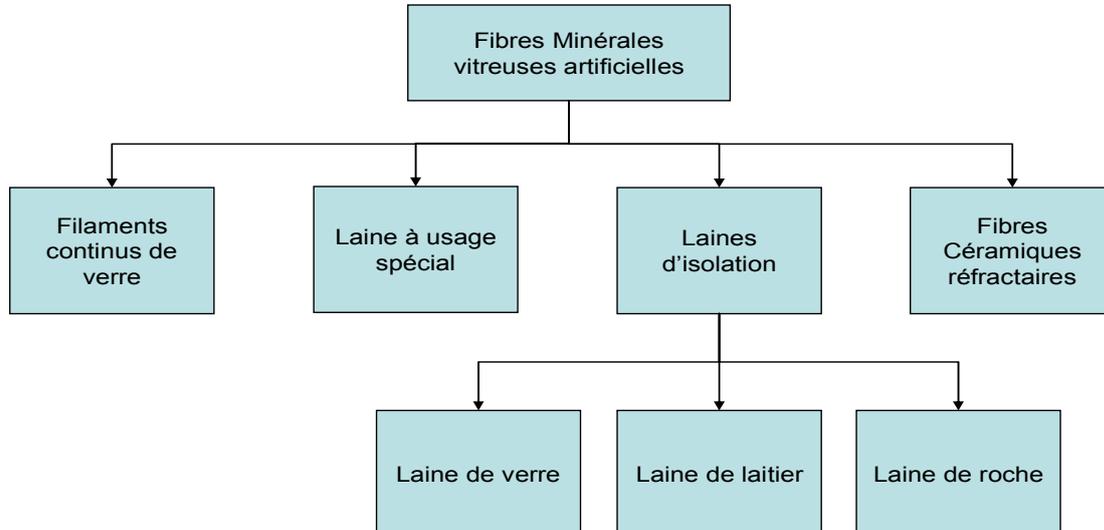


Figure N°2 : typologie des FMA par l'OMS (WHO, 1998 ; INRS, 1997)

2.2.3 La typologie de l'Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale (Inserm)

La réglementation européenne classe les fibres en fonction de leur teneur pondérale en alcalins et alcalino-terreux. Les spécialistes des effets sur la santé (toxicologues, épidémiologistes...) se sont appuyés sur un regroupement des FMA siliceuses vitreuses en 5 grandes catégories (Inserm, 1999) :

- les laines de verre ;
- les laines de laitier ou de roche ;
- les fibres de verre à filament continu ou fibres de verre textile ;
- les fibres de verre à usages spéciaux – dont les fibres de type E et Glass 475 ;
- les FCR.

Le tableau I présente l'approche retenue dans l'expertise collective Inserm afin de classer distinctement les FMA en fonction de leur teneur pondérale en alcalins et alcalino-terreux et leur dimension (Inserm, 1999).

Tableau N°1 : différenciation des FMA siliceuses selon des paramètres physicochimiques (Inserm, 1999)

Paramètre classant	Total des alcalins et alcalino-terreux		
	Moins de 2 %	De 2 à 18 %	Plus de 18 %
Fibres parallèles moins de 0,1 % en poids de $\varnothing < 4\mu\text{m}$	Fibres céramiques en filament continu	Filament continu de verre*	Filament continu de verre
Fibres non parallèles plus de 1 % en poids de $\varnothing < 3\mu\text{m}$, moins de 1 % en poids de $\varnothing < 1\mu\text{m}$	FCR	Fibres épaisses pour usages spéciaux	Laines d'isolation
Fibres non parallèles plus de 1 % en poids de $\varnothing < 1\mu\text{m}$	FCR	Fibres de verre fines pour usages spéciaux	Fibres de verre fines pour usages spéciaux

* la seule exception connue est un produit d'importation (diamètre nominal 3,5 à 5 μm) mis sur le marché en petite quantité (60 tonnes en 1990) et vendu sous forme de fibres dispersées.

2.2.4 La typologie du Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC)

Le CIRC s'est appuyé sur une typologie pour les FMA selon que les fibres soient des filaments ou des laines. Ainsi, les filaments correspondent aux fibres de verre produites par extrusion (filaments de verre continus). La catégorie des laines se divise en 5 groupes incluant les laines de verre, les laines de laitier, les laines de roche, les FCR et les autres fibres. Le groupe des laines de verre inclut les laines d'isolation et les laines à usage spécial ou fibres de verre à usage spécial (CIRC, 2002).

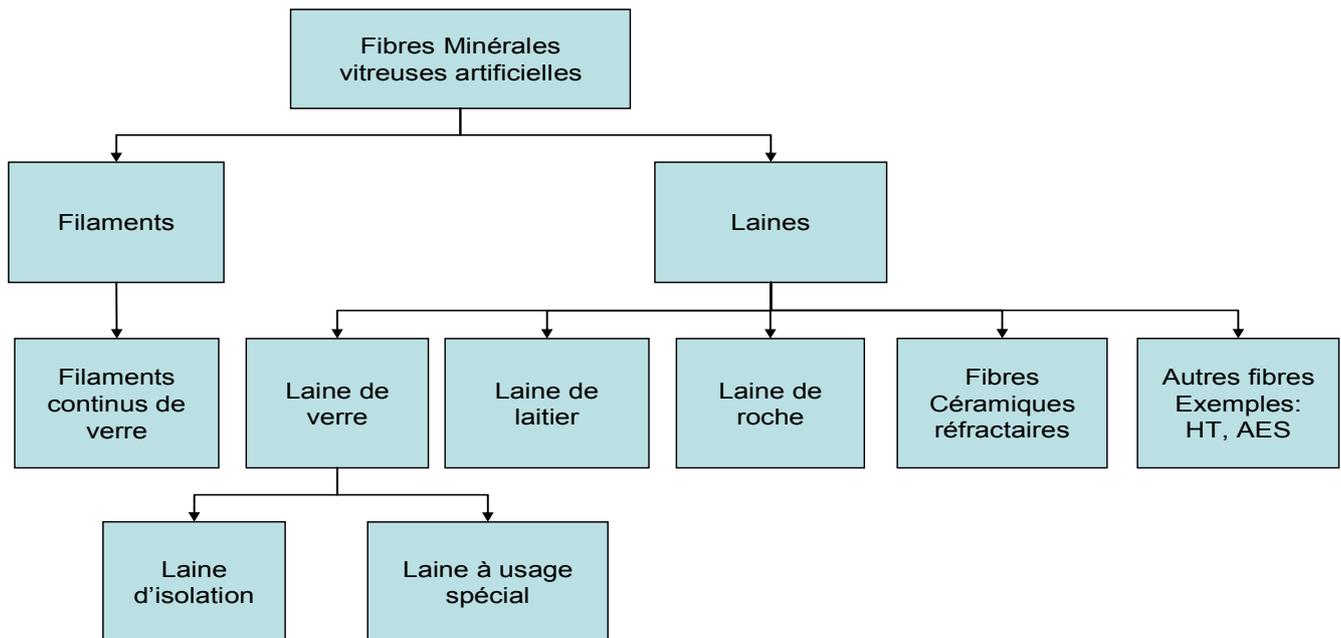


Figure N° 3 : typologie des FMA par le CIRC (2002)

Aux Etats-Unis, le terme de « laines minérales » se réfèrent aux laines de roche et de laitier ; alors qu'en Europe et en Asie, le terme inclut également les laines de verre. Les laines se présentent comme une masse emmêlée de fibres, au contraire des filaments continus composés de fibres ordonnées.

La réalité est en fait plus complexe, expliquant en cela que les ingénieurs, chimistes et industriels ne « se retrouvent pas » dans cette classification. Il apparaît difficile d'arrêter un consensus et les approches aboutissent parfois à une incompréhension entre les intervenants suivant leur spécialité.

2.3 Composition chimique des FMA

La composition chimique des FMA dépend évidemment des matières premières destinées à leur production (Navy Environmental Health Center, 1997) et détermine largement leur résistance chimique (somme des oxydes d'acides divisée par la somme des oxydes basiques et amphotériques) et leur solubilité dans diverses solutions. Par ailleurs, la conductivité thermique dépend du diamètre de la fibre et de sa densité ; un faible diamètre impliquant une faible conductivité (IPCS, 1988).

Le tableau II présente les teneurs moyennes de silice, d'alumine, d'oxydes alcalins, alcalino-terreux et métalliques qui composent et distinguent chaque type de FMA. Le tableau II souligne que les FCR contiennent peu d'alcalins et alcalino-terreux considérés comme des impuretés. Les deux classes de laines décrites dans les dernières colonnes décrivent des laines de substitution évoquées ultérieurement.

Tableau N°II composition chimique moyenne pour chaque type de FMA (CIRC, 2002)

	Filament de verre continu	Laine de verre		Laine de roche	Laine de laitier	FCR	Laine de silicate alcalino-terreux	Laine à faible teneur en silice et forte teneur en alumine
		Laine d'isolation	Fibre à usage spécial					
SiO ₂	52-75	55-70	54-69	43-50	38-52	47-54	50-82	33-43
Al ₂ O ₃	0-30	0-7	3-15	6-15	5-16	35-51	< 2	18-24
CaO	0-25	5-13	0-21	10-25	20-43	< 1		
MgO	0-10	0-5	0-4,5	6-16	4-14	< 1		
MgO+ , CaO	0-35	5-18	0-25,5	16-41	24-57		18-43	23-33
BaO	0-1	0-3	0-5,5					
ZnO	0-5		0-4,5					
Na ₂ O ⁺		13-18	0-16	1-3,5	0-1	< 1		
K ₂ O		0-2,5	0-15	0,5-2	0,3-2	< 1		
Na ₂ O ⁺ , K ₂ O	0-21	12- 20,5			0,3-3		< 1	1-10
B ₂ O ₃	0-24	0-12	4-11	< 1	< 1		< 1	
Fe ₂ O ₃	0-5	0-5	0-0,4		0-5	0-1	< 1	
FeO				3-8				3-9
TiO ₂	0-12	0-0,5	0-8	0,5-3,5	0,3-1	0-2		0,5-3
ZrO ₂	0-18		0-4			0-17	0-6	
Al ₂ O ₃ ⁺							< 6	
TiO ₂ ⁺								
ZrO ₂								
P ₂ O ₅				< 1	0-0,5			
F ₂	0-5	0-1,5	0-2					
S					0-2			
SO ₃		0-0,5						
LiO ₂	0-1,5	0-0,5						

La figure 4 présente sous forme de diagramme la composition et le diamètre moyen des FMA.

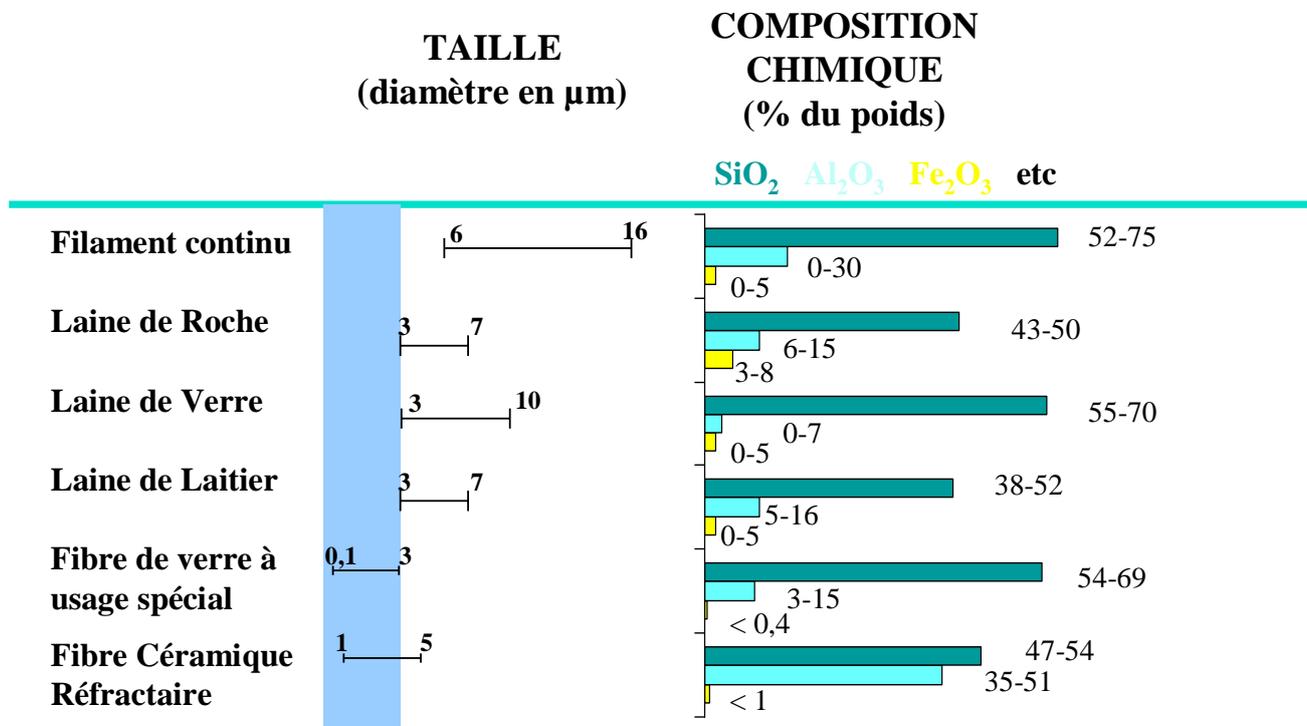


Figure N°4 : caractéristiques principales des FMA siliceuses vitreuses (adapté de De Vuyst *et al.*, 1995 à partir de CIRC, 2002)

La composition chimique des fibres est un facteur pris en considération pour déterminer si les fibres siliceuses vitreuses doivent être soumises à une évaluation du potentiel cancérigène et permet notamment d'apprécier leur solubilité biologique. La commission européenne s'est appuyée sur le pourcentage pondéral d'alcalins et d'alcalino-terreux afin de classer les FMA vis-à-vis de leur potentiel cancérigène. L'indice, proposé par EURIMA (European Mineral Wool Manufacturers Association), se nomme indice KNB et correspond à la somme des oxydes alcalins et alcalino-terreux (exprimé en % de la masse).

$$\text{KNB} = [\text{Na}_2\text{O}] + [\text{K}_2\text{O}] + [\text{CaO}] + [\text{MgO}] + [\text{BaO}]$$

Ainsi, la valeur de l'indice KNB, critère de prédiction de solubilité, a été adoptée en 1997 par la commission des communautés européennes comme critère chimique pour le classement des FMA en cancérigène de classe 2 ou 3 (Directive 97/69/CE du 5 décembre 1997).

Les autorités allemandes jugent ce critère inadapté et utilisent, pour l'appréciation de la biodégradabilité des fibres vitreuses et de leur cancérigénicité, un coefficient prédictif empirique basé sur la composition des verres exprimée en pourcentages pondéraux :

$$\text{KI} = \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{Br}_2\text{O}_3 + \text{BaO} - 2(\text{Al}_2\text{O}_3) \text{ (exprimé en \% de la masse).}$$

La figure 5 établit le lien entre la classification réglementaire européenne des FMA (C2 indique cancérogène de catégorie 2 et C3, cancérogène de catégorie 3) et leurs compositions chimiques notamment le pourcentage pondéral d'alcalins et d'alcalino-terreux.

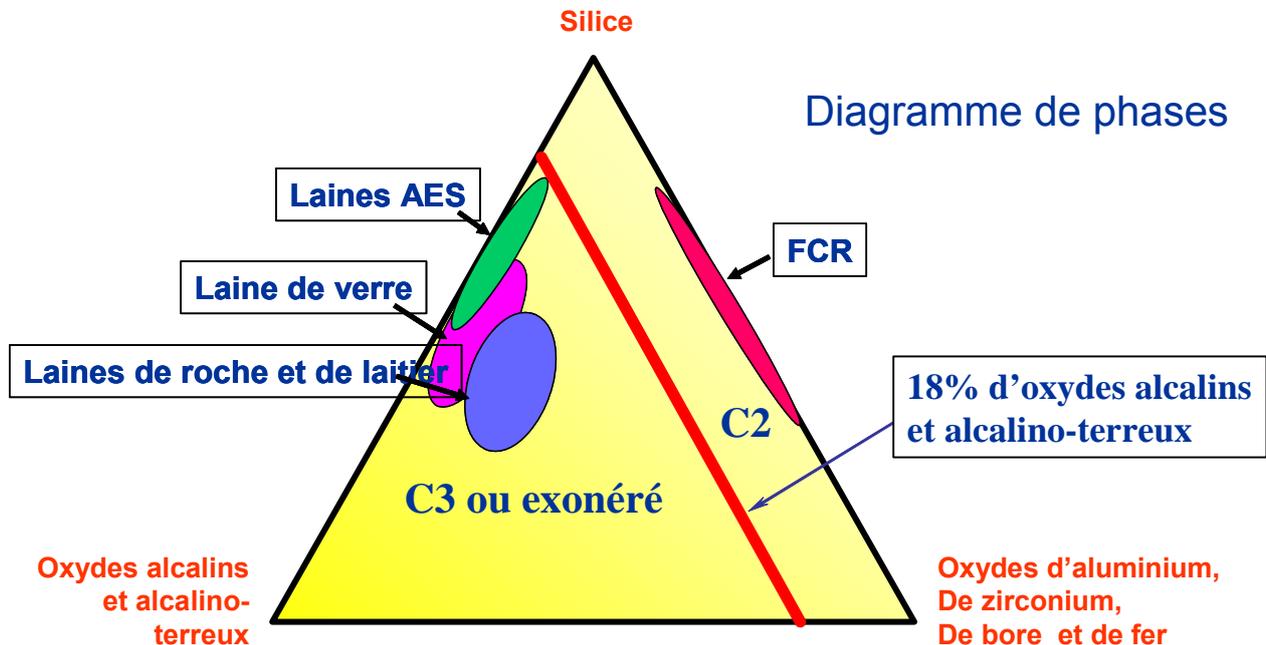


Figure N°5 : lien entre la classification européenne et la composition chimique des FMA (ECFIA, 2005)

2.4 Propriétés physico-chimiques des FMA

A l'image de la composition chimique, les propriétés physico-chimiques des FMA influencent de manière certaine l'usage, la résistance et la toxicité. Le réseau sous forme de structure vitreuse caractérise les FMA, dépourvues de la régularité des matériaux cristallins. En raison de leur allongement axial extrême, la fracture de ces fibres s'opère en général transversalement, la longueur de la fibre étant ainsi réduite sans que le diamètre en soit affecté. Même lors des opérations de broyage ou de traitement ultrasonique, les FMA se cassent transversalement, formant des fragments particuliers.

A l'opposé, l'amiante chrysotile se compose de faisceaux courbes ou droits, réunissant des fibrilles très fines. Lors du broyage, les faisceaux se divisent longitudinalement en un grand nombre de fibrilles extrêmement fines.

Ainsi, le diamètre nominal des FMA reste constant et présente peu de variations au cours du temps. Au contraire, la caractérisation de la longueur n'apparaît pas pertinente et dépend du procédé de fabrication, de l'usage et peut varier avec le vieillissement.

Le diamètre nominal pour les filaments continus de verre est usuellement compris entre 3 et 25 µm, dépendant de l'application mais se situe typiquement entre 6 et 15 µm (Navy Environmental Health Center, 1997). La méthode de production des filaments continus permet un contrôle précis et strict du diamètre et laisse peu de variations au produit final. La production des laines minérales inclut un procédé rotatif ou de centrifugation aboutissant à un diamètre nominal entre 3 et 7 µm pour les laines de roche et de laitier et entre 3 et 10 µm pour les fibres de verre conventionnelles. Les fibres de verre à usage spécial produites par

atténuation de flamme présentent un diamètre moyen inférieur à 3 µm et plus généralement inférieur à 1 µm. Les FCR produites par centrifugation ou soufflage se définissent par un diamètre compris entre 1 et 5 µm (ATSDR, 2004).

Le tableau III présente les moyennes arithmétiques et géométriques des diamètres selon le type de fibres et le type de microscopie retenu pour la mesure des dimensions. L'annexe 3 évoque les diamètres et longueurs mesurés en fonction du type de fibres en suspension dans l'air et de l'activité impliquée.

Tableau N°III : mesure du diamètre des fibres de laine de verre, de laine de laitier, de laine de roche, des FCR et des fibres de verre à usage spécial (ATSDR, 2004)

Type et nombre (N) de produits étudiés	Moyennes arithmétiques des diamètres (µm) : LM	Moyennes géométriques des diamètres (µm) : LM	Moyennes arithmétiques des diamètres (µm) : SEM	Moyennes géométriques des diamètres (µm) : SEM
Laine de verre				
N = 9	2.4–8.1	1.7–6.6	1.2–7.7	0.8–6.3
Fibres de verre à usage spécial ^a				
N = 1	Non applicable ^a	Non applicable ^a	0.6	0.4
Laine (roche/laitier)				
N = 9	2.5–4.7	1.7–3.3	2.4–5.3	1.7–4.0
FCR				
N = 3	2.3–3.9	1.5–2.8	2.4–3.8	1.7–2.8

^a Un seul échantillon de fibres de verre à usage spécial a été étudié, mais le diamètre était trop petit pour être mesuré par LM

LM : light microscopy (microscopie photonique)

SEM : scanning electron microscopy (MEBA)

La densité, la longueur et le diamètre des fibres sont les propriétés critiques qui déterminent le comportement aérodynamique des FMA et leur respirabilité. Les propriétés physiques pertinentes pour les composés organiques ne sont généralement pas applicables aux matériaux inorganiques comme les FMA. En effet, les caractéristiques telles que la pression de vapeur, la constante de loi d'Henry et le coefficient de partage octanol/eau restent excessivement faibles et non mesurables (ATSDR, 2004). De même, le point de fusion est difficilement interprétable et se définit souvent par un intervalle de températures. Les experts préfèrent s'appuyer sur le terme de point de ramollissement défini comme la température de changement d'état de la fibre.

Les propriétés physiques varient selon la nature et les spécifications de production ; cependant le tableau IV présente des valeurs représentatives et génériques pour les classes de FMA.

Tableau N°IV : propriétés physiques suivant le type de FMA (ATSDR, 2004)

propriété	Verre E	Verre S	Verre AR	Laine de verre	Laine de roche	Laine de laitier	FCR	Fibre de verre à usage spécial (formulation 475)
Masse moléculaire	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Densité	2,60-2,65	2,5	2,52	2,40-2,55	2,7-2,9	2,7-2,9	2,6-2,7	2,4
Point de ramollissement (°C)	835-860	970	680	650-700	-	-	1 740-1 800	650
Constante diélectrique à 1 MHz	5,8-6,4	4,9-5,3	-	-	-	-	-	-
Module d'élasticité (GPa)	70-75	85	70-75	55-62	55-62	48-76	76-100	-
Indice de réfraction	1,55-1,57	1,52	1,525	1,51-1,54	1,6-1,8	1,6-1,8	1,55-1,57	1,53
Force de tension (MPa)	3 400	4 590	3 700	-	482-689	482-689	1 000-1 300	-

N/A : Non Applicable

Les FMA restent relativement stables au cours du temps mais peuvent toutefois se briser dans des milieux très acides ou très alcalins (ATSDR, 2004). De même, les fibres minérales vitreuses sont non cristallines et restent vitreuses quand elles sont utilisées à des températures équivalentes à leur point de ramollissement. A des températures plus élevées, elles s'écoulent, fondent ou cristallisent selon leur composition (CIRC, 2002).

2.5 Production des FMA

La plupart des FMA produites au niveau international est destinée à l'isolation. Les laines de verre, de roche et de laitier sont principalement utilisées dans l'isolation thermique et acoustique des maisons, bâtiments et appareils divers. Les filaments de verre continus servent à renforcer les plastiques, ciments, papiers, dalles...notamment dans les applications électriques. Les FCR se destinent à l'isolation des matériaux qui requièrent une résistance aux hautes températures. Enfin, les fibres de verre à usage spécial connaissent des applications spécifiques, principalement dans la filtration à haute efficacité. Les données de production de ces dernières restent cependant ponctuelles et anecdotiques. Elles correspondent souvent à des études américaines et/ou internationales. Par ailleurs, les

industriels soulignent que les tendances historiques de production restent difficilement appréciables et quantifiables.

2.5.1 Production de FMA dans les années 1970

Le CIRC (1988) relevait une production globale de 4,5 millions de tonnes en 1973. Le tableau V précise l'attribution de cette production selon la zone géographique et la nature du matériel.

Tableau N°V : production de FMA selon la zone géographique et l'usage (CIRC, 1988)

Zone géographique	Isolation		Textile		Total	
	Milliers de tonnes	%	Milliers de tonnes	%	Milliers de tonnes	%
Europe de l'ouest	1 200	32	260	30	1 460	32
Europe de l'est	600	16	85	10	685	15
Amérique du nord	1 600	43	400	46	2 000	43
Amérique centrale et du sud	120	3	20	2	140	3
Japon	200	5	100	12	300	7
Australie	30	1	-	-	-	-
mondial	3 750	100	865	100	4 585	100

Aux Etats-Unis, la production totale annuelle de fibres de verre était estimée à 370 000 tonnes pour les fibres textiles et 1 200 000 pour les laines de verre à la fin des années 1970. La production s'élevait autour de 200 000 tonnes pour les laines de roche, de laitier et 21 000 pour les fibres céramiques (CIRC, 1988).

2.5.2 Production de FMA dans les années 1980

En 1985, la production mondiale de FMA a été estimée entre 6 et 6,5 millions de tonnes avec la répartition suivante (pourcentages applicables aux Etats-Unis) :

- Les fibres de verre représentaient 80 % de la production américaine, dont 80 % correspondaient aux laines de verre principalement utilisées dans l'isolation acoustique et thermique. Les filaments de verre continus (5 à 10 % de la production) étaient utilisés dans le renforcement des matériaux à base de résines ou pour le textile.
- Les laines de roche et de laitier représentaient entre 10 et 15 % de la production américaine de FMA. Ces laines se destinaient également à l'isolation acoustique et thermique. En Europe, ces laines connaissent approximativement les mêmes volumes de production et les mêmes applications.
- Les FCR représentaient entre 1 et 2 % de la production destinée à l'isolation pour les hautes températures.
- Les fibres de verre à usage spécial représentaient moins de 1 % de la production des fibres de verre. Ces fibres se destinent à des usages spécifiques dans l'aéronautique ou la fabrication de médias filtrants haute efficacité.

2.5.3 Production actuelle de FMA

LE CIRC (2002) propose des données pour la production globale de FMA en 2001. La production totale s'élevait alors à plus de 9 millions de tonnes et prenait place sur 100 sites dispersés dans le monde. La répartition des fibres était la suivante :

- Les laines de verre représentaient 3 millions de tonnes principalement employées aux Etats-Unis ;
- Les laines de roche et de laitier représentaient également 3 millions de tonnes principalement utilisées en Europe et dans le reste du monde ;
- Les laines à forte teneur en alumine et faible teneur en silice représentaient 1 million de tonnes et ne cessent de croître en substituant les laines de roche et de laitier ;
- Les filaments de verre continus représentaient 2 millions de tonnes ;
- Les FCR représentaient 150 000 tonnes. Les laines AES qui peuvent substituer les FCR dans certaines applications représentaient 30 000 tonnes ;
- Enfin, les fibres de verre à usage spécial se limitaient à une production restreinte pour des applications spécifiques.

Le diagramme proposé par the European Ceramic Fibres Industry Association (ECFIA), associant les producteurs européens de laines d'isolation haute température dont les FCR, propose une répartition européenne des différentes catégories de FMA dont une large proportion représente les laines minérales et une faible production intéresse les FCR.

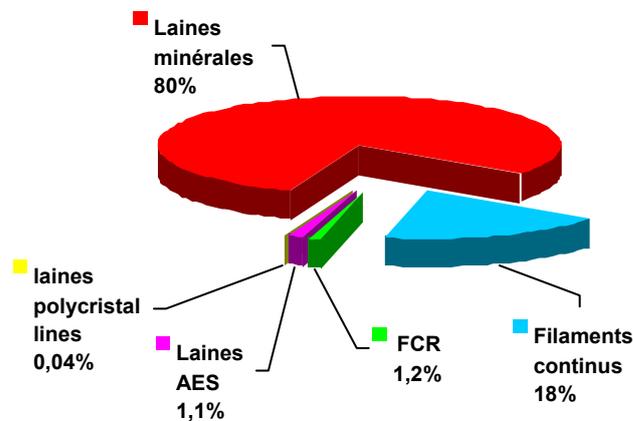


Figure N°6 : production des laines minérales artificielles vitreuses en Europe : 2.5 millions de tonnes/an (ECFIA, 2005)

3 Méthodes de comptage et d'identification des fibres

Parmi les méthodes les plus utilisées pour mesurer les expositions aux fibres en suspension dans l'air, la méthode du filtre à membrane analysé par *Microscopie Optique à Contraste de Phase (MOCP)* ne permet que le comptage des fibres en ignorant leur nature, tandis que *la Microscopie Optique à Lumière Polarisée (MOLP)*, *la Microscopie Electronique à Balayage Analytique (MEBA)* et *la Microscopie Electronique à Transmission Analytique (META)* permettent l'identification des fibres et leur comptage.

3.1 Microscopie optique à contraste de phase (MOCP)

C'est la méthode de référence internationale pour l'évaluation de l'exposition professionnelle aux fibres ; en conséquence, les données les plus nombreuses en milieu de travail sont issues d'analyses par MOCP. Recommandée par l'OMS (WHO, 1998), elle fait l'objet de normes internationales (ISO/DIS 8672, 1988) et nationales (NIOSH 7400 A et B ,1989 (Etats-Unis) ; AFNOR XP X 43-269, 2002 (France) ;...).

Initialement définie pour mesurer l'exposition aux fibres d'amiante, cette technique, qui ne permet cependant pas l'identification de la nature des fibres prélevées, a été progressivement utilisée dans des situations où se rencontraient d'autres types de fibres comme les FMA (WHO/EURO, 1985 ; HSE, 1988 (Grande-Bretagne)).

La MOCP présente l'avantage d'être simple, relativement rapide dans sa mise en œuvre et de permettre des comparaisons entre les différentes études d'hygiène du travail réalisées au niveau international.

A partir de prélèvements d'air personnels ou d'ambiance, les échantillons sont prélevés sur un filtre membrane en ester ou nitrate de cellulose de 0,8 μm de porosité, à un débit de quelques litres par minute (1 à 6 l/min selon la norme AFNOR XP X 43-269). Les prélèvements personnels sont en principe plus représentatifs de l'exposition du travailleur car effectués au moyen d'une pompe portative dont le capteur est placé au niveau des voies aériennes supérieures.

Le filtre est ensuite clarifié puis observé avec un microscope à contraste de phase positif à un grossissement de x400 en général. La méthode d'observation des fibres n'est pas spécifique car uniquement basée sur des critères morphologiques. Elle se limite à compter les objets « fibres » observables dans l'échantillon: une fibre dénombrable est définie comme toute structure dont les bords sont approximativement parallèles, ayant une longueur (L) supérieure à 5 μm , et un rapport longueur / diamètre (L/d) supérieur à 3/1 (la méthode NIOSH 7400 B diffère des autres avec un rapport L/d > 5/1). On distingue les fibres « respirables » de diamètre inférieur à 3 μm , des fibres « non respirables » de diamètre supérieur à 3 μm (WHO/EURO, 1985 ; Inserm, 1999).

Les résultats sont exprimés en nombre de fibres par millilitre ou centimètre cube d'air prélevé (f/ml ou f/cm³).

Outre le fait que toutes les fibres sont comptées, ceci entraînant une surestimation possible du résultat, il existe un biais qui lui entraîne une sous-estimation de la concentration. En effet, au grossissement utilisé (x400-x500), on s'accorde à situer la résolution d'image des microscopes optiques, c'est-à-dire la limite de visibilité des fibres, entre 0,2 et 0,3 μm (Breyse, 1991 ; Verma and Clark, 1995 ; Inserm, 1997 et 1999; WHO, 1998).

Par conséquent, les fibres les plus fines et les plus courtes ne sont pas prises en compte lors des comptages MOCP.

Ce problème, réel lorsqu'il concerne des fibres fines comme les fibres d'amiante (surtout de chrysotile), n'intéresse pas vraiment les laines minérales ou les filaments continus dont les diamètres moyens sont bien plus gros, mais se pose en revanche pour les fibres à usage spécial ou encore certaines FCR. Ainsi, Rood (1988) situe le diamètre médian des FCR qu'il a étudiées en META vers 0,5-1 μm et détecte entre 80 % et 90 % de ces fibres en MOCP.

3.2 Microscopie optique à lumière polarisée (MOLP)

Cette méthode permet de discriminer les fibres selon leurs caractères morphologiques et optiques (isotropie, indice de réfraction) et ainsi de séparer les fibres cristallines anisotropes de celles ayant une structure amorphe, vitreuse, et donc isotrope parmi lesquelles les FMA (Schneider, 1984 ; HSE, 1998). On dispose ainsi d'un moyen d'identification partielle. Cette méthode classiquement utilisée en France pour décrire les expositions environnementales aux FMA a été adaptée de la méthode indirecte de mesure des concentrations d'amiante dans l'environnement général (Gaudichet *et al.*, 1989). Le prélèvement d'air est effectué à 5 l/mn sur une membrane en cellulose de 0,45 μm de porosité, laquelle est ensuite incinérée à basse température dans un four à plasma en vue de détruire le filtre et les particules organiques. Les cendres reprises en phase liquide sont filtrées à nouveau sur une membrane en cellulose, transparisée puis montée entre lame et lamelle.

L'observation est réalisée au moyen d'un microscope optique à lumière polarisée à un grossissement de x200. Les fibres de plus de 5 μm de longueur et de rapport longueur/diamètre supérieur à 3 sont comptées. On classe en deux catégories les fibres : celles respirables de diamètre < 3 μm , et celles non-respirables de diamètre > 3 μm . Les résultats sont exprimés en fibres par mètre cube d'air prélevé (f/m^3). Les prélèvements étant en général réalisés sur plusieurs jours avec une dizaine de m^3 et le filtre étant lu en entier, la sensibilité d'analyse est voisine de 0,1 f/m^3 .

En pratique, l'utilisation de cette technique est limitée à des fibres de diamètre supérieur à 0,5 μm (McCrone, 1980) ou 1 μm (OMS, 1998 ; HSE, 1998).

3.3 Microscopie Electronique à Balayage Analytique (MEBA) et Microscopie Electronique à Transmission Analytique (META)

Ces deux méthodes sont beaucoup plus performantes au niveau de l'identification des fibres mais sont plus lourdes et plus coûteuses dans leur mise en œuvre. En outre, à durée de prélèvement égale, elles ont en général des sensibilités analytiques moins bonnes que la MOLP. En effet, aux forts grossissements utilisés en microscopie électronique, la surface de filtre observée est beaucoup plus faible, ce qui dégrade de fait la sensibilité du comptage.

3.3.1 MEBA

La Microscopie Electronique à Balayage (MEB), couplée avec un spectromètre en dispersion d'énergie de rayons X (SDEX), permet d'analyser les fibres sur la base de leur aspect morphologique et de leur composition chimique élémentaire. On dispose ainsi d'une identification assez complète. Cette méthode est décrite dans la norme ISO/FDIS 14966 (2002) dérivée de la méthode de référence allemande VDI 3492 (1991 et 1994). Bien que principalement dédiée à la mesure de la concentration en fibres d'amiante dans l'air lors de travaux de rénovation, démolition ou maintenance, cette méthode peut être adaptée à la mesure des concentrations de FMA.

Le prélèvement d'air peut être réalisé avec une membrane en ester de cellulose ou en polycarbonate pré-métallisée à l'or. L'observation, l'analyse et le comptage sont effectués à un grossissement de x2000 ou plus. A x2000, le diamètre minimum des fibres détectables et analysables en routine est de l'ordre de 0,2 µm.

Les résultats sont exprimés en f/m³.

3.3.2 META

La Microscopie Electronique à Transmission (MET) couplée avec un spectromètre en dispersion d'énergie de rayons X (SDEX) est la méthode la plus performante vis-à-vis de la détection des fibres les plus fines. La résolution maximale du MET est d'environ 0,0002 µm, avec une résolution en routine de 0,01 µm (WHO, 1998). Les fibres de l'ensemble de la distribution granulométrique peuvent ainsi être prises en considération. Néanmoins, les FMA ont souvent des dimensions importantes rendant l'observation en META inadaptée. Même si cette méthode permet de discriminer les fibres minérales, elle n'est pas recommandée pour les FMA (HSE, 1998).

Deux méthodes de prélèvement et d'analyse définies au départ pour les fibres d'amiante se distinguent : la méthode directe (ISO 10312, 1995) et la méthode indirecte (ISO 13794, 1994 ; AFNOR NF X 43-050, 1996), laquelle passe par une incinération du filtre de prélèvement en ester de cellulose et une nouvelle concentration des cendres sur une membrane en polycarbonates.

Les fibres sont identifiées sur la base de leur aspect morphologique, de leur structure cristallographique par microdiffraction électronique et de leur composition chimique élémentaire déterminée au moyen du SDEX.

4 Les fibres céramiques réfractaires

4.1 Production et utilisation

4.1.1 Définition des FCR

Les produits réfractaires recouvrent les matériaux céramiques capables de résister à des températures élevées atteignant les 1 500 °C. Il existe une multitude de produits réfractaires différenciés par leur structure ou leur forme. Ces matériaux résistent à des sollicitations mécaniques, thermiques et chimiques comme l'érosion, la déformation, les chocs thermiques et la corrosion. Les matières premières destinées à la fabrication de ces produits réfractaires peuvent être d'origine naturelle ou synthétique. Ces produits réfractaires incluent les fibres mais également les briques et bétons réfractaires.

Le terme de fibres céramiques définit des substances fibreuses, synthétiques, inorganiques ou non-métalliques. Il est à noter que ces fibres peuvent être de nature vitreuse ou cristalline. Les fibres céramiques incluent :

- Les fibres siliceuses vitreuses (FCR) ;
- Les fibres d'alumine et de silicates d'alumine cristalline (fibres polycristallines) ;
- Les « whiskers » monocristallins (à base de carbure ou de nitrure de silicium) ;
- Les filaments continus (ERM, 1995).

Dans la première monographie du CIRC (1988) portant sur les FMA, la revue de la cancérogénicité incluait les whiskers monocristallins et quelques fibres cristallines sous la dénomination « fibre céramique ». La deuxième revue datée de 2002 concernait uniquement, à l'image de la présente étude, la toxicité liée aux fibres vitreuses. Le terme de FCR inclut la notion de réfractaire et apparaît souvent dans la littérature sous la dénomination de fibre céramique. Cependant, une distinction doit être faite avec les autres fibres minérales céramiques cristallines décrites ci dessus. Ainsi, les fibres d'alumine et de silicates d'alumine polycristallines, les fibres de silice, les whiskers monocristallins (ex : SiC, WO, MgSO₄), les filaments continus ne sont pas considérés comme des FCR (Catani *et al.*, 2003).

Par conséquent, le terme de « fibre céramique réfractaire » décrit une famille de fibres de silicate d'aluminium de nature et d'utilisation variées (Catani *et al.*, 2003). Elles appartiennent à la famille des fibres vitreuses synthétiques (FVS) à orientation aléatoire (position quelconque des fibres les unes par rapport aux autres). Elles se différencient des autres FVS par leurs caractéristiques de haute résistance thermique (entre 1 000 et 1 450°C) d'où une application industrielle privilégiée. La production en Europe a démarré dès les années 1960 pour s'infléchir au milieu des années 1990 car elles sont peu à peu substituées par les laines de silicates alcalino-terreux (AES). Les AES sont des FMA vitreuses à orientation aléatoire également. Elles sont produites pour la première fois en 1990 et sont utilisées à des températures allant jusqu'à 1 100°C. La seconde génération actuelle d'AES commercialisée au début de l'année 1998 résiste à des températures variant entre 1 100 et 1 250°C.

Le numéro d'enregistrement du service des résumés des produits chimiques (CAS) pour les FCR est le 142844-00-6 (ECFIA, 2005). La définition CAS, qui reste selon l'ECFIA la seule définition officielle, décrit ces fibres comme « *des fibres artificielles amorphes produites à partir du mélange, par centrifugation ou soufflage de kaolin calciné ou d'une combinaison d'alumine et de silice. Des oxydes tels que la zircone, l'oxyde ferrique, l'oxyde de magnésium, l'oxyde de calcium ou des alcalins peuvent être ajoutés. Les pourcentages pondéraux estimés correspondent à :*

- Alumine : 20 – 80 %
- Silice : 20 – 80 %
- *Autres oxydes en quantité moindre »*

Les FCR répondent également à une classe définie par la directive Européenne n°97/69/CE du 5 décembre 1997, publiée au Journal Officiel des Communautés Européennes (JOCE) L-343 du 13 décembre 1997, transposée par arrêté du 28 août 1998 comme des « *Fibres (de silicates) vitreuses artificielles à orientation aléatoire et dont le pourcentage pondéral d'oxydes alcalins et d'oxydes alcalino-terreux ($[Na_2O] + [K_2O] + [CaO] + [MgO] + [BaO]$) est inférieur à 18 % ».*

L'adjonction de zirconium augmente le caractère réfractaire. Les FCR restent relativement difficiles à manufacturer. Elles se limitent principalement au marché d'isolation pour haute température (principalement industriel) dont les températures maximales d'utilisation se situent entre 1 250 et 1 450 °C. Elles sont appréciées pour leur commodité d'utilisation et leur faible inertie thermique impactant sur la consommation d'énergie dans les industries des hautes températures. Les industriels soulignent les multiples avantages liés à ces fibres, notamment :

- une utilisation continue pour des températures pouvant atteindre 1 450 °C ;
- une faible conductivité thermique et un faible poids ;
- une faible capacité calorifique et une faible accumulation de chaleur ;
- une résistance aux variations de températures et une stabilité chimique ;
- une bonne aptitude au façonnage ;
- une bonne isolation électrique ;
- un coût raisonnable et une offre de produits variés.

4.1.2 Composition chimique et mode de fabrication

Les FCR sont produites par la fusion d'une combinaison d'alumine (Al_2O_3) et de silice (SiO_2) dans des proportions à peu près équivalentes ou par fusion d'un mélange d'argile de kaolinite. Elles contiennent entre 47-54 % de silice et 35-51 % d'alumine. D'autres oxydes, comme le dioxyde de zirconium ou zircone (ZrO_2) (0-17 %), le trioxyde de Bore (B_2O_3), le dioxyde de Titane (TiO_2) ou le trioxyde de Chrome (Cr_2O_3) sont parfois ajoutés afin de modifier les caractéristiques physiques des FCR produites. La composition peut interférer sur la température possible d'utilisation (ECFIA, 2005). Aux Etats-Unis et en Asie, les FCR sont produites à partir de kaolin ou d'un mélange d'alumine et de silice additionné de faibles quantités de divers oxydes. En Europe, les FCR sont produites uniquement à partir d'alumine et de silice. La FCR à base de zircone est utilisée pour des applications à températures plus élevées (ECFIA, 2005). Les producteurs délaissent actuellement le kaolin et se concentrent de plus en plus sur les mélanges d'alumine et de silice.

La composition primaire des FCR a peu évolué depuis leur formulation initiale de 1940 ; cependant l'augmentation du contenu d'alumine et l'addition de zircon ou d'autres constituants a permis d'accroître la tolérance de ces fibres aux températures les plus élevées (CIRC, 2002).

Ainsi, selon la composition en matières premières du mélange, il existe trois classes majeures de FCR :

- les fibres à base de kaolin (silicate d'aluminium hydraté), pour lesquelles l'argile est obtenu par exploitation minière (à titre indicatif, la fibre expérimentale RCF1 présente la même composition mais se définit comme une fibre traitée extrêmement fine et longue afin d'être inhalable lors des tests sur animaux. Cette fibre n'est pas mise sur le marché) ;
- les fibres à base de silice et d'alumine avec ajout de zircon (à titre indicatif, la fibre expérimentale RCF2 présente la même composition mais se définit comme une fibre traitée extrêmement fine et longue afin d'être inhalable lors des tests sur animaux. Cette fibre n'est pas mise sur le marché) ;
- les fibres à base de silice et d'alumine de haute pureté (à titre indicatif, la fibre expérimentale RCF3 présente la même composition mais se définit comme une fibre traitée extrêmement fine et longue afin d'être inhalable lors des tests sur animaux. Cette fibre n'est pas mise sur le marché) (Inserm, 1999 ; Navy Environmental Health Center, 1997).

Le tableau VI présente les compositions chimiques des FCR présentes sur le marché ainsi que la composition d'une fibre partiellement dévitrifiée vieillie à la chaleur de manière accélérée (à titre indicatif, la fibre expérimentale RCF 4 correspond à une fibre RCF 1 partiellement dévitrifiée contenant 27 % de cristobalite).

Tableau N°VI : composition chimique des FCR (NIOSH, 2006)

Composition chimique d'une FCR typique en pourcentage d'oxydes				
Type de FCR				
Composant	Kaolin (alumino-silicate)	Zircone (alumino-silicate)	Haute pureté (alumino-silicate)	Fibre de vieillesse caractérisée par la dévitrification
Dioxyde de silicium SiO ₂	47,7	50	50,8	47,7
Alumine Al ₂ O ₃	48	35	48,5	48
Oxyde de potassium K ₂ O	0,16	<0,01	<0,01	0,16
Oxyde de sodium Na ₂ O	0,54	<0,3	0,19	0,54
Oxyde de magnésium MgO	0,98	0,01	<0,01	0,08
Oxyde de calcium CaO	0,07	0,05	0,04	0,07
Dioxyde de titanium TiO ₂	2,05	0,04	0,02	2,05
Dioxyde de zirconium ZrO ₂	0,11	15	0,23	0,11
Oxyde ferrique Fe ₂ O ₃	0,97	<0,05	0,16	0,97

Les compositions de kaolin ou haute pureté s'avèrent sensiblement équivalentes, différenciées par une faible quantité d'impuretés de TiO_2 (< 2 %) et de Fe_2O_3 (1,0 %) présente dans le kaolin à l'état naturel. Ces deux compositions représentent de manière écrasante les FCR produites et vendues depuis leur introduction dans les années 1960. Au début des années 1980, la composition pour les hautes températures impliquant de la zirconie en substitut d'une partie de l'alumine à hauteur de 15 % de pourcentage pondéral a été introduite. En effet, l'addition d'oxyde de zirconie et de chrome stabilise la cristobalite et retarde ainsi l'entrée en phase liquide (Navy Environmental Health Center, 1997).

Ces trois compositions caractérisent la totalité des FCR sur le marché. Ces compositions n'ont pas connu de modifications significatives au cours du temps (ECFIA, 2005).

Lors de la préparation actuelle des matières premières, les opérations de pesage, de mélange, etc., sont généralement effectuées sous le contrôle d'un système automatisé avant le transfert dans le four.

Dans le four, le mélange est soumis à des températures allant de 1 540°C à 2 090°C. Lorsque le mélange atteint le bon degré de température et de viscosité, il s'écoule par un orifice du four puis est projeté sur un ensemble de roues en rotation (dans le cas du procédé par centrifugation) (*spinning process*) ou à l'intérieur d'un courant d'air (dans le cas du procédé par soufflage) (*blowing process*). Les producteurs français privilégient la première méthode de fabrication par centrifugation.

Les fibres produites sont ensuite dirigées vers un dispositif récepteur au moyen de ventilateurs.

La figure 7 illustre les deux procédés employés dans la production des FCR.

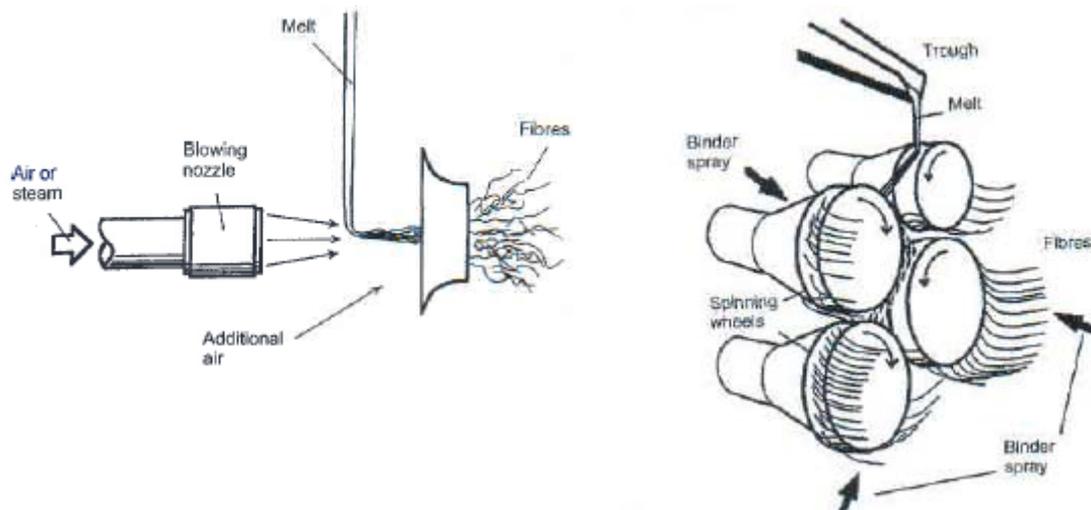


Figure N°7 : procédés de fabrication des FCR par soufflage (à gauche) ou par centrifugation (à droite) (TIMA, 1991)

Les fibres sont ensuite aspirées dans le dispositif récepteur (chambre de collection) par aspiration sous un tapis transporteur en formant un matelas de fibres. Si les FCR doivent être produites sous forme de nappe, le matelas de fibres est alors transporté automatiquement vers l'aiguilleuse. Sinon, la fibre en vrac est dirigée sur une presse afin d'être conditionnée et emballée en sac plastique, papier ou bottes.

Afin d'améliorer la résistance de la forme en nappe, le matelas de fibres passe dans une aiguilleuse, dans laquelle les fibres sont liées entre elles (liaison mécanique), et la « nappe » ainsi formée est comprimée jusqu'à atteindre son épaisseur définitive. Pour

permettre l'aiguilletage, un lubrifiant est pulvérisé sur les fibres. Le lubrifiant est éliminé de la nappe par calcination dans un four de cuisson.

La nappe est ensuite découpée à la taille voulue puis emballée. La plupart des entreprises utilise des massicots automatiques pour découper la nappe à la taille voulue. Certains industriels emploient des systèmes de conditionnement automatique alors que pour d'autres, les opérations d'enroulage et de conditionnement restent manuelles. Généralement, un ou deux employés sont nécessaires pour effectuer le conditionnement en boîte (ECFIA, 2005).

La nappe peut être vendue en rouleaux ou transformée ultérieurement en modules par exemple. La fibre en vrac destinée à être employée dans la préparation d'autres produits est envoyée vers un atelier de transformation (ECFIA, 2005). Ces matériaux sont retraités pour former d'autres produits tels que des modules, des feutres, des papiers, des panneaux, des pièces préformées, des mortiers, des colles, des bétons ou des textiles (tresses, tissus, bourrelets, ...) (Catani *et al.*, 2003).

La figure 8 présente les étapes majeures de la production de FCR.

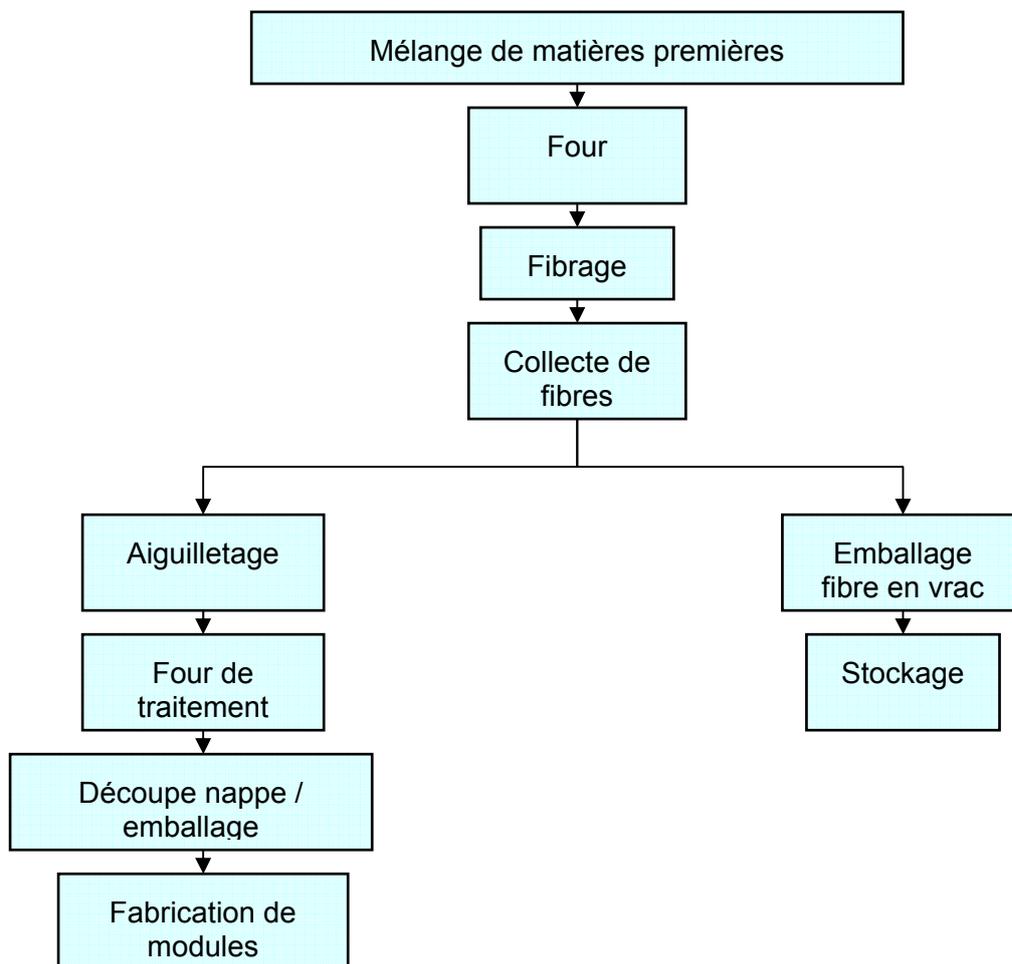


Figure N°8 : diagramme de flux du procédé de fabrication des FCR (ECFIA, 2005)

Note : la fibre en vrac et en nappe est utilisée comme matière première dans d'autres unités et processus qui ne sont pas représentés sur ce diagramme. Par exemple, la fibre en vrac est utilisée pour la fabrication de pièces et de formes moulées sous vide, de papier FCR, de mastic et de colles.

L'utilisation de ces différentes fibres dépend évidemment de l'application. La zircone est ajoutée typiquement afin d'améliorer la tenue des fibres aux hautes températures et accroître ainsi le caractère réfractaire de ces fibres (ERM, 1995).

L'élaboration des fibres en vrac (*bulk*) puis la confection de nappes de fibres non tissées (*blankets*) constituent la production primaire de FCR. Ces matériaux peuvent être vendus directement à un utilisateur professionnel ou à une société d'installation/ingénierie pour emploi tel quel. En aval, des produits dérivés de haute valeur ajoutée peuvent être élaborés à partir des fibres ou des nappes lors de retraitement (Inserm, 1999).

4.1.3 Propriétés physico-chimiques

Les FCR se différencient des autres isolants haute température essentiellement par leurs caractéristiques thermiques, notamment leur résistance aux températures extrêmement élevées (entre 1 000 et 1 450 °C), leur faible conductivité et leur faible capacité calorifique (Maxim *et al.*, 1998). De même, les FCR se différencient des autres matériaux réfractaires par le fait qu'elles sont synthétiques, inorganiques, non métalliques et vitreuses (amorphes plutôt que cristallines). Par ailleurs, elles se présentent sous forme de laine (et non pas sous forme de filament continu) et sont à base d'oxydes (plutôt que de fluorures ou de carbures par exemples) (ECFIA, 2005).

Les FCR, constituées d'un agrégat de fibres sans orientations particulières, ont un aspect blanc cotonneux. Les procédés de fabrication conduisent à des fibres présentant une gamme variée de longueurs (quelques micromètres à plusieurs centimètres) avec parfois des étranglements. Des particules non fibreuses (*Shot*) sont inévitablement produites lors de la fabrication des FCR et peuvent représenter 40 à 60 % en poids du matériau (Inserm, 1999). Le CIRC estime que, lors de la production, la teneur en particules non fibreuses est comprise, approximativement, entre 20 et 50 % du poids (CIRC, 2002). Les FCR contiennent le moins possible d'alcalins et alcalino-terreux, considérés comme des impuretés pour ces types de fibres. C'est en effet cette absence d'alcalins et alcalino-terreux qui leur confère leur résistance à de très hautes températures (ECFIA, 2005).

Les figures 9 et 10 présentent les températures maximales d'utilisation continue pour les FCR et d'autres fibres ou matériaux isolants.

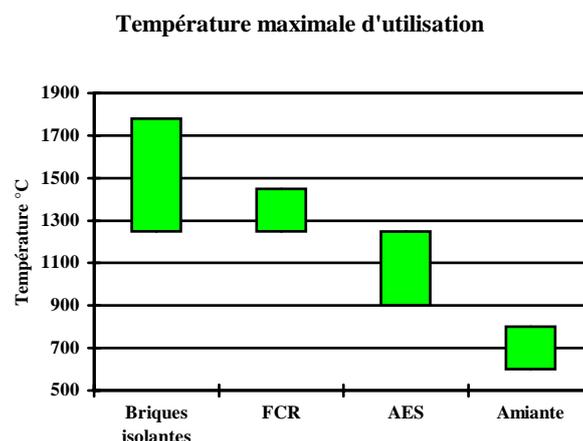


Figure N°9 : intervalles de températures d'utilisation des FCR et autres matériaux (ECFIA, 2005)

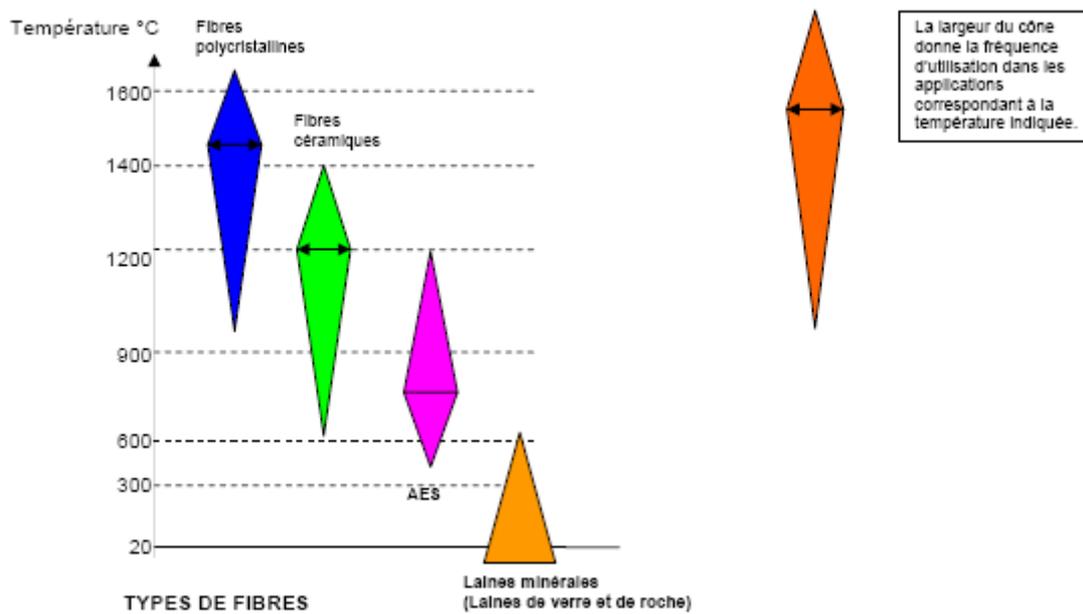


Figure N°10 : intervalles de températures et fréquence d'utilisation des FCR et autres fibres (ECFIA, 2006b)

La longueur des fibres, leur diamètre et la densité, contrôlés à différents degrés par le processus de production et la composition chimique, affectent les propriétés physiques des FCR comme la conductivité thermique (CIRC, 2002). Le tableau VII rappelle les principales caractéristiques physico-chimiques de ces fibres.

Tableau N°VII : caractéristiques physiques des FCR (Inserm, 1999; Navy Environmental Health Center, 1997)

Caractéristique	Valeur
Point de fusion	1740-1800°C (2 600 °C pour la zircone)
Densité	2,6-2,7 g/cm ³
Module d'élasticité (CPa)	70-110
Indice de réfraction	1,55 - 1,57
Particules non fibreuses (<i>shots</i>)	40-60 % du poids
Diamètre moyen	1,2 – 3 µm
Longueur moyenne	2 – 254 µm

Dans la catégorie des FMA, les FCR sont parmi les fibres les moins solubles dans le milieu biologique, elles sont dites biopersistantes (Inserm, 1999). Sous l'action de la chaleur à des températures supérieures à 1 000°C, les FCR recristallisent et forment de la cristobalite (silice cristalline) et de la mullite. Cette dévitrification est d'autant plus importante que la température est élevée (Catani *et al.*, 2003).

Le tableau VIII présente les divergences entre les propriétés physico-chimiques des FCR et celles de l'amiante chrysotile et des amphiboles.

Tableau N°VIII : comparaison des FCR avec l'amiante chrysotile et les amphiboles (adapté de Catani et al., 2003)

Propriétés	FCR	Amiante chrysotile	Amiante amphiboles
Diamètre moyen des fibres	1-3 µm	0,1-1µm	0,1-1µm
Longueur des fibres	Quelques microns à quelques centimètres	Quelques microns à quelques centimètres	Quelques microns à quelques centimètres
Diamètre des fibrilles	Pas de fibrilles	0,02 µm	0,08 à 1 µm
Type des cassures	Transversales	Longitudinales en fibrilles de diamètre inférieur	Longitudinales en fibrilles de diamètre inférieur
Résistance à la température °C	1 260 1450 si zircon	550	700 - 800
Masse volumique (g/cm ³)	2,6-2,7	2,5	3,2
Conductivité thermique	faible	faible	faible
Chaleur spécifique	faible	faible	faible
Résistance chimique	Aux acides	Aux bases	Aux acides
Résistance aux chocs thermiques	bonne	bonne	bonne
Résilience et flexibilité	bonne	bonne	bonne

La comparaison entre les FCR et les amphiboles semble plus pertinente étant donné la faible résistance aux hautes températures du chrysotile. Par ailleurs, avant l'interdiction de l'amiante, les amphiboles étaient utilisées comme isolants pour les hautes températures.

La dimension de la fibre en vrac dépend, entre autre, de la méthode de fibrage. Typiquement, le diamètre moyen de la fibre produite par soufflage est inférieur au diamètre moyen de la FCR produite par centrifugation (CIRC, 2002).

La figure 11 montre de façon représentative la répartition du diamètre des FCR, qu'elles aient été produites par soufflage ou par centrifugation. Les diamètres moyens pondérés par la longueur s'échelonnent entre 2 µm et 3 µm pour les fibres centrifugées et entre 1,20 µm et 1,60 µm pour les fibres soufflées (ECFIA, 2006b).

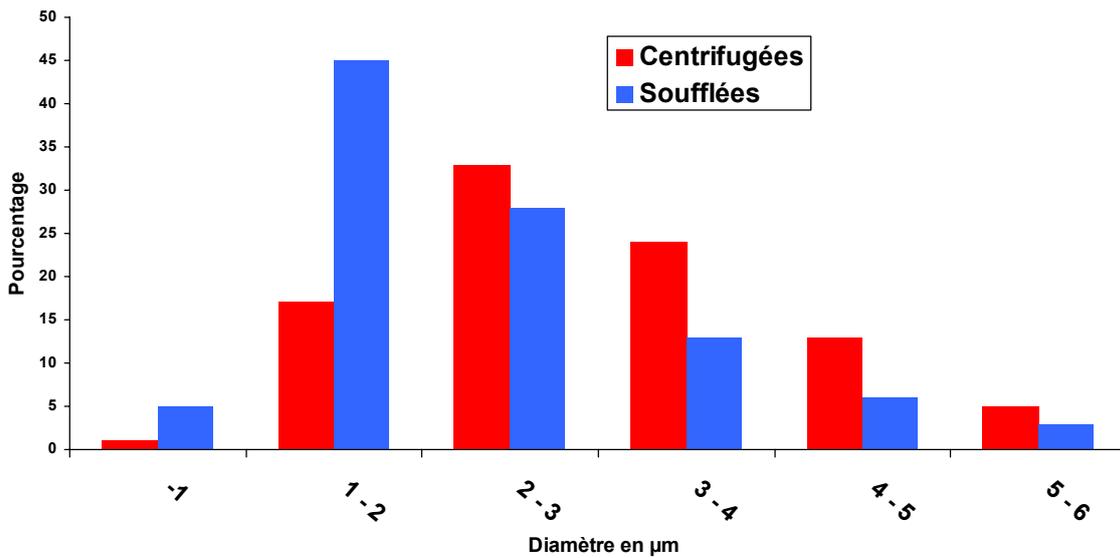


Figure N°11 : histogrammes comparant les diamètres de FCR en vrac produites par centrifugation ou par soufflage (ECFIA, 2005)

A titre indicatif, la figure 12 présente les diamètres des FCR préparées et destinées aux tests expérimentaux. Ces fibres ne sont en aucun cas commercialisées et découlent d'une sélection et d'une préparation minutieuse destinées à obtenir des fibres inhalables en expérimentation, explicitant ainsi la forte proportion de fibres ayant un diamètre entre 0 et 1 µm. Le diamètre moyen de la fibre préparée à partir d'un échantillon produit par soufflage reste également inférieur au diamètre moyen de la FCR obtenue à partir d'un échantillon par centrifugation.

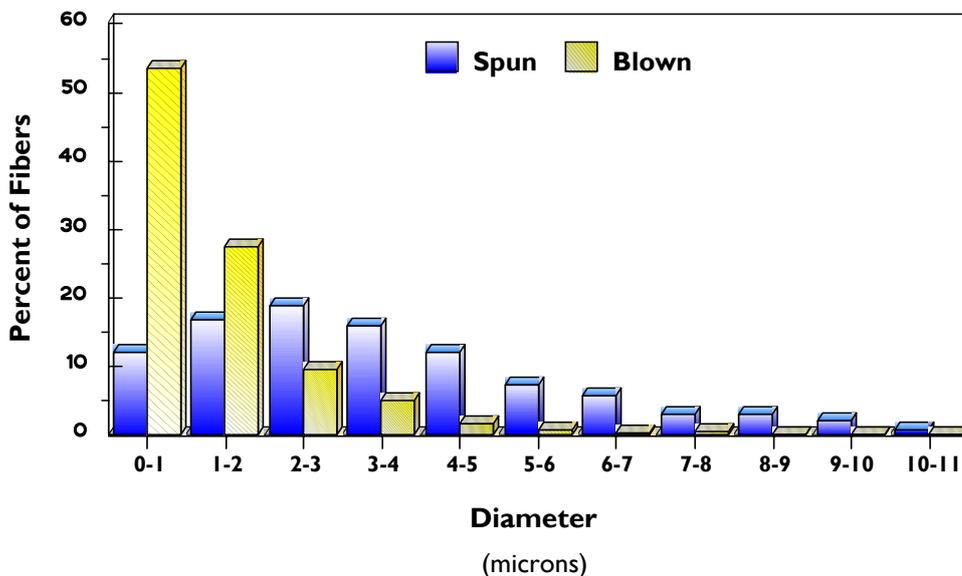


Figure N°12 : histogrammes comparant les diamètres de FCR en vrac produites par centrifugation ou par soufflage et destinées uniquement aux tests expérimentaux (ECFIA, 2005)

Le tableau IX présente des diamètres moyens pondérés par la longueur pour deux échantillons de FCR en sortie de production et le pourcentage pondéral de particules.

Tableau N°IX : diamètre de deux échantillons de FCR et pourcentages associés de particules non fibreuses (CIRC, 2002)

Produit	Diamètre des fibres (μm)		Particules (pourcentage par poids)
	Moyenne	Déviat ion standard	
FCR	3,8	2,8	20
	2,4	2,2	43

Les échantillons de produits contenant des FCR analysés par Christensen *et al.* (1993) présentent pour les diamètres, par MOCP, une moyenne arithmétique entre 2,3 et 3,7 μm , une moyenne géométrique entre 1,5 et 2,8 μm et, par MEBA, une moyenne arithmétique entre 2,4 et 3,8 μm et une moyenne géométrique entre 1,7 et 2,8 μm (Navy Environmental Health Center, 1997).

Le diamètre apparaît capital et conditionne largement le caractère respirable de la fibre. Au contraire, la longueur dépend de l'usage final, du vieillissement et varie entre quelques micromètres et quelques centimètres. Pour autant, Maxim *et al.* (1997) rapportent les intervalles de longueurs mesurées expérimentalement pour les FCR.

Tableau N°X : statistiques relatives à la dimension des FCR (Maxim *et al.*, 1997)

Statistiques relatives à la dimension des fibres	RCF1 expérimentales	Echantillons sur site
Nombre de fibres comptées	203	3357
Fractions de fibres définies par une longueur > 20 μm	41 %	34 %
10 μm < longueur < 20 μm	21 %	30 %
0 μm < longueur < 10 μm	37 %	36 %
Diamètre inférieur à 3 μm	99 %	99 %

Les FCR présentent une très grande résistance aux agents chimiques (CHSPF, 2003) et résistent à l'oxydation, la réduction et la corrosion. Elles sont cependant sensibles aux attaques de certains acides et d'alcalins concentrés (Navy Environmental Health Center, 1997).

Commentaires du groupe de travail :

Les différents spectres granulométriques définissant les diamètres des FCR s'expliquent par diverses raisons, notamment la nature de l'échantillon étudié (fibres en sortie de production, dans le matériau, après usinage ou en suspension dans l'atmosphère de travail), la méthode d'analyse retenue (MOCP, META ou MEBA) et le paramètre utilisé afin de définir le diamètre (diamètre géométrique, arithmétique, pondéré ou non par la longueur...). Par ailleurs, les fibres ne se définissent pas comme des cylindres réguliers et homogènes mais peuvent présenter des étranglements modifiant ainsi légèrement le diamètre.

La figure 11 présente la distribution des diamètres des FCR produites. Il est à noter que cette distribution diffère de la distribution des diamètres de FCR mesurées dans l'atmosphère (les fibres dans l'air ont des diamètres beaucoup plus faibles). A titre indicatif, les dimensions des fibres, mesurées en atmosphère de travail et citées dans l'article de Maxim *et al.* (2000), indiquent que la majorité des fibres ont un diamètre inférieur à 1 μm , une moyenne arithmétique des diamètres de 1,05 μm (écart-type 0,64), une moyenne géométrique de 0,84 (écart-type géométrique 2,05).

En conclusion, il paraît nécessaire d'indiquer systématiquement les méthodes analytiques, le paramètre utilisé et l'origine des fibres (sortie de production ou en suspension dans l'air) ; le diamètre pouvant varier de manière conséquente selon les conditions d'étude.

4.1.4 Les additifs et liants

Pour les laines de verre et de roche, des huiles et autres lubrifiants peuvent être additionnés aux laines durant le traitement pour réduire la production de poussières du produit. Un liant organique peut être appliqué sur les laines immédiatement après la formation des fibres afin de maintenir les fibres sous forme de masse spongieuse. Ce liant est habituellement une résine formol-phénolique dans une solution aqueuse, laquelle, après séchage tend à se concentrer à la jonction des fibres, mais recouvre aussi partiellement chaque fibre. D'autres additifs appliqués sur les laines peuvent inclure des agents antistatiques, des agents d'élasticité, des stabilisants, et des inhibiteurs de micro-organismes. Depuis quelques années, une alternative aux résines formol-phénoliques a été utilisée comme les résines mélamines ou acryliques.

Le liant contenu dans les laines d'isolation reste quantitativement faible, mais pour de fortes densités de produit on peut atteindre 25 % de la masse totale. Certains produits exempts de tous liants ; ils sont utilisés soit pour une application dans laquelle l'intégrité des fibres de laine n'est pas nécessaire ou dans le cas où cette intégrité est obtenue par d'autres moyens, comme l'encapsulation dans une gaine de plastique. Classiquement, les lubrifiants sont pulvérisés sur ces fibres immédiatement après leur fabrication pour les protéger de dommages mécaniques durant le traitement et les utilisations ultérieures (CIRC, 2002).

Les fibres peuvent être traitées par liants (ensimage) ou de l'huile. Cette dernière a été utilisée pour la première fois dans les années 1930 et les liants ont été introduits progressivement dans différentes usines au cours des années 1940 et 1950. La composition des liants varie et peut comprendre bitumes, urée-formaldéhyde, formol-phénoliques et acétates. Certains types de laines appliquées par soufflage, ainsi que les textiles tissés, sont fabriqués uniquement avec un lubrifiant et ne reçoivent pas de liant comme les fibres de verre à usage spécial.

4.1.4.1 Les additifs

Des oxydes, comme l'oxyde de zirconium (ZrO_2) de bore (B_2O_3) ou de titane (TiO_2) sont parfois rajoutés afin de modifier les caractéristiques physiques des FCR produites. La composition peut interférer sur la température d'utilisation (ECFIA, 2005).

4.1.4.2 Les liants

Le liant se définit comme un produit chimique éventuellement associé aux fibres en cours de fabrication pour leur conférer une texture adaptée à l'application à laquelle elles sont destinées et/ou pour éviter la libération de poussières en cours d'usage (Inserm, 1999).

Dans de nombreux produits contenant des FCR, il n'y a pas de liant et les fibres sont tenues entre elles par des procédés mécaniques (ex : aiguilletage). Les liants organiques ne résistent pas aux très hautes températures mais peuvent être utilisés comme liant intermédiaire facilitant la manipulation et réduisant les émissions de poussières. Lorsqu'il existe, le liant peut être de l'acrylique (papier et joints), de l'amidon (tenue à froid), du kaolin, de l'argile ou de la silice (tenue mécanique à chaud) (ECFIA, 2005).

Les panneaux, les feutres ou les pièces de forme nécessitent initialement des liants afin d'agglomérer les fibres et les découper. Le liant organique disparaît après passage dans le four.

Les liants sont d'origine organique et inorganique :

- les liants organiques regroupent l'amidon, les résines formol-phénoliques (< 10 % en poids) et les résines acryliques (polymère d'éthyl-acrylate) (< 15 % en poids) pour les basses températures ;
- les liants inorganiques regroupent la silice et silicates, la silice colloïdale et l'argile.

Concernant les liants finaux présents dans les produits, leur nature et leur quantité varient selon l'usage. Pour les applications domestiques, l'article ne contient pas de résines mais seulement de l'amidon. Les produits FCR contenant des résines formol-phénoliques sont utilisés principalement pour la fabrication de joints, les produits contenant des résines acryliques pour les applications papier (ECFIA, 2006b).

L'annexe 4 propose une liste non exhaustive des produits à base de FCR commercialisés par l'ECFIA en indiquant le fabricant, l'appellation commerciale et la composition notamment les liants et leurs teneurs pondérales.

4.1.5 Producteurs de FCR

En Europe, les principales usines étaient localisées en Grande-Bretagne, Allemagne, France et Italie (et accessoirement, Autriche, Pologne et République Tchèque). En 1993, les parts de marché pour l'Europe de l'Ouest se répartissaient de la façon suivante (Inserm, 1999):

- Thermal Ceramics : 35 % ;
- Carborundum : 29 % ;
- Kerlane : 21 % ;
- Rath : 5 % ;
- Divers : 10 %.

Un millier d'employés était réparti dans les entreprises Kerlane et Carborundum (groupe St Gobain), Thermal Ceramics (groupe Morgan Crucible) et la société Rath. Depuis 1979, ces sociétés ont coordonné leurs actions en matière d'hygiène et de sécurité dans le cadre de l'ECFIA (Inserm, 1999).

Le cadre a évolué et la production européenne actuelle des laines d'isolation pour les hautes températures se répartit au sein de 4 groupes industriels (Catani *et al.*, 2003), dont :

- **Unifrax** (anciennement Carborundum et Kerlane) fabrique des FCR et des AES ; la société Unifrax possède une usine de fabrication en France et une en Angleterre, mais connaît une implantation ubiquitaire notamment par la présence de sites de

fabrication aux Etats-Unis, Inde et Brésil et des sites de transformation en France, Angleterre, Allemagne, Etats-Unis, Inde et Brésil.

- **Thermal Ceramics** (groupe Morgan Crucible) fabrique des FCR et des AES. Cette société possède une usine de production en France, une en Angleterre et une en Pologne. En dehors de l'Europe, Thermal Ceramics produit également aux USA, au Canada, en Amérique du Sud, en Afrique du Sud, en Chine, en Corée, au Japon, en Inde et en Australie. Thermal Ceramics possède également 2 usines de transformation en France ainsi qu'aux Etats-Unis, au Canada, en Amérique du Sud, en Australie et en Corée.

Ces deux entreprises concurrentes avec la société Rath basée à Vienne en Autriche, Kera-Union en République Tchèque et Dyson (Saffil) se sont regroupées au sein de l'ECFIA, association représentant les industries européennes productrices de laines d'isolation à haute température. L'ECFIA existe depuis 25 ans et siège à Paris.

Les sociétés Unifrax et Thermal Ceramics représentent environ 90 % de la production européenne des FCR et des AES.

- **Rath** : entreprise autrichienne fabrique en Allemagne des FCR et des fibres polycristallines.
- **Kera-union** : entreprise tchèque, fabrique des FCR.
- **Saffil** : entreprise anglaise, fabrique des fibres polycristallines (Saffil®).

En France, Thermal Ceramics et Unifrax exploitent deux sites de production et 3 sites de transformation de FCR et d'AES.

Les principales laines d'isolation haute température (LIHT) fabriquées par les membres de l'ECFIA sont:

- Les fibres céramiques réfractaires (FCR) (1250 et 1430°C) ;
- Les laines de silicate alcalino-terreux (AES) (1100 et 1250°C) ;
- Les fibres polycristallines (FPC) (1430 et 1600°C).

A titre indicatif, les principaux producteurs américains regroupent A.P Green Industries, Unifrax Corporation, Thermal Ceramics et Vesuvius. Les trois derniers représentent approximativement 90 % de leur marché national (NIOSH, 2006).

4.1.6 La production

La FCR a été inventée en 1942 par J. C. « Charlie » McMullen (ECFIA, 2005). Elle a d'abord été produite aux États-Unis dans les années 1940 pour l'industrie aérospatiale (CIRC, 2002) et commercialisée aux USA dans les années 1950, lorsque des méthodes ont été mises au point afin de convertir les FCR en diverses formes de produits, notamment nappes, feutres, panneaux, papiers, toiles, et divers câbles et formes tressées. La production de FCR en Europe a démarré au milieu des années 60 (ECFIA, 2005). La commercialisation des FCR a augmenté durant les années 1970 quand l'élévation du coût de l'énergie a créé une large demande pour la production de laines minérales (CIRC, 2002). Les crises énergétiques ou chocs pétroliers des années 1970 (1973 et 1978-1979) ont encouragé l'utilisation de ces fibres comme substitut plus efficace et rentable que les briques réfractaires (ECFIA, 2006b). Dans les années 1970, le taux de croissance de la production mondiale était de 10 à 15 % par an. Ce taux s'était stabilisé entre 4 et 5 % en Europe dans les années 90, avant de décliner au milieu de la décennie.

4.1.6.1 La production mondiale

Les FCR connaissent une production internationale incluant l'Allemagne, l'Australie, le Brésil, le Canada, la République Tchèque, la France, l'Inde, l'Italie, le Japon, la Corée du Sud, la Malaisie, le Mexique, la Pologne, l'Afrique du Sud, Taiwan, le Royaume-Uni, les Etats-Unis et le Venezuela (Maxim *et al.*, 1998).

La FCR est un produit d'isolation réfractaire cloisonné dans un marché niche et le volume annuel produit mondialement est relativement faible. Le tableau XI présente une estimation de la capacité de production de FCR par régions et par pays pour l'année 1990.

Tableau N°XI : estimation de la capacité de production des FCR par régions du monde et pays en 1990 (CIRC, 2002)

Région du monde	Pays	Capacité de production (milliers de tonnes)	Pourcentage du sous total	Pourcentage du total
Asie de l'est et Océanie	Australie	3,10	11,0	2,0
	Inde	3,50	12,4	2,2
	Japon	17,50	62,1	11,0
	Malaisie	0,9	3,2	0,6
	République de Corée	2,30	8,2	1,4
	Taiwan, Chine	0,9	3,2	0,6
	Sous total		28,2	
Europe	Ex Tchécoslovaquie	1,6	3,0	1,0
	France	21,5	39,8	13,6
	Allemagne	7,9	14,6	5,0
	Hongrie	1,2	2,2	0,8
	Italie	1,5	2,8	0,9
	Pologne	2,2	4,1	1,4
	Espagne	1,6	3,0	1,0
	Royaume-Uni	15,0	27,8	9,5
	Ex Yougoslavie	1,5	2,8	0,9
	Sous total		54,0	
USA et Canada	Canada	2,0	4,3	1,3
	Porto Rico	2,75	6,0	1,7
	USA	41,4	89,6	26,1
Sous total		46,15		29,1
Amérique latine	Brésil	4,75	51,1	3,0
	Mexique	3,8	40,9	2,4
	Vénézuéla	0,75	8,1	0,5
Sous total		9,3		5,9
Autre	Chine	7,5	35,7	4,7
	Afrique du Sud	3,5	16,7	2,2
	Ex Union Soviétique	10,0	47,6	6,3
Sous total		21,0		13,2
Total		158,65		100,0

Pour l'année 1999, la production mondiale de FMA approchait les 8 millions de tonnes (ECFIA, 1999). Les FCR représentaient 1 à 2 % de cette production soit 160 000 tonnes au niveau mondial et 50 000 tonnes au niveau européen. En 2000, le marché mondial des FCR était estimé entre 150 000 et 200 000 tonnes par an ; le marché était divisé approximativement à parts égales entre l'Amérique, l'Europe et le reste du monde (CIRC, 2002).

Le tableau XII illustre, aux Etats-Unis, les importations et les exportations relatives aux FCR à la fin du 20^{ème} siècle.

Tableau N°XII : import/export aux Etats-Unis de FCR (ATSDR, 2004)

	Import (quantité en kilo)	Export (quantité en kilo)
1998	26 677 254	21 567 397
1999	23 552 712	11 044 364
2000	28 520 534	16 464 014
2001	24 191 899	12 054 960

4.1.6.2 La production européenne

La production des fibres céramiques a débuté en Europe à la fin des années soixante ; en 1986, sept usines européennes, réparties en France, en Allemagne et au Royaume-Uni en assuraient la production (Cowie *et al.*, 2001).

En 1997, la production européenne de fibres s'élevait approximativement à 42 000 tonnes (0.15 % de la production totale de l'industrie du verre) issues principalement des sites français et anglais. L'ECFIA estime que les exportations européennes de fibres brutes ou de produits susceptibles d'en contenir s'avèrent certainement supérieures aux importations. Par ailleurs, le nombre de transformateurs s'est réduit de 100 représentants en 1992 à 76 en 1994.

Etant donné le coût lié au transport, les importations européennes restent faibles (ERM, 1995), principalement en provenance du Mexique et de la Chine. Le marché semble s'inscrire dans un contexte plus régional et la majorité de la production européenne de FCR s'adresse aux pays régionaux. Au contraire, les produits secondaires peuvent faire l'objet d'une exportation importante. De manière similaire, la majorité des industries utilisatrices s'approvisionne auprès des producteurs européens. Ce déficit d'échanges internationaux s'explique par deux raisons majeures :

- L'ubiquité relative des matières premières ;
- La faible densité des produits décourageant le transport sur de longues distances (ERM, 1995).

Les estimations en termes d'activité divergent au niveau européen et au niveau français. En effet, l'Allemagne était plus impliquée dans les fours alors que la France s'orientait plus vers l'électroménager (ECFIA, 2006b).

Le tableau XIII présente une estimation de la balance des échanges commerciaux de FCR pour les états membres de l'Union Européenne en 1995 (ERM, 1995).

Tableau N°XIII : balance des échanges commerciaux de FCR pour les états membres de l'Union Européenne en 1995 (ERM, 1995)

Pays	Importation nette (millions d'ECU)	Exportation nette (millions d'ECU)
Autriche	1,21	
Belgique	2,33	
Danemark	0,86	
Finlande	0,65	
France		22,51
Allemagne	14,2	
Grèce	0,08	
Irlande	0,17	
Italie	0,92	
Luxembourg	0,02	
Pays-Bas	2,16	
Portugal	0,84	
Espagne	4,24	
Suède	1,68	
Royaume-Uni		22,36
Norvège (extérieure)	1,02	

Les importations européennes s'élèvent entre 5 et 10 %, notamment pour les pays situés au centre et à l'est. Environ 50 000 tonnes de FCR sont utilisées annuellement en Europe dont 12 000 tonnes en France (Catani *et al.* 2003) (l'ECFIA indique que ce volume définit les laines d'isolation haute température et comprend également les laines AES).

4.1.6.3 La production française

Jusqu'en 1990, la capacité de production française était de 21 500 tonnes par an ce qui correspondait à 40 % de la production européenne et à 13,6 % de la production mondiale, les Etats-Unis étant le plus gros producteur.

Les quantités de FCR présentes sur le territoire français paraissent difficilement évaluables. En effet, les usines françaises exportent actuellement environ 80 % de leur production. Une partie des fibres, destinée à la filière aval, est importée d'autres pays. De plus, les fibres peuvent être exportées à l'étranger puis revenir sur le marché français sous forme d'articles finis.

Depuis 1994, la production annuelle française de FCR a fortement diminué et se situait aux environs de 7 500 tonnes par an en 2004. La production d'AES a fortement progressé depuis les années 90 pour atteindre 14 000 tonnes en 2004, soit 65 % de la production totale de fibres d'isolation haute température. En 2005, la commercialisation des AES « deuxième génération » devrait infléchir davantage le niveau de production des FCR au cours des prochaines années.

Tous les industriels auditionnés s'accordent et soulignent les difficultés pour obtenir des données françaises et rétrospectives par secteur d'activité. La fermeture des sites et leurs délocalisations ainsi que la fusion des groupes industriels ont provoqué une dilution des données et il semble plus pertinent de se reposer sur la mémoire individuelle.

La figure 13 résulte d'un consensus entre les producteurs français portant sur une estimation de l'évolution de la production nationale de FCR depuis les années 1960. Le graphique illustre la croissance de la production française marquée par trois périodes. Les deux premières, consécutives aux chocs pétroliers de 1973 et de 1978, révèlent une augmentation brutale de la production. En effet, l'augmentation du coût de l'énergie a induit un renforcement de l'isolation destinée à limiter les dépenses. La dernière inflexion reflète la décroissance des FCR depuis 1993 et la substitution d'abord naissante puis croissante des laines AES.

Par ailleurs, les données transmises par les douanes, concernant l'importation et l'exportation, ne permettent pas d'identifier distinctement les FCR ou les produits contenant ces fibres étant donné la codification utilisée par les services de contrôle. En effet, les chiffres relatifs aux produits paraissent difficilement exploitables puisque les FCR sont incluses dans le produit et ne sont pas explicitement indiquées. Enfin, les FCR sous forme de fibres en vrac, nappes, textile... apparaissent diluées au sein d'une classe générique représentant les mélanges et ouvrages destinés, entre autre, à l'isolation thermique.

La Direction Générale de la Concurrence, de la Consommation et de la Répression des Fraudes (DGCCRF) ne dispose pas d'éléments chiffrés en matière de volume de vente pour les FMA.

Production de FCR et AES en France

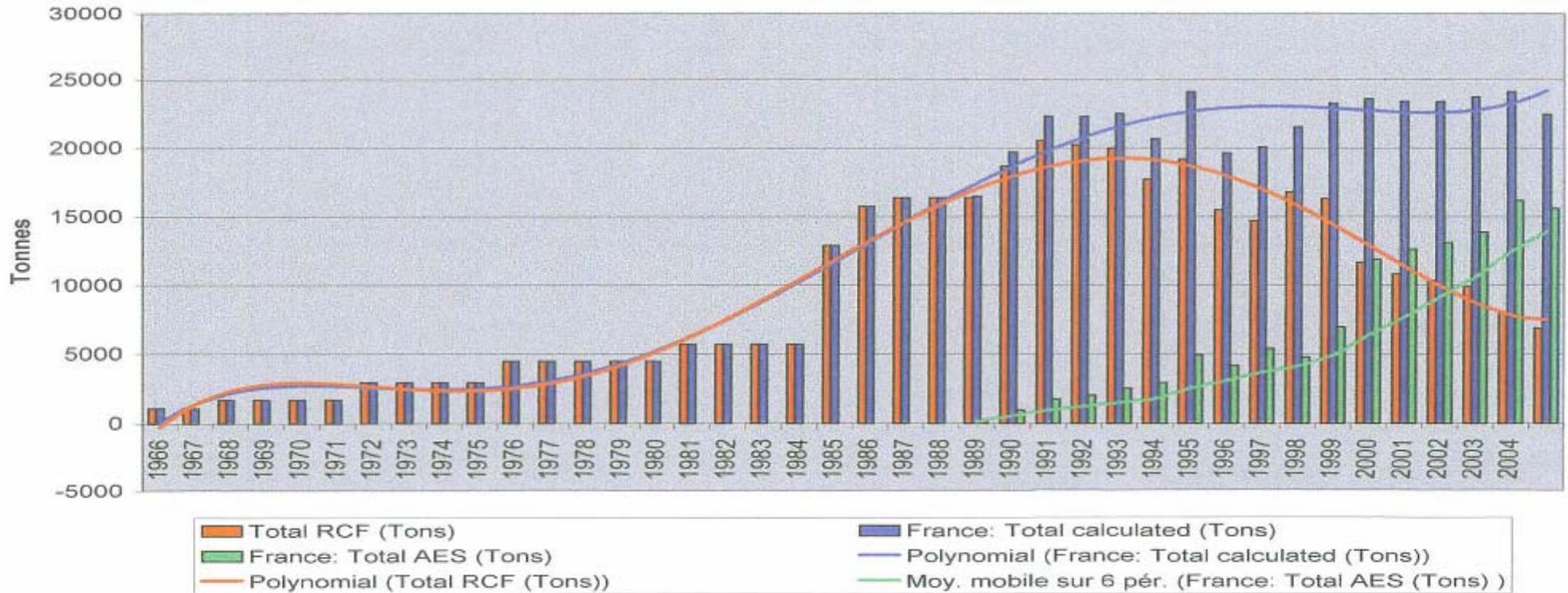


Figure N°13 : production de FCR et AES en France (ECFIA, 2005)

4.1.7 Les transformateurs de FCR

Les FCR produites sous forme brute ou nappes peuvent être utilisées :

- Pour la conversion par le producteur ou une industrie aval sous forme de produits commerciaux à valeur ajoutée. Les producteurs français concentrent cette double activité de fabrication et de conversion. Ils représentent la majorité du marché de transformation ;
- Pour la vente à destination de l'utilisateur final ;
- Pour la vente à une société d'ingénierie ou d'installation.

Il existe donc une cascade d'intermédiaires entre le producteur et l'utilisateur final ; notamment les transformateurs, les entreprises de maintenance ou les fabricants de produits destinés à l'utilisateur final.

La fabrication de produits réfractaires dans l'Europe des quinze reste la plus importante avec une production de 4,6 millions de tonnes en 2001, dont l'industrie allemande apparaît le principal protagoniste. La finalité de ces FCR s'oriente principalement vers la production d'acier et de fer pour 65 % puis la production de ciment, de verre, de céramique entre 5 et 8 % et le reste pour la métallurgie, la production d'énergie, l'industrie chimique, pétrochimique et l'incinération. Le tableau XIV présente la fabrication des produits réfractaires pour l'Europe des quinze entre 2001 et 2002.

Tableau N°XIV : production de produits réfractaires au sein de l'Union Européenne (EIPPCB, 2005)

Etat	Production en 2002 (en tonnes)
Allemagne	931
Autriche (2001)	710
Italie	556
France	524
Espagne	417
Royaume – Uni	204
Pays nordiques (2001)	147
Grèce (2001)	33
Portugal	23
Benelux	Pas de données

La figure 14 souligne les étapes du cycle de vie des FCR et les multiples intervenants possibles au cours de la production, la conversion, l'installation, l'utilisation et le retrait des FCR.

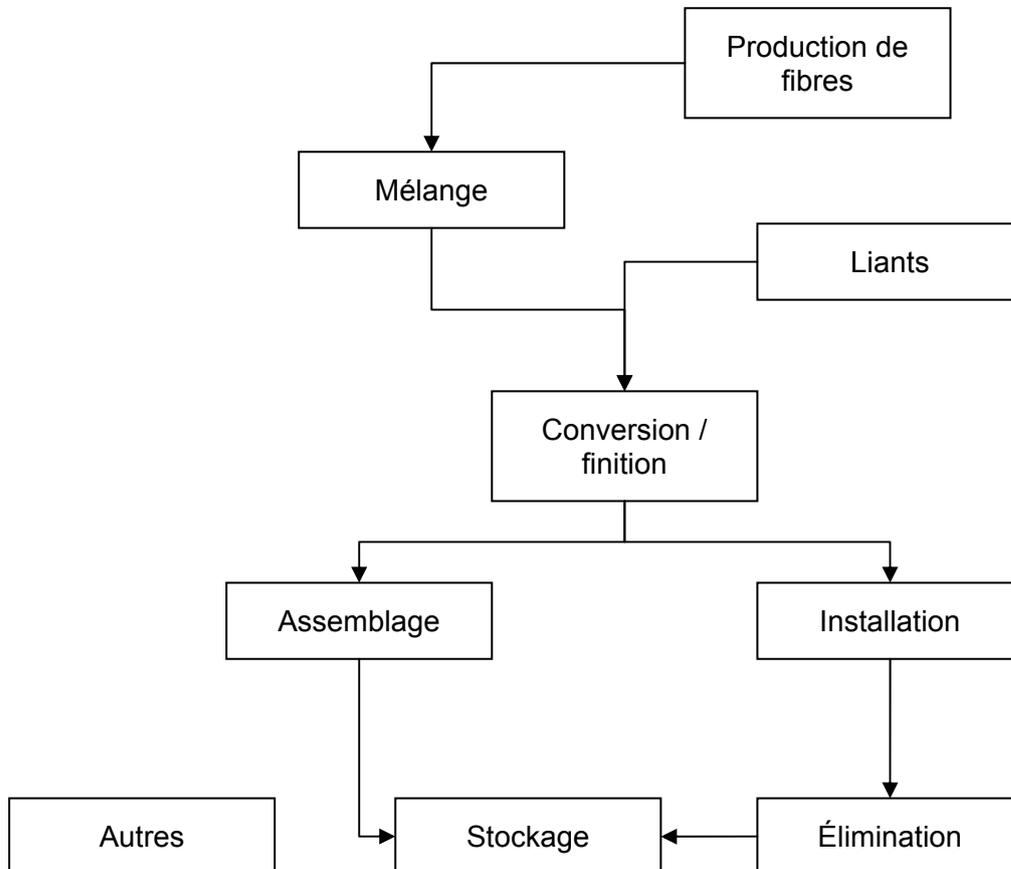


Figure N°14 : production et devenir des FCR (ERM, 1995)

4.1.8 Les utilisateurs de FCR

4.1.8.1 Utilisation selon leur présentation

Les FCR restent principalement utilisées dans des applications industrielles pour l'isolation thermique de fours industriels, de hauts fourneaux, de moules de fonderie, de tuyauteries, de câbles pour la fabrication de joints, mais également dans des applications automobiles, aéronautiques et dans la protection incendie. Les FCR sortent des usines de fabrication soit en vrac, soit sous forme de nappes.

- **Vrac** : la fibre brute d'aspect cotonneux ne présente aucune modification et sert de matière première pour les applications aval ou se retrouve utilisée comme telle dans des usages mineurs (remplissage des vides et joints de dilatation). Les fibres en vrac sont utilisées pour la fabrication de pièces moulées (modules, coquilles), de panneaux, de cartons, de feuilles ou de mastics. Ces fabrications se font en général en milieu humide. Les fibres sont incorporées aux autres composants dans des appareils type mélangeurs ou pulpeurs, puis mises en forme par laminage, ou compression dans des moules. Les opérateurs peuvent être exposés aux fibres lors du chargement des appareils, de la manipulation des sacs de fibres, y compris des sacs vides, et lors du nettoyage des appareils. Une fois secs, les panneaux, les feuilles ou les pièces peuvent être découpés,

ébavurés et manutentionnés exposant ainsi les ouvriers concernés aux fibres. A signaler que certains pré-mélanges peuvent être réalisés à sec, comme dans le cas de la fabrication des matériaux de friction qui peut faire appel à des fibres céramiques incorporées dans des résines avec d'autres charges complexes. La FCR en vrac est vendue sous des noms commerciaux tels que Cerachem®, Cerafiber®, Fiberfrax, Kaowool et Alistra.

- **Nappes aiguilletées** : un matelas de fibres brutes est converti par aiguilletage en nappes (sans liants la plupart du temps). Les aiguilles permettent un enchevêtrement cohérent des fibres en nappes. Ces dernières peuvent se voir pliées, compressées et encapsulées afin de produire des modules. Les nappes peuvent servir de revêtements isolants pour les parois de fours, de réacteurs ou de cogénérateurs. Dans ce cas, elles peuvent être mises en œuvre directement, sans transformation particulière. Elles sont en général livrées en rouleaux, découpées au ciseau ou à l'aide d'outils de type cutter, puis positionnées manuellement, tassées et éventuellement maintenues par des picots ou des agrafes. Ainsi, la FCR est vendue sous forme de nappes sous divers noms commerciaux tels que Cerablanket, Duraback, Durablanket, LO-CON blanket et Alistra-Mat.

Les FCR sortent des usines de fabrication, soit en vrac, soit sous formes de nappes. L'élaboration des fibres en vrac (*bulk*) puis la confection de nappes de fibres non tissées (*blankets*) constituent la production primaire de FCR. Ces matériaux peuvent être vendus directement à un utilisateur ou à une société d'installation/ingénierie pour emploi tel quel. En aval, des produits dérivés de haute valeur ajoutée peuvent être élaborés à partir de fibres et de nappes lors de retraitement (Catani *et al.*, 2003).

- **Modules** : les modules servent directement à l'isolation sans manipulation particulière avec des structures plus ou moins complexes. Les modules de FCR sont vendus sous divers noms commerciaux tels que Anchor-Loc, Z-Block et Alistra-Mod.
- **Panneaux et pièces de formes** : les panneaux composites rigides contiennent, outre les fibres, des charges et des liants. Les noms commerciaux sont par exemple : Altratherm, Ceraboard, Duraboard, Kerform, Altraform, Kerasetter et Kerheat.
- **Feutres** : ces composites flexibles contiennent souvent du latex. Les noms commerciaux sont par exemple Cerafelt, Durafelt, Duraset, K-shield felt, Kaowool Flexi-felt, Lo-Con Felt, Spacefelt et Kerform.
- **Formes vides** : ces articles présentent parfois des structures complexes produites à partir de fibres mélangées avec des charges et des fibres dans une suspension aqueuse. Elles sont ensuite mises en forme par vide avec élimination concomitante de la majorité de l'eau. Après séchage et finition, les articles sont prêts à l'installation sans modification notable.

L'ECFIA rappelle l'usage de produits mineurs, notamment :

- **Ciment et mastic** : ils sont régulièrement vendus sous forme de mélanges prêts à l'emploi. Les noms commerciaux sont Fiberfrax, LDS-AL Moldable, Fyre Putty et Kerathin.
- **Textiles (vêtements, cordes, fils)** : une quantité anecdotique de FCR se retrouve convertie sous cette forme. En effet, les fibres en vrac sont aussi utilisées pour la fabrication de fils et de tissus. Dans ce cas, elles sont cardées puis tressées et bobinées. Les fils obtenus peuvent ensuite être repris pour la fabrication de bourrelets, ou tissés, pour la fabrication de tissus mis en œuvre ultérieurement. L'exposition des opérateurs est possible à tous les stades de ces fabrications.

Les pièces ou les matériaux issus de ces premières transformations comme les panneaux, les feuilles, les cordonnets, les tresses sont ensuite usinés. Ces phases d'usinage comprennent diverses opérations libérant des fibres (par exemple : le sciage, la découpe, le fraisage, le rainurage, le perçage). L'assemblage des pièces contenant des FCR peut être réalisé à l'aide de courroies, agrafes, rubans, colles et fixations métalliques (Catani *et al.*, 2003).

Ainsi, la FCR est vendue sous différentes formes : en vrac, en nappes aiguilletées, sous forme de modules (pour une fixation plus facile dans les fours), de panneaux et pièces de formes, feutres, mastic, calfeutrages et ciments réfractaires. Il convient de noter que certains produits comme le vrac, les nappes aiguilletées et les modules ne contiennent que des FCR alors que d'autres produits (les feutres, panneaux et pièces de formes) contiennent d'autres matières (ECFIA, 2005).

Dans tous les cas, ces travaux peuvent exposer aux fibres. Ils produisent aussi des déchets, dont la manipulation et le transport sont des sources d'exposition potentielle aux FCR.

La figure 15 illustre la multiplicité des formes disponibles sur le marché.



Figure N°15 : présentation des FCR sous diverses formes (ECFIA, 2005)

Le tableau XV présente les applications principales inhérentes au type de produit commercialisé et l'associe au type d'utilisation et une estimation du pourcentage de ventes en France.

Tableau N°XV : principales applications des formes de FCR en Europe et aux USA (ECFIA, 2005)

Type de produit	Applications principales	Type d'utilisation	Estimation du % des ventes (France)
Nappes aiguilletées et modules	Isolation de fours et de fours tunnel	Isolation long terme	50
	Joints de dilatation	Isolation long terme	
	Revêtements isolants	Isolation court terme	
	Protection feu	Isolation long terme	
Fibres en vrac	Joints de dilatation	Isolation long terme	20
	Matière première pour pièces de forme	Isolation long/court terme	
	Joints d'étanchéité de base de four	Isolation long terme	
Panneaux	Joints de dilatation	Isolation long terme	10
	Isolation back-up pour fours et fours tunnels	Isolation long terme	
	Isolation de paroi de fours et chaudières	Isolation long terme	
	Ecran thermique	Isolation long terme	
Papier	Isolation thermique	Isolation long terme	4
	Isolation électrique	Isolation long terme	
	Back-up réfractaire	Isolation long terme	
	Isolation de lingotières	Isolation court terme	
	Filtration haute température	Isolation long/court terme	
Pièces de forme	Isolation de paroi de fours	Isolation long terme	15
	Isolation de composants de fonderie	Isolation long/court terme	
	Matrices métalliques pour moteurs	Isolation long terme	
	Renforcement de pistons	Isolation long terme	
Textiles	Bouchage de fissures	Isolation long terme	1
	Isolation composite pour l'aérospatiale	Isolation long/court terme	
	Rideaux thermiques	Isolation long terme	

L'annexe 5 présente une liste exhaustive des applications actuelles des diverses formes de FCR avec notamment les usages substitués par les laines AES.

4.1.8.2 Les acteurs

L'usage des FCR a évolué au cours du temps notamment pour les applications domestiques. En effet, la représentation liée à ces applications s'élevait entre 20 et 30 % à la fin des années 1980 en raison de l'utilisation importante destinée à l'isolation des chaudières et accessoirement des fours à pyrolyse ou des plaques vitrocéramiques. Elle se limite actuellement à 2 % (application dans les chaudières au sol). La classification des FCR en tant que substance cancérigène, leur coût et l'apparition d'alternatives ont réduit l'usage de ces fibres au secteur industriel dans le domaine de l'isolation à hautes températures. Par ailleurs, des écrans thermiques à base de FCR ont été commercialisés pour différents usages (soudeurs...).

Le tableau XVI présente les principaux secteurs industriels impliquant des FCR dans leur procédé industriel et propose une présentation succincte et générale de l'usage de ces fibres dans les secteurs industriels concernés.

Tableau N° XVI : présentation générale des applications des FCR par secteur d'activité (ERM, 1995)

Secteur industriel	Isolation thermique	Protection incendie	Usages spécifiques
Pétrole	✓	✓	✓
Pétrochimie	✓	✓	✓
Chimie	✓	✓	✓
Acier	✓	✓	✓
Traitement thermique	✓	✓	
Métaux non-ferreux	✓	✓	
Verre	✓	✓	
Céramique	✓	✓	
Fonderie	✓	✓	
Ciment	✓	✓	
Forge	✓	✓	
Construction	✓	✓	
Automobile	✓		✓
Aérospatiale, Aviation	✓	✓	✓
Défense	✓	✓	✓

4.1.8.3 Domaines d'applications

La figure 16 illustre les domaines d'applications français des FCR en 1994 et en 2004. En effet, les estimations au niveau national et antérieures aux années 1990 semblent complexes à réaliser selon l'ECFIA. Les producteurs soulignent que ce diagramme repose sur des estimations (en supposant une utilisation française de 6500 tonnes en 1994 et de 2 500 tonnes en 2004 (ECFIA, 2006b)) et présente l'évolution des domaines d'application

durant la dernière décade. En effet, la diminution des applications domestiques a renforcé la représentation de l'isolation traditionnelle dans les fours industriels. La lecture de cette figure doit évidemment s'appuyer sur les tonnages produits au cours de ces années.

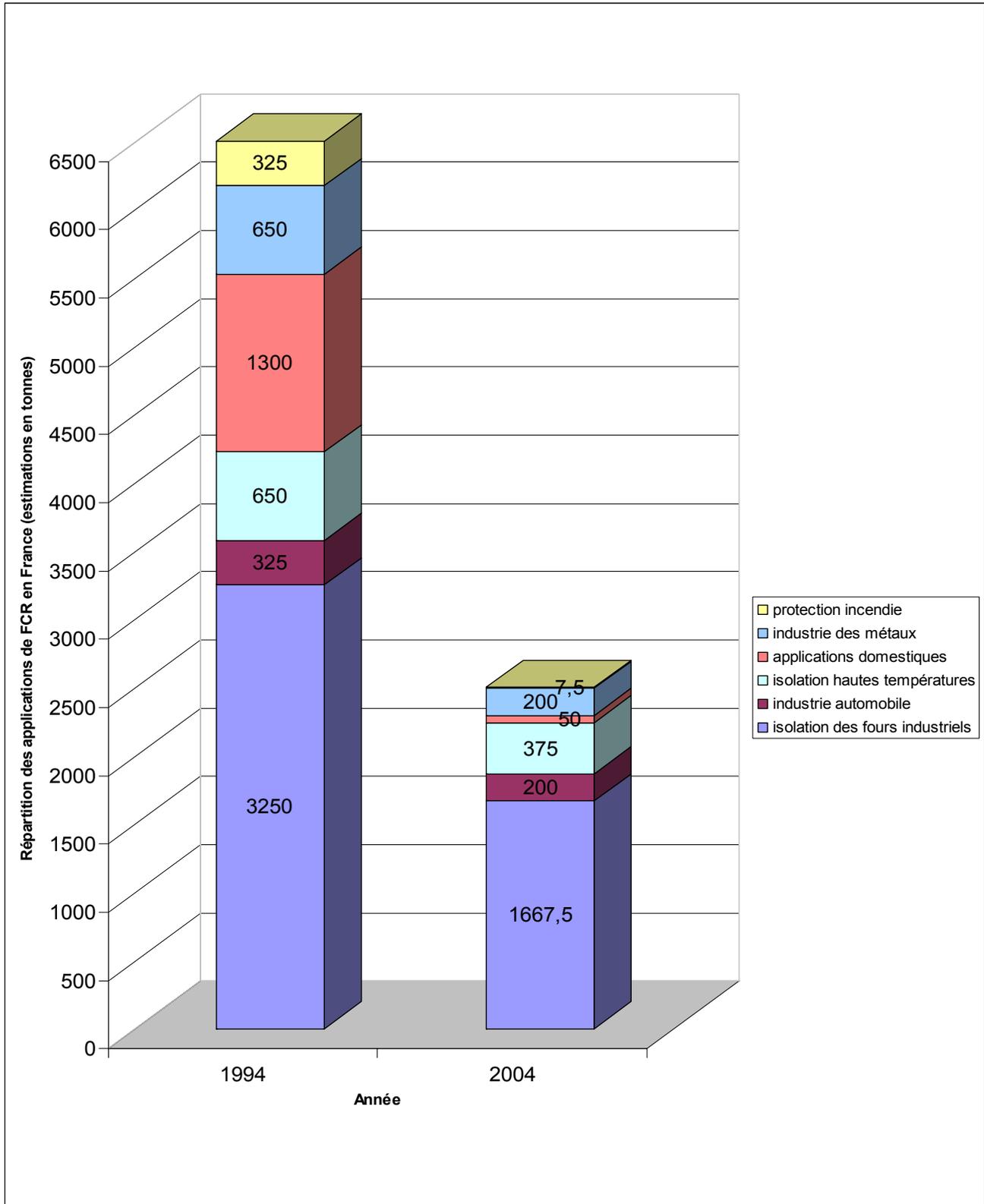


Figure N° 16 : estimation de l'évolution des quantités et du domaine d'applications des FCR en France (1994 et 2004) (d'après ECFIA, 2006b)

L'isolation des fours industriels regroupe par ordre décroissant d'importance les secteurs de l'acier et des métaux ferreux, du verre et de la céramique, de la chimie et de la pétrochimie, des métaux non-ferreux et finalement de l'énergie et autres procédés industriels.

Le tableau XVII issu de l'expertise collective de l'Inserm (1999) révèle les mêmes tendances d'application.

Tableau N°XVII : le marché Européen des FCR par application (CIRC, 2002; Inserm, 1999)

Application	Proportion du marché (%)
Garnissage des fours industriels ou de hauts fourneaux	50
Isolation des appareils de chauffage industriels ou domestiques	20
Métallurgie (garnissage des moules, lingotières recevant du métal)	10
Automobiles	5
Protection incendie	5
Isolation industrielle générale	10

Les données sur le marché et les applications des FCR dans d'autres régions du monde ne sont pas facilement disponibles, mais elles sont probablement similaires à celles de l'Europe et des USA (CIRC, 2002).

Applications industrielles

Le domaine industriel utilise actuellement 99 % de la production des FCR. Les FCR sont principalement utilisées pour l'isolation thermique de fours industriels (durée de vie : 15 ans environ), de hauts fourneaux, de moules de fonderie, de tuyauteries ou de câbles pour la fabrication de joints. Des consommables peuvent être fabriqués, par exemple des cônes servant à stopper une coulée de métal en fusion dans l'industrie de la métallurgie et de la fonderie (Catani *et al.*, 2003; ECFIA, 2005). Les FCR permettent également d'isoler des chaudières industrielles, de même que des conduits et toute pièce industrielle atteignant des températures extrêmement élevées. Les FCR restent plus adaptables que les briques isolantes lors de leur utilisation dans des fours industriels avec une montée et une baisse en température du four beaucoup plus rapides ; ce qui permet des économies d'énergie et une plus grande souplesse d'utilisation (arrêt du four le week-end).

Le revêtement des fours et applications annexes restent donc la principale finalité des FCR. En effet, ces fibres ont graduellement substitué les réfractaires conventionnels tels que la brique réfractaire en raison de leurs meilleures propriétés physico-chimiques et leur coût réduit lors d'une maintenance ou d'un total ou partiel retrait de matériaux usagés. Les techniques spécifiques utilisées lors du retrait dépendent du type de matière réfractaire et des dimensions du four (Maxim *et al.* 1999).

La figure 17 illustre le revêtement d'un four industriel par des FCR.



Figure N°17 : présentation du revêtement d'un four par des FCR (ECFIA, 2005)

Constructeurs de fours

Il existe une multitude de constructeurs spécialisés suivant les spécifications souhaitées par les domaines d'activité. Cette partie propose les données recueillies auprès de quelques industriels auditionnés.

Stein Heurtey, principal acteur sur le marché français, est une entreprise qui fournit dans le monde entier des équipements thermiques à usage professionnel, essentiellement des fours dans les secteurs du verre, de la métallurgie et de l'acier (fours de réchauffage et lignes). C'est donc en tant que concepteur et constructeur de fours industriels et de brûleurs qu'il a été contacté. A titre d'exemple, les fours destinés à la fabrication de l'acier sont d'un gabarit important : 40 m de haut, 30 de long et 5 à 6 m de large et servent à finaliser la fabrication de panneaux en tôle galvanisée grâce à un traitement thermique adéquat. Il existe quelques sites en Europe (France, Belgique, ...) principalement pour la confection de tôles pour les automobiles. La galvanisation à chaud consiste à immerger des pièces manufacturées en acier dans du zinc liquide. Le revêtement de zinc couvre les deux faces de l'acier ainsi que l'intérieur et l'extérieur des corps creux. Il forme avec l'acier un alliage résistant et durable qui protège de la corrosion. Stein Hurtey diversifie également son activité dans le domaine de l'environnement avec la conception de fours de traitement pour les déchets industriels spéciaux.

Les FCR utilisées pour l'isolation des fours se présentent sous forme de panneaux, de feutres, de nappes ou de modules. Pour Stein Hurtey, l'activité de garnissage d'un four en matériau isolant représente à peine 20 % du travail technologique.

Les FCR sont utilisées principalement sous forme de nappes empalées sur des tiges soudées (picots ou tiges soudées au Casing). Une fois l'isolant installé, l'ensemble du four destiné à la galvanisation (intérieur et extérieur) est recouvert d'une tôle en inox initialement pour des raisons de performance et non de sécurité en évitant ainsi toute émission de fibres au cours du fonctionnement. Le recouvrement date d'une vingtaine d'années et, au préalable, les fours n'étaient pas protégés par cette tôle.

Lors de la fabrication du four, que ce soit en France ou à l'étranger, les composants sont achetés à des sous traitants locaux, Stein Hurtey ne fait que superviser l'activité de montage, assemblage et installation. Stein Hurtey travaille principalement à l'export, la France n'est concernée que par 24 % des activités. Le travail en Asie est accompagné d'autres contraintes environnementales. Comme signalé précédemment, tout le matériau est fourni sur place.

La quantité de fibres isolantes utilisées dépend de la taille du four. En Chine où la tendance est à la construction de fours énormes, environ 200 tonnes de FCR par four sont utilisées. En Europe où l'utilisation des FCR est réglementée, celles-ci ont été substituées par des laines AES de première et de seconde génération représentant une quantité maximale de 90 tonnes/fours. Depuis 1998, Stein Hurtey nous informe qu'il n'a installé aucun four en Europe avec un système d'isolation contenant uniquement des FCR.

Néanmoins, l'utilisation des FCR reste incontournable au niveau de la voûte du four où la température est très élevée (1100°C). Cela concerne actuellement quelques kilogrammes soit 500 à 600 kg principalement sous forme de modules.

Ainsi, les FCR continuent d'être utilisées dans les fours pour la galvanisation de l'acier au niveau de la préchauffe à flamme nue (Non Oxydant Furnace) et servent à isoler une partie de la voûte lors des procédés de galvanisation. La partie située à l'entrée du four et recouverte de tôle en aluminium est faite en module fibreux.

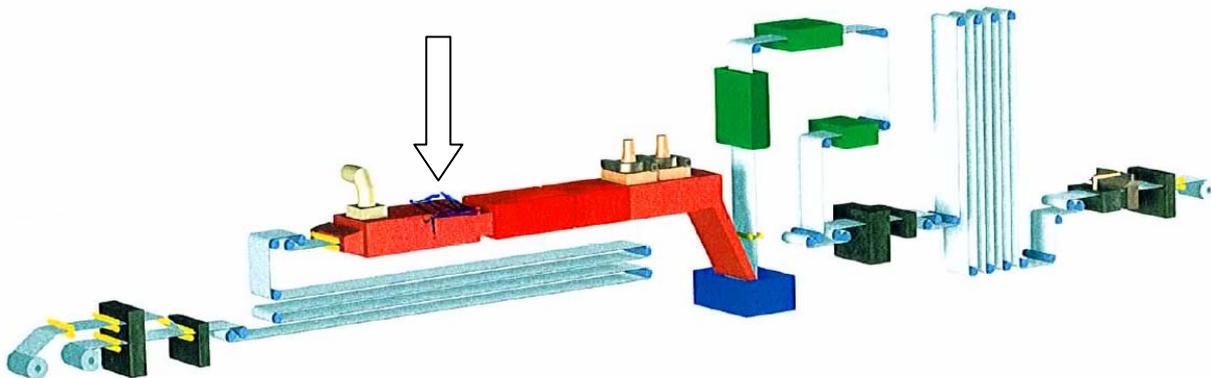


Figure N°18 : localisation actuelle des FCR sur une ligne de galvanisation de l'acier (Stein Hurtey, 2006)

Les adhérents du syndicat des équipements pour la Construction, Infrastructures, Sidérurgie et Manutention (CISMA) ont peu collaboré à notre enquête ; le syndicat s'est limité à apporter quelques précisions sur l'activité de ces membres. Le CISMA compte aujourd'hui près de 200 adhérents - PME, PMI et filiales de grands groupes – qui emploient 34 000 personnes en France. L'une des branches de ce syndicat concerne la métallurgie et regroupe les constructeurs d'équipements pour la fonderie, d'équipements pour la métallurgie et la sidérurgie, de fours et d'équipements thermiques industriels, dont les brûleurs et les résistances électriques. Cette activité concerne 18 adhérents résolument tournés vers l'international puisqu'ils exportent 71 % de leur production. Le CISMA indique que les FCR sont employées dans les fours industriels depuis maintenant plus de 25 ans notamment pour l'isolation thermique des parois intérieures. Il s'agit le plus souvent de blocs préformés ou de nappes, découpés selon les besoins. Il est également possible d'en trouver, mais pas de manière systématique, comme protection de certains composants thermiques tels que les brûleurs.

Le CISMA souligne que l'analyse des informations statistiques officielles relatives aux fours industriels ne permet pas de connaître le nombre de fours fabriqués (mis sur le marché tant en France qu'à l'étranger) ou utilisés en France (dans le cadre des importations).

Le CISMA rappelle que la notion de « série » dans les fours industriels n'est généralement pas usitée, chaque four ayant ses caractéristiques propres avec des dimensions et des quantités de FCR variables. Rares sont les entreprises françaises vendant des fours sur catalogue. En règle générale, le fabricant répond à un cahier des charges très précis de l'acheteur. En effet, les résultats attendus d'un cycle thermique déterminé (traitements thermiques, réchauffage, ...) sont très variables et dépendent essentiellement des matériaux à traiter : les caractéristiques techniques mises en œuvre au regard de l'isolation sont donc variables.

Le CISMA souligne, en contradiction avec les propos de certains industriels auditionnés, que les retours recueillis auprès de ses adhérents montrent que ceux-ci informent leurs clients de la présence de FCR dans les équipements fournis. Plusieurs niveaux d'information ont cependant pu être relevés.

- Le 1^{er} niveau correspond tout naturellement à la demande formulée par le cahier des charges du client, imposant de ne pas utiliser de FCR. En règle générale, les propositions formulées par les fabricants informent le client, le cas échéant, de la présence de telles fibres lorsqu'il n'a pas été possible de trouver une solution de substitution,
- Des informations sur la présence, et éventuellement leur retrait, de composants comportant des FCR peuvent avoir été données par le biais de la notice d'instruction,
- Enfin, certaines entreprises ont informé leurs clients, ou leur ont rappelé, que le produit qui leur avait été fourni, contenait des composants incluant des FCR. La liste de ces composants était transmise et des solutions de remplacement (le cas échéant) étaient indiquées.

CERIC, leader mondial dans l'équipement d'usines pour la fabrication de matériaux de construction en terre cuite, a été contacté dans le cadre de la saisine pour son activité de construction de fours pour tuiles, briques et céramique.

CERIC est la seule entreprise en France à fabriquer ce type de four, en moyenne 3 par an et environ 25 par an à l'international. A côté de cela, il propose une activité de rénovation de fours qui reste assez marginale. CERIC peut éventuellement être chargé de démanteler le four. Les données collectées sont développées dans les chapitres correspondants.

Industrie des métaux ferreux

Les fondeurs de France, appuyés par le Centre Technique Industriel de la Fonderie (CTIF) et consécutivement à une demande de l'Afsset, ont initié une enquête auprès de leurs adhérents et certaines entreprises non adhérentes afin de réaliser un point sur les applications et les pratiques liées aux FCR dans le secteur français de la fonderie. Les réponses concernent 10 % des 300 entreprises sollicitées et, par conséquent, n'apparaissent pas représentatives pour ce secteur. Les représentants eux-mêmes rappellent une limite dans la fiabilité des données collectées. En effet, certaines entreprises méconnaissent les FCR, notamment leur nature, leur localisation, leur toxicité et ne les distinguent pas d'autres types de fibres. Enfin, étant donné la multidisciplinarité, chaque entreprise apparaît unique par la technique et les moyens de production. Les industriels soulignent la nécessité de différencier les FCR encoffrées et, par conséquent, peu accessibles et les fibres consommables. La première catégorie concerne principalement les fours avec une période de maintenance variant entre 10 et 15 ans. La traçabilité semble restreinte et l'installation, la maintenance et le retrait sont fréquemment sous-traités. Ainsi, les industriels semblent peu renseignés. Les consommables représentent les matériaux contenant des FCR, définis par un renouvellement régulier et manipulés par les travailleurs au cours de leur activité. Ces matériaux concernent les couvertures du chenal de coulée, les conduites d'air, les plaques diverses...

Les FCR sont principalement utilisées en fonderie en tant qu'isolant thermique, notamment :

- Le garnissage des fours de traitement thermique (1 000°C),
- Le garnissage des fours de fusion électrique,
- Le garnissage des fours de fusion à gaz,
- La couche isolante des fours de maintien,
- Le caisson isolant pour maîtriser le refroidissement des pièces (700 °C),
- La couverture du chenal de coulée (1 200 °C), des conduites d'air chaud (1 000 °C),
- Les plaques pour diverses applications (écran de protection, couvercle de poches (1 200°C), de fours...),
- L'isolation des outils tels que louches (1 500°C), wagonnets, creuset par nappes humides...

Le déroulement croissant de cette liste dévoile les applications impliquant le plus de FCR ; ainsi le garnissage des fours nécessite les plus grandes quantités de fibres. De même, la liste établit par ordre décroissant les applications demandant le plus de maintenance ou de renouvellement et nécessitant par conséquent de multiples manipulations ; ainsi les outils constitués de FCR apparaissent régulièrement renouvelés et manipulés. Les industriels auditionnés indiquent que le renouvellement des FCR intervient principalement soit de manière programmée (après chaque usage pour certaines applications ou de manière annuelle) ou lors de détériorations visibles avec des réfections ponctuelles sur l'isolation de certains fours.

Par ailleurs, en fonderie de précision, les moules sont constitués de barbotine à base de céramique. Pour la cuisson, le moule est ensuite emmailloté avec des bandes de FCR permettant de maîtriser la solidification du métal lors du refroidissement, point déterminant pour la qualité de la pièce.

Les formes employées concernent principalement les rouleaux, les panneaux ou les nappes pour des applications quotidiennes ou pérennes dans l'isolation de certains fours. Les fibres sous forme de vrac restent anecdotiques pour le remplissage des doubles parois des fours ou la fabrication de pièces moulées sous vide. Des matériaux sous forme de blocs de FCR sont assemblés afin d'isoler la voûte des fours. Enfin les FCR peuvent être utilisées sous forme de joints, de tresses (substitution de l'amiante) ou incorporées dans divers produits notamment les louches ou les godets.

Les Fondeurs de France déclarent que la maintenance des réfractaires inhérente aux fours de fusion et de traitement thermique est généralement sous-traitée à des entreprises extérieures, appelées réfractoristes ou fumistes.

Certains sites emploient plus de 50 équipements contenant des FCR. Les quantités annuelles varient évidemment selon l'activité et l'importance du site. Les réponses collectées évoquent des quantités par site s'échelonnant de l'ordre de dizaine de kilogrammes à plus de 2 tonnes pour l'année 2005.

Les quantités par équipement paraissent difficilement estimables en raison de l'hétérogénéité liée à la conception de l'équipement. A titre d'exemple, selon la nature, la conception et les dimensions du four, les quantités de FCR divergent largement.

La population susceptible d'être exposée directement ou indirectement paraît difficilement estimable, notamment en raison de l'intervention d'entreprises sous-traitantes et les Fondeurs de France ne peuvent se prononcer.

En fonderie, l'emploi des FCR a débuté dans les années 1980 avant d'atteindre un pic d'utilisation dans les années 1985-1990. Depuis 2000-2004, les fondeurs de France constatent une substitution naissante notamment pour les usages dénués de limites techniques, thermiques ou mécaniques dans des proportions actuellement non définies.

Industrie de l'acier

Le processus de transformation destiné à produire de l'acier s'exécute en trois étapes :

- Des matières premières à l'acier liquide avec pour finalité l'ajustement de la composition chimique de l'acier. Deux procédés : filière fonte et filière électrique,
- De l'acier liquide aux demi-produits : solidification de l'acier et ébauches de formes. Deux procédés : coulée continue et coulée en lingots,
- Des demi-produits aux produits finis : mise en forme et mise à dimensions par laminage, finitions diverses pour la vente. Deux familles de produits : les longs (poutrelles, barres, fils,...) et les plats (plaques, tôles en feuilles ou en bobines).

La filière est illustrée par un schéma explicite en annexe 6. L'Association Technique de Sidérurgie (ATS) au sein de la Fédération Française de l'Acier (FFA) rappelle que cette activité recourt à un ensemble de techniques qui, pour produire de l'acier, nécessite de hautes températures. L'isolation des structures destinées à diminuer les pertes de chaleur et maintenir une température à peu près constante, fait largement appel aux isolants en FMA et notamment les FCR.

Suite au classement des FCR comme substance cancérigène de catégorie 2, un groupe de travail pluridisciplinaire comprenant des médecins, des utilisateurs, des chercheurs et des spécialistes d'hygiène industrielle a été créé en septembre 1997 au sein de l'ATS. Le rapport consécutif aux travaux de ce groupe détaille la localisation des FCR, les quantités mises en place, l'estimation du nombre de personnes exposées (interne et externe), la présence d'équipements de protection individuelle, la formation du personnel, l'élimination des déchets, des mesures métrologiques...au sein de nombreux sites sidérurgiques (principalement Usinor à l'époque) et propose des pistes de gestion en termes de substitution et de prévention collective ou individuelle.

L'ATS indique que les FCR, employées depuis les années 1970, ont connu véritablement une croissance suite à l'interdiction de l'amiante puis les quantités ont brutalement diminué consécutivement au classement international de ces substances comme cancérigène et à la sensibilisation des professionnels suite à leur rapport.

Ainsi, en 1997, le groupe de travail recensait plus de 200 applications identifiées dans environ une centaine d'installations. Les FCR se localisaient dans les cokeries (variables selon les sites de 900 à 1 000°C), en agglomération, les hauts fourneaux, aciéries (couple

sécheur, couvercle poche de 1 000 à 1 300 °C), les fours de réchauffage (+++), les fours électriques (+++), les fours de métallurgie secondaires (+++), les poches de coulées (+++), fours de recuit base (900°C) (notamment les fours à cloche), continus, de traitement thermique, le laminoir à chaud, le parachèvement, les écrans thermiques...

En 1997, les quantités de FCR utilisées annuellement dans le groupe Usinor se sont révélées très importantes : de l'ordre de 100 tonnes de fibres en nappes, 6 000 bandes, 1 000 cartons, 2 000 feuilles, 11 000 plaques, 2 000 modules, 140 000 pièces moulées, des tresses et des cordons. Plus de 600 personnes manipulaient ces produits que ce soit en interne ou parmi le personnel sous traitant. 650 personnes travaillaient dans les secteurs environnant les zones d'utilisation des FCR. L'enquête a fourni également des indications sur l'importance de la formation donnée à toutes les personnes concernées à propos des précautions à prendre et aux protections individuelles à utiliser lors de la manipulation des FCR.

Les expositions potentielles aux FCR étaient multiples et concernaient l'aciérie électrique (le fondeur, le préparateur de poches, le maçon en aciérie, la démolition des poches, la préparation des masselottes, la coulée), la coulée continue (couleur, pocheur, oxycoupeur, préparateur du répartiteur), la métallurgie secondaire (opérateur, nettoyage, mise en place des joints fibreux, oxycoupage), le laminoir à chaud (décrassage du four de réchauffage, arrachage ou collage de fibreux, table de découpe)...

La réfection des fours est effectuée tous les 15 à 20 ans (réparation annuelle pour certains fours de cokerie), le changement des tresses est réalisé lors du constat de leur usure visuelle, ce remplacement est journalier pour certains fours de recuit cloche. Ainsi, le taux de renouvellement varie considérablement selon l'usage.

L'ATS, sollicitée dans le cadre de la saisine, a interrogé 3 sites sidérurgiques d'Arcelor afin de sonder les applications actuelles et restantes pour les FCR et estimer l'évolution de la substitution. Les FCR subsistent à plusieurs endroits, principalement des tresses pour les joints de porte et des nappes ou modules pour l'isolation des fours ; leur quantité est difficile à apprécier. Ces applications restent complexes à substituer en raison de leur tenue mécanique plus que de leur tenue thermique. Les localisations ci-dessous ont été notamment identifiées.

Dans les fours sous forme de nappes :

- Sur les rouleaux fours, sous forme de disques cartonnés pour le revêtement des cylindres convoyeurs,
- Dans les parois des fours (recuit ou à coke), sous forme de fibres en vrac,
- En protection externe des fours de recuit d'essai au labo, sous forme de nappes,

Sous forme de joints ou pour l'isolation dans les structures suivantes :

- Atelier agglomération : joints de compensateur,
- Cokerie : joints de colonnes montantes, joints assiettes barillets/têtes de cheval, joints de boîtes gaz, joints de cadres (substitution au rythme de 40/an),
- Train à bandes : cheminées au dessus des récupérateurs, caissons des récupérateurs, isolation intérieure des couveuses du parc à brames et des couveuses de la halle de meulage, sous l'habillage béton des longerons d'un des fours. Les tresses ont été utilisées pour la maintenance en roulement sur les 90 fours du site tous les 15 jours four par four.

La confédération européenne des industries du fer et de l'acier (Eurofer), interrogée par RPA, déclare que les applications référencées par l'ECFIA dans le tableau XXXII impliquent principalement des pièces de forme.

En outre, lors de la réfection complète ou partielle d'une paroi d'un four à coke, les parois adjacentes à la réparation sont maintenues chaudes et protégées par des nappes de FCR. Par conséquent, le maçon intervenant sur le four est protégé de la chaleur radiante émise par les parois voisines. L'application reste exceptionnelle en raison de l'espace restreint disponible pour l'ouvrier. Ce dernier peut effleurer la nappe lors de ses travaux. Eurofer indique que l'utilisation de briques réfractaires est inadaptée en raison de la maniabilité et l'espace minime (RPA, 2006).

Industrie des métaux non ferreux

La Fédération des Minerais, Minéraux Industriels et Métaux non Ferreux (FEDEM), regroupe les syndicats et organismes professionnels auxquels adhèrent les entreprises, soit en fonction des substances qu'elles produisent ou transforment (aluminium, cuivre, nickel, plomb, zinc...), soit en fonction de la nature de leurs activités (extraction de minerais ou minéraux industriels, fabrication de métal brut, affinage, recyclage et première transformation des métaux). L'activité se situe en amont de l'activité de fonderie et de sidérurgie et les produits fabriqués se destinent à de multiples secteurs dont l'automobile, l'aéronautique, le verre, la céramique, la chimie, l'agro-alimentaire... Cependant, certaines entreprises assurent toutes les étapes de l'extraction jusqu'à la fabrication de l'article fini. La FEDEM inclut une hétérogénéité d'entreprises en termes d'activité et de taille. Ainsi la fédération représente actuellement environ 150 entreprises françaises, soit 25 000 emplois directs.

Une consultation initiée par la FEDEM auprès de sites industriels susceptibles d'être concernés par l'usage des FCR a permis la collecte de 20 questionnaires (21 % de réponses). Les données ne se veulent pas représentatives et seuls 9 sites industriels indiquent explicitement employer des FCR au sein de leurs installations impliquées dans les activités suivantes :

- Traitement thermique des aciers,
- Fours de réchauffage de barres en aciers rapides, fours de recuit,
- Aciérie, fours de réchauffage avant forgeage ou laminage, et fours de traitement thermique,
- Production de silicium et ferro-silicium aux fours électriques par carbothermie et un laboratoire de recherche en carbothermie,
- Isolation thermique pour la mise en forme des alliages spéciaux et des fours de réchauffage et de traitement thermique,
- Isolation de fours de recuit pour fil de cuivre,
- Etanchéité des fours d'affinerie,
- Etanchéité et protection thermique sur fours (production électrodes graphiques, carbone),
- Fours de fusion et de maintien, outils dans une cristallerie d'art.

Le tableau XVIII est une synthèse des données collectées recensant de manière partielle une partie des usages de FCR. La description associe, pour chaque équipement, article ou matériau concerné, une estimation de la fréquence des opérations de maintenance, les critères de renouvellement, les formes retenues, l'éventualité d'une sous-traitance et d'une découpe locale avant la mise en œuvre.

Tableau N°XVIII : synthèse partielle des usages de FCR pour l'industrie des métaux non ferreux (FEDEM, 2006)

EQUIPEMENTS, ARTICLES ET MATERIAUX CONCERNES	Fréquence des opérations de maintenance	Critères de renouvellement des fibres	Sous traitement éventuel de l'opération	Conditionnement, à la réception, des fibres neuves	Découpe locale avant mise en œuvre
Fours de fusion (1 450°C)	Ponctuelle	Protection temporaire	Non	Nappe	Oui
Fours de maintien en température (1 100 à 1 300°C)	Trimestrielle, annuelle et réparation ponctuelle	Usure et détérioration	oui	Modules et nappes	Suivant type d'intervention
Fours de traitement thermique (1 100 à 1 300°C)	Mensuelle, annuelle et réparation ponctuelle	Usure et détérioration	Oui et non	Modules, nappes et panneaux	Oui et non
Caisson isolant	Annuelle	Usure, détérioration	oui	Nappes, panneaux	Oui
Chenal de coulée					
Conduites d'air chaud	Annuelle	Détérioration	oui	blocs	Non
Plaques diverses	Hebdomadaire	Remplacement à chaque opération pour les nappes	non	nappes	Non
Couvertures de poches, de fours	Annuelle	Usure, détérioration	oui	nappes	Oui
Consommables (louches, creusets)	Chaque fois que nécessaire	Usure ou détérioration	Non	Pièces de forme	Non
Joint des fours	Tous les 2 ans	Changement de types de fibres	Non	Tresse	Oui
Protection barres pour passage au four	fournée		Non	Papier FCR	Non
Ecran de protection thermique pour la mise en forme d'alliages spéciaux	Utilisation presque journalière selon fabrication	A chaque pièce matricée (détérioration)	non	En cartons et bidons	oui
Fours de recuit Tube (600°C)	Pas de maintenance périodique impliquant des opérations ou contact avec le calorifugeage	Pas de changement des fibres	Opération sur calorifugeage pouvant, le cas échéant être sous-traitée	Vrac	Non

Les données collectées développent peu d'informations sur les quantités annuellement employées au sein de chaque site ou inhérentes aux différents types d'équipements ou d'articles. Selon la FEDEM, les applications principales concernent les fours de maintien en température et les fours de traitement thermique ou de recuit. D'autres usages plus restreints incluent les caissons isolants, les conduites d'air chaud, les plaques de protection thermique, les couvertures de poches et de fours, les consommables et les joints de four. A noter une application particulière qui consiste à appliquer un liquide contenant des FCR sur des pièces avant cuisson et matriçage.

Industrie du verre

La fédération des chambres syndicales de l'industrie du verre en coopération avec l'institut du verre a consulté 15 sociétés verrières adhérentes représentant l'essentiel de l'activité française. Les activités et par conséquent l'utilisation de FCR, les quantités employées et la substitution varient considérablement d'une entreprise à une autre.

De manière générale, il existe environ 50 usines de taille conséquente sur le territoire français regroupant de 100 à 8 000 personnes par site. L'industrie du verre reste diverse et rend difficile la collecte d'informations, les activités concernent :

- Le verre plat (bâtiment, automobile...),
- Les fils de verre (laine de verre et filament continu),
- Le verre creux (bouteilles, flacons, bocaux, gobeletterie en particulier la verrerie de table),
- Le verre technique (lunetterie...).

Lors de la production de produits verriers, la température du four est proche de 1 550°C dans la zone de fusion (alors que le mélange vitreux fond à une température de 1 250°C). Le four est constitué d'une cuve destinée à contenir le verre et recouverte d'une voûte, ces deux structures (cuve et voûte) sont en matériaux réfractaires résistant à de hautes températures. La cuve, de profondeur d'environ 1 à 1,5 m, est constituée de blocs réfractaires posés sans liant ; l'étanchéité étant assurée par le verre se figeant dans les joints.

Le feeder est le canal de transition entre le four et la ligne de production. A la température de sortie du four (1 500°C), le verre est relativement fluide, il est donc nécessaire de le refroidir lors du cheminement dans le feeder (1 100°C) pour le rendre plus visqueux et ainsi pouvoir le mouler. À l'extrémité des feeders, la coulée de verre est transformée, à l'aide de ciseaux automatiques, en gouttes de verre, appelées paraisons, correspondant à la masse de verre en fusion nécessaire à la confection du produit. La température de la paraison se situe entre 1 100°C et 1 300°C. Le verre doit être transformé rapidement car, à partir de 750°C, il perd sa plasticité. La paraison arrive dans le moule ébaucheur où elle est compressée et pré-percée à l'aide d'un poinçon puis transférée dans un moule finisseur où elle prendra sa forme finale grâce à une injection d'air comprimé.

A la sortie de la chaîne de production, la température du verre s'élève à 650°C, celui-ci doit être amené progressivement à température ambiante pour éviter la formation de tensions internes. Le produit fini passe alors sous l'arche, tunnel dont la première partie se trouve à une température de 500°C permettant de réchauffer l'extérieur du produit et donc d'équilibrer la température entre l'intérieur et l'extérieur. Dans la seconde partie de l'arche, la température diminue lentement pour éviter la formation de nouvelles contraintes.

Lorsque le produit doit résister à de fortes contraintes, on procède à une trempe thermique (ou chimique). Ce procédé permet, en créant une compression de la surface du matériau, d'augmenter sa résistance à la flexion, à la pression, à la torsion mais également aux chocs thermiques et mécaniques.

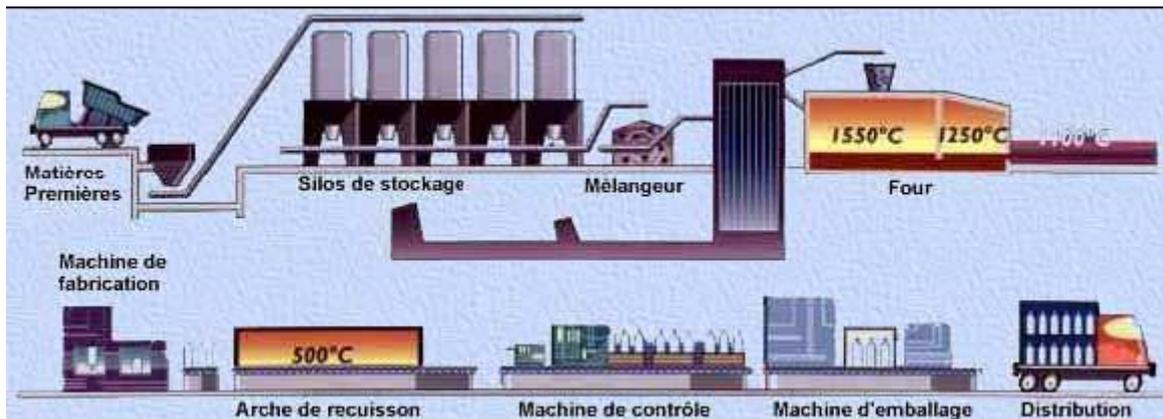


Figure N°19 : procédé de fabrication du verre (Industrie des verriers, 2006)

Le tableau XIX illustre l'état actuel de l'emploi des FCR dans les entreprises consultées n'ayant pas encore réalisé ou finalisé la substitution.

Tableau N°XIX : synthèse partielle des usages de FCR pour l'industrie du verre (industrie des verriers, 2006)

forme	Applications et températures usuelles
nappes	Support verre sur la sortie de l'arche (600 °C) Feeders, fours et fours à moule (garnissage réfractaire, bouchage de fissures ou isolation lors d'interventions) (1 100 à 1 600 °C) Machine de fibrage, four, protection thermique lors de la reconstruction four (80°C en temps normal et à 1250°C lors de l'attrempage du four, ou voûte chaude et lors de travaux de protection thermique) Isolation cheminées (1 450 °C) Isolation blocs brûleurs Pignons colliers/conduits, piédroit Joints régénérateurs Colmatage des joints de dilatation lors des attrempages fours et feeders (1 600 °C) Couvercle d'étanchéité des refroidisseurs de tête (800 à 1000°C) Intérieur protection couvercle des dross box (600 à 700°C) Etanchéité des moteurs linéaires (600 à 700°C) Trempe (700 °C)
panneaux	Isolation du four (500 à 1 650 °C) Chemise/isolation du creuset (1 650 °C) Coquille et plaque d'étanchéité du four (1 650 °C) Démoulage du four (1 600 °C) Isolation bloc brûleurs feeders, isolation superstructure feeders, fours et fours à moule (1 100 à 1 300 °C) Enfourneuses (1 250 à 1 530 °C) Cuvette (1 200 °C) Pignons colliers/conduits, piédroit Isolation dalle de couverture, infrastructure Dans les caissons (600 à 1000°C) Protection thermique lors de la reconstruction four (T°<1250°C lors de l'attrempage du four)
papier	Cuve (1 300 °C) Machine de fibrage/filière (1 100 °C)
vrac	Fours (isolation et bouchage de fissures), rondelles et feeders (1 100 à 1 350 °C) dans les caissons (600 à 1000°C) Protection thermique lors de la reconstruction four (80°C en temps normal et à 1250°C lors de l'attrempage du four, ou voûte chaude et lors de travaux de protection thermique)
Cordons/ tresses	Enfourneuses Chaudières, feeders (1 200 °C) Ailettes moules et tube de pression du four (400 à 1 200 °C) fours (isolation et bouchage de fissures) (1 200 à 1 600 °C) Etanchéité pierres au canal (900 à 1200°C) Etanchéité certains caissons du bain (600 à 1000°C) Entre les dalles de voûte et les portes du four, sur les portes du four, entre la voûte et la cuve du four (80°C en temps normal et à 1250°C lors de l'attrempage du four, ou voûte chaude et lors de travaux de protection thermique)
mastic	Isolation pour manipulation/ combler les fissures sur les fours (1 200 à 1 600 °C)
textile	Fours à moules (450 °C)

Les réponses collectées ne sont pas exhaustives, elles rendent compte de la situation des entreprises représentant la majorité du marché français. Les données individuelles révèlent une variabilité interentreprises importante. Ainsi, à l'heure actuelle, les sites verriers consomment une quantité moyenne annuelle de FCR s'échelonnant entre 0 et 2 tonnes (la majorité se situant sites entre 100 et 500 kg/an), celle-ci varie suivant l'activité et le niveau de substitution initiée. Sur le plan historique, certains sites verriers semblent n'avoir jamais employé de FCR, d'autres estiment qu'ils accueillent quelques centaines de kilogrammes répartis au sein de leurs équipements. Enfin, certains grands sites de production évaluent la

quantité de FCR à plusieurs dizaines de tonnes se répartissant au sein des fours, feeders, cuvettes....

Les FCR sont employées en général depuis plus de 30 ans pour l'isolation des installations à haute température. Cependant, les réponses indiquent une utilisation depuis à peine 10 ans pour certains sites suggérant ainsi un usage accru suite à l'interdiction de l'amiante.

De manière générale, les réponses dénotent une décroissance continue d'utilisation des FCR depuis les années 2000. A titre d'exemple, une entreprise a vu diminuer son utilisation des FCR de 252 kg en 2002 à 197 kg en 2003 et enfin plus rien en 2004.

Cependant, certains sites emploient toujours des FCR. Ainsi, à titre d'exemple, une entreprise consultée indique que, lors des 5 dernières années, pour un feeder reconstruit, la quantité d'isolants en FCR situés derrière les blocs brûleurs est de l'ordre de 30 kg. Depuis 2004, l'isolation des blocs brûleurs de feeders reconstruits n'implique plus de FCR.

Au niveau des calorifuges de dalles de couverture, leur recensement montre que les feeders d'un seul four en possèdent encore et concernant l'isolation d'infrastructure, les quantités s'élèvent au maximum à 10 kg par feeder (selon l'armature).

Au niveau du four, les zones pouvant contenir des matériaux à base de FCR se situent : sous le pied des blocs de cuve, le calorifuge de la voûte de frittage ermold, le calorifuge des poteaux, les sous pièces à nez, l'isolation derrière les poteaux et éventuellement la voûte. A ce jour, pour ce site, toutes les FCR ont été substituées sauf au niveau de l'isolation sous pièces à nez.

Le renouvellement des FCR intervient dans plusieurs cas ; soit de manière préventive lors d'interventions à chaud (feeder, joint...) et lors de maintenance régulière sur les fours c'est-à-dire en moyenne tous les 5 à 10 ans, soit de manière curative lors d'un constat d'usure.

La fréquence peut donc être journalière pour les montages de fours électriques ou à intervalle élargi lors de la réfection des fours. Les FCR présentes au niveau du four sont renouvelées à chaque réfection de four. Le changement ou la rénovation de pièces annexes (électrodes, brûleurs) se fait environ 3 fois par an ; les panneaux de FCR pour bitume sont remplacés à chaque arrêt technique de ligne ou en cas d'usure ou de cassure et enfin, les joints de filières sont renouvelés environ 5 fois par an.

Les FCR, outre les applications présentées dans le tableau XXXIV, sont employées dans l'isolation du compartiment de fusion (pour les fours électriques) et du canal de distribution. Les industriels soulignent les propriétés des FCR leur permettant une variation rapide de la température des fours (RPA, 2006).

Industrie maritime

Après contact auprès de deux chantiers navals majeurs et d'un bureau de vérification, les FCR ne semblent plus être utilisées actuellement ; substituées par des laines minérales et des laines AES. Les FCR sont apparues dans ce secteur suite à l'interdiction de l'amiante et la mise en place de procédures régulées dans les années 1995. Les FCR, employées pendant une dizaine d'années dans la construction française des navires, ont été substituées suite à une jurisprudence allemande (utilisées de manière prépondérante par d'autres pays) mais restent toujours en place dans de nombreux navires professionnels et recevant du public. Les usages étaient multiples et les FCR satisfaisaient notamment aux normes contre les incendies. Les FCR assuraient l'isolation incendie de la plupart des navires en aluminium pour des raisons de propriétés thermiques et de poids. Ces navires légers assurent de multiples activités commerciales, militaires et touristiques. Pour les navires en acier de taille plus importante, l'isolation était plus ciblée mais concernait une surface plus importante, les nappes de FCR évitaient le transfert de feu entre les cloisons des cabines, ponts, les salles des machines, les postes de contrôle, les postes de machine. Pour les navires en aluminium, il semble que toutes les parties d'aluminium étaient isolées par des nappes de FCR

recouvertes d'une cloison légère ou d'une autre nappe d'aluminium ou de laines minérales en ajoutant les applications mentionnées pour les navires en acier. Ainsi, les nappes étaient protégées mais pas hermétiquement cloisonnées.

Enfin, les FCR parfois toujours en place étaient utilisées sous forme de tresses pour l'isolation des moteurs, des conduites d'échappement, les joints pour les orifices dans la coque évitant ainsi la dispersion des fumées....

Les volumes variaient selon la taille et la nature du navire (acier ou aluminium à titre d'exemple) mais l'usage destiné à l'isolation contre les incendies représentaient des volumes conséquents.

Les navires en circulation dans les eaux territoriales françaises peuvent évidemment contenir des FCR en raison de leur durée de vie et de la construction de navires par d'autres pays employant toujours des FCR.

Aéronautique

Le Groupement des Industries Françaises Aéronautiques et Spatiales (GIFAS) est une fédération professionnelle qui regroupe 250 sociétés spécialisées dans l'étude, le développement, la réalisation, la commercialisation et la maintenance de tous programmes et matériels aéronautiques et spatiaux. Son domaine recouvre les avions civils et militaires, les hélicoptères, les moteurs, les missiles et armement, les satellites et les lanceurs spatiaux, les grands systèmes aéronautiques, de défense et de sécurité, les équipements, les sous-ensembles et les logiciels associés. Seuls deux adhérents, compétents pour l'un dans la propulsion et les équipements aéronautiques et spatiaux et l'autre dans le secteur des missiles, ont transmis quelques données. La première entreprise emploie des FCR depuis les années 1980 pour des applications s'élevant entre 900 et 1 100°C pour les carters turbine, les patins de frein, des joints et la partie chaude des moteurs. Concernant les missiles, les FCR ne semblent pas ou plus utilisées. L'entreprise interrogée emploie des fibres de silice, de carbure de silicium, des laines AES et des laines minérales principalement pour la protection thermique du missile.

L'ECFIA indiquait également un usage des FCR dans l'aéronautique, l'industrie de la défense et l'aérospatiale (ECFIA, 2005).

Industrie des tuiles et briques

Le Centre Technique des Tuiles et Briques (CTTB) constitue un appui technique et scientifique pour l'industrie des Tuiles et Briques qui regroupe actuellement 90 sociétés, 136 usines et plus de 6 000 salariés. Les produits fabriqués sont des tuiles, des briques de structure et de cloison, des produits de parements et des conduits de fumées. Ces produits sont principalement destinés à la maison individuelle et au petit collectif. En 2004 :

- 2,7 millions de tonnes de tuiles ont été produites, ce qui représente environ 1730 toitures de maisons moyennes par jour,
- 1,9 millions de tonnes de briques de structure et de cloison, ce qui représente environ 370 maisons moyennes construites par jour,
- 330 000 tonnes de produits de parement, ce qui représente environ 33 maisons moyennes par jour.

Lors de la fabrication, suite à l'étape de séchage, les produits sont dépilés, contrôlés visuellement, puis empilés sur des wagons pour être cuits dans des fours. Pour conférer aux produits leurs caractéristiques définitives (stabilité, résistance mécanique...), il est nécessaire de les porter et de les maintenir un temps suffisant à une température élevée (environ 900 à 1200 °C), la durée totale de la cuisson peut varier de 1 heure à 8 jours selon les produits et les argiles. Les températures de cuisson dans les fours varient entre 900 et 1200°C en fonction du type de produit fabriqué et de la nature des matières premières argileuses

utilisées (terres cuites 850 à 1 100 °C, briques creuses 900 à 1 000 °C, briques pleines à 1 200 °C).

L'isolation thermique des wagons et des fours peut faire appel à l'utilisation de FCR sous diverses formes: nappes aiguilletées, modules, panneaux, vrac ou cordons. Néanmoins, le CTTB souligne qu'aucun contact n'est possible entre les produits séchés, cuits et les FCR (en fonctionnement normal des installations). Le CTTB ne maîtrise les chiffres que pour les 5 principales entreprises et ne possède pas de chiffres sur les unités de fabrication de petite taille (capacité inférieure à 75 tonnes par jour).

Il existe plusieurs types de four :

- Les fours tunnels présentent des capacités et des dimensions variables (0.3 x 0.3 x 30 m à 2 x 9 x 200 m). Dès lors, les contraintes d'isolation varient et ne nécessitent pas les mêmes performances et la même maintenance. De manière générale, les parois du four connaissent un entretien limité explicité par l'activité continue du four. Les FCR sont confinées dans les parois et ne font l'objet que d'une maintenance spécialisée à intervalle élargi (de 10 à 20 ans). CERIC précise que les FCR, sous forme de nappes ou de modules, sont utilisées comme isolation de seconde couche et compressées entre les parois internes et externes ou jouent le rôle de joint de dilatation sous forme de nappes pliées entre les blocs successifs tout le long du four (longueur de 100 m avec une profondeur de 1 à 1,5 m). Ces blocs jointés par les nappes sont recouverts d'une tôle rendant inaccessible les FCR pour le personnel de l'entreprise. Les FCR, sous forme de nappes ou de tresses, sont ou étaient également utilisées pour l'isolation des portes et de la voûte. Lors des réparations de fours, le vieillissement des FCR intervient principalement au niveau de la voûte conduisant à un épaissement des structures. Les FCR pour l'isolation de la voûte sont réappliquées actuellement grâce à un procédé de projection en phase humide (moins poussiéreux selon CERIC et également initié lors de la réfection des wagons). En moyenne, un four pour tuiles et briques contient 15 m³ de FCR soit 1 200 à 1 500 kg de FCR par four. Les fours de cuisson pour la céramique fine, continuent à utiliser plus de FCR à tous les niveaux en raison des températures plus élevées. Le CTTB souligne que les interventions dans les fours ne peuvent se faire que si le four est éteint et refroidi. Il existe deux types de fours tunnels selon que l'étanchéité du four soit assurée par des joints de sable (casing) ou par des joints hydrauliques (hydrocasing).

Les fours casing et hydrocasing ont commencé à être construits dans les années 1985 ; par conséquent, les FCR sont apparues à cette date pour la profession des tuiles et briques. Cependant, les petites entreprises utilisent souvent des fours tunnels construits dans les années 1920-1930 ne comportant pas a priori de FCR ; même si l'inclusion de ces fibres lors des maintenances successives s'avère possible.

Le CTTB estime, quant à eux, que les fours casing et hydrocasing contiennent environ 300 kg de FCR pour assurer l'étanchéité entre le piédroit et la voûte du four. Le CTTB estime leur nombre à 41 au niveau national.

Un four peut accueillir entre 20 et 35 wagons soumis à des chocs thermiques intenses et donc une maintenance plus régulière. Les wagons, pour ce type de four, contiennent entre 150 et 800 kg de FCR ; la taille des wagons étant variable pour chaque ligne de production. Les dimensions des wagons s'échelonnent pour la largeur entre 3,75 et 7,40 m et pour la longueur entre 3 et 5,5 m (impliquant des surfaces variant entre 10 et 40 m²). Chaque site de production comporte entre 40 et 70 wagons.

- Les fours traditionnels présentent une structure en briques réfractaires dénuées d'isolation en FCR. Les wagons destinés aux fours traditionnels contiennent moins de 100 kg de FCR par wagon. Le CTTB recense actuellement environ 39 fours traditionnels au niveau national.

- Les fours cellules présentent un volume compris entre 10 et 50 m³. Ils sont de moins en moins utilisés, uniquement pour les petites unités de production ou pour la fabrication d'accessoires de petite série (inférieure à 75 tonnes par jour). Les FCR sont directement accessibles dès l'ouverture des portes sous forme de modules (dont la partie interne se détériore par contact avec les hautes températures). La substitution reste délicate en raison des contraintes de température (température de cuisson 1 350°C). Les fours cellules contiennent entre 600 à 800 kg de FCR. Le CTTB comptabilise 14 fours cellules au niveau national et estime dérisoire leur taille et leur nombre.

Seuls les fours et les wagons destinés à la cuisson peuvent contenir des FCR. En revanche, les châssis qui supportent les produits lors de l'opération de séchage sont uniquement métalliques et ne nécessitent pas d'être isolés en raison d'une température de traitement comprise entre 80 et 150°C.

Les wagons sont rénovés périodiquement pour assurer leur fonction d'isolation. Le renouvellement s'explique principalement en raison du tassement de la structure, notamment celle des FCR au cours du temps, l'usure des réfractaires de ceinture ou le vieillissement des structures métalliques. Les nappes de FCR se situent sous la sole réfractaire du wagon afin de protéger et isoler le dessous des wagons. CERIC précise que des joints de FCR sous forme de tresses ou de nappes pliées étaient ou sont également employés pour assurer la jointure entre les dalles supérieures du wagon. Le renouvellement varie selon les contraintes thermiques appliquées lors du cycle de montée et de descente en température (de 16 h à 8 j). A titre indicatif, une des entreprises majeures de ce secteur renouvelle son parc de wagons en trois ans (1/3, 1/3, 1/3). Cependant, certains industriels peuvent renouveler et assurer une maintenance tous les 10 ans. Ainsi, la maintenance dépend de nombreux paramètres notamment l'âge de l'usine et le nombre de passages des wagons dans le four. Les industriels procèdent à une maintenance régulière afin de garantir une activité continue.

CERIC souligne les difficultés liées à la reconnaissance des FCR sur un chantier. Le repérage semble aisé tant que les FCR sont dans les cartons de livraison (encore faut-il bien savoir décoder les références pour comprendre qu'il s'agit de FCR), il l'est beaucoup moins quand elles ont été déballées. A ce moment là, la distinction entre les FCR et les laines AES paraît plus délicate. Le marquage fait par le producteur est quasi inexistant et les utilisateurs sont demandeurs d'une meilleure identification. Par ailleurs, CERIC indique l'absence de fiche de sécurité systématique conjointe à chaque livraison contrairement aux Etats-Unis et il faut aller la consulter sur le site Internet du fabricant ou appeler ce dernier pour demander son envoi.

L'entreprise estime sa consommation annuelle pour 2005 à environ 100 tonnes dont 67 tonnes en nappes de bandes prédécoupées, 31 tonnes de vrac pour le gunitage (projection de fibres) et 2 tonnes sous forme de pièces diverses (manchons, rondelles...).

Les figures 20 et 21 présentent un wagon de tuiles avant la cuisson et la localisation des FCR dans le châssis (sous l'intitulé « fibre isolante » dans la légende).



Figure N°20 : wagon de tuiles pour la cuisson (CTTB, 2006)

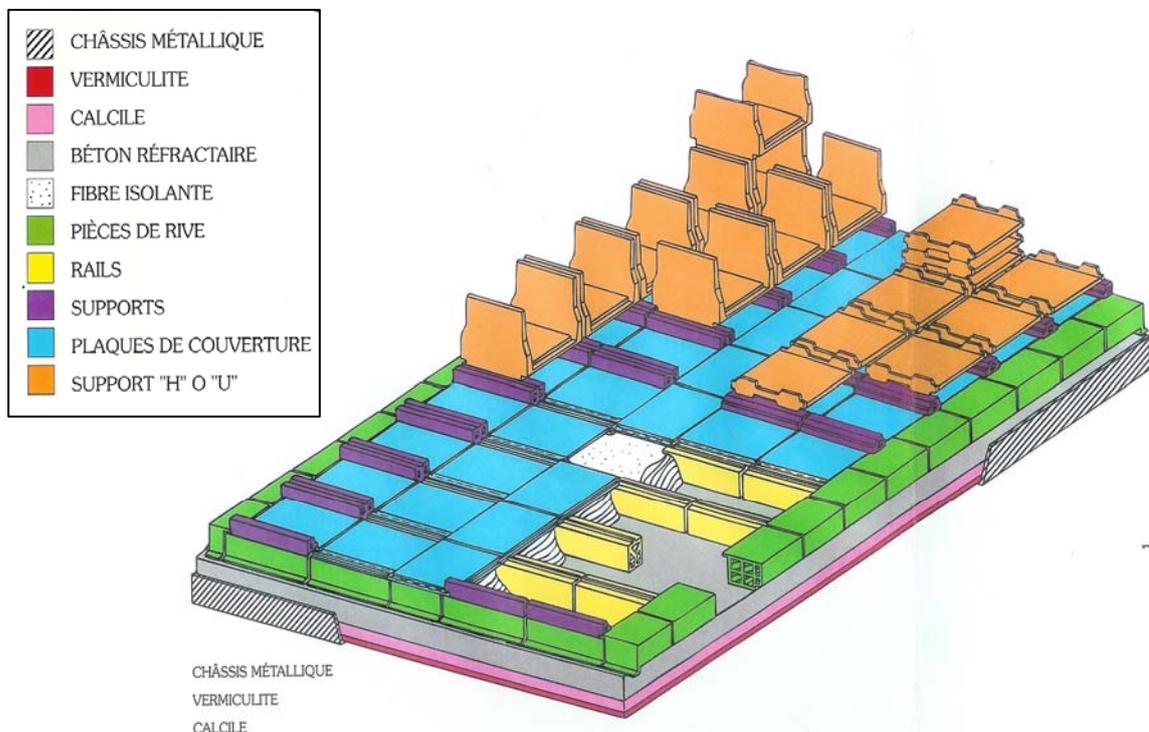


Figure N°21 : Localisation des FCR dans un wagon de tuiles (fibre isolante) (CTTB, 2006)

Industrie de la céramique

La Confédération des Industries Céramiques de France (CICF) en appui technique avec la Société Française de Céramique (SFC) représente 84 établissements qui assurent la majorité du marché français des produits céramiques. Après consultation auprès de leurs adhérents, quelques données ont pu être collectées et évoquées dans ce chapitre. A l'heure actuelle, tous les fours céramiques en activité sur le territoire emploient des FCR pour assurer leur isolation thermique. Les FCR ont substitué au cours des dernières décennies les briques réfractaires en raison de leur consommation réduite en énergie, leur légèreté, leur souplesse d'utilisation et leur facilité de mise en œuvre. La CICF référence trois types de fours dont le nombre total s'élève à 300, répartis au niveau national :

- Les fours continus présentent un fonctionnement permanent. Ces fours peuvent avoir une longueur de quelques dizaines de mètres à plus d'une centaine de mètres. Les FCR sont utilisées depuis les années 1950 dans l'industrie céramique pour des applications de 800 à 1 600 °C. Les fibres servent à isoler la zone de feu et assurent un rendement thermique limitant les émissions de gaz carbonique. Les fibres sont utilisées sous forme de multicouches en nappage à l'intérieur ou à l'extérieur du four de manière visible et non confinée. La CICF et la SFC soulignent la distinction entre les fours à revêtement intérieur en briques réfractaires qui manquent de souplesse (arrêt et redémarrage long pour des questions de dilatation et fortement consommateurs d'énergie dans les phases transitoires) des fours à revêtement fibreux qui sont plus souples et permettent de sensibles économies d'énergie en phase transitoire.
- Par ailleurs, ces fours peuvent être à wagonnets (utilisant souvent des fibres en isolation) ou à rouleaux (des rouleaux réfractaires tournants assurent la translation des pièces en continu). Un grand nombre de ces fours utilise des FCR. Ces fours fonctionnent souvent en cycle continu et tout arrêt de l'installation stoppe l'activité et engage des pertes financières importantes. Par conséquent, la maintenance est assurée en continu lors de l'utilisation. Les arrêts restent limités tous les 10 ans afin d'entretenir et réhabiliter l'ensemble du four. Les FCR connaissent donc différentes localisations notamment pour le revêtement des parois du four, les dalles de sol du four permettant une isolation souple sous les voitures en fer et pour l'isolation des wagonnets et des rouleaux.
- Les fours cellule fonctionnent quant à eux de manière intermittente et, là aussi, nombre de ces fours utilise des FCR pour des raisons d'économie d'énergie. Ces fours peuvent avoir des tailles de quelques m³ à plusieurs dizaines de m³. Les fours intermittents se définissent par des dimensions plus restreintes et une utilisation moindre.
- Les fours de laboratoire contiennent, selon la CICF et la SFC, des quantités minimales de FCR destinées à l'isolation de la structure.

La plupart des entreprises possède un four de chaque type par site (certaines ont plusieurs sites). Le nombre de fours de laboratoires reste très variable. Le niveau d'utilisation des FCR paraît difficilement estimable et varie selon la structure et la composition du four et du produit fabriqué. De même, les quantités annuelles restent difficilement évaluables et fluctuent, à titre d'exemple, entre des entreprises utilisant des FCR ponctuellement pour l'isolation de rouleaux réfractaires (quelques grammes) et des réparations de fours (plusieurs dizaines de kilogrammes).

Les réparations sont généralement réalisées par des entreprises extérieures spécialisées dans ce type d'intervention, notamment les fabricants de fours souvent en charge de l'installation et de la maintenance.

Certaines opérations de maintenance ponctuelles réalisées par des maçons-fumistes internes concernent des activités de réparations, consolidations ou remplacements.

Les industries consomment donc des FCR uniquement pour assurer la maintenance des fours et ce, ponctuellement mais régulièrement (découpe d'une nappe et réparation sur une petite partie du four). La maintenance continue permet d'assurer une activité constante sans arrêt du four.

A l'heure actuelle, l'usure est estimée par le chef du four qui l'évalue par les variations de température indiquant que les nappes de fibres n'assurent plus correctement l'isolation et nécessitent un remplacement. La SFC étudie des méthodes d'évaluation par endoscopie ou radar.

Industrie de la chimie

L'Union des Industries Chimiques (UIC) est l'organisation professionnelle qui rassemble les entreprises de la chimie. Elle a pour mission de promouvoir l'industrie chimique en France et représente près de 1 200 entreprises, 2 000 établissements et 200 000 salariés. Etant donné la diversité des activités et le nombre d'entreprises, l'UIC, en accord avec l'Afsset, s'est limitée à consulter quelques adhérents afin de collecter des données sur les FCR. Ainsi, les quelques réponses présentées dans cette partie ne reflètent pas l'ensemble de l'utilisation des FCR dans l'industrie chimique mais révèlent un certain nombre d'usages et pratiques liés aux FCR.

Le tableau XX illustre les données collectées sur les applications actuelles incluant des FCR.

Tableau N°XX : synthèse partielle des usages de FCR pour l'industrie de la chimie (UIC, 2006)

Formes	Applications	Températures usuelles
Nappes	Revêtement de parois de fours	
	Brûleurs	
	Calorifuge des dômes de fours	750 °C
	Calorifuge d'une ligne	800 °C
	Calorifuge de la turbine à vapeur, des ballons de chaudières dans une centrale thermique	800 à 1 000 °C
	Isolation de portes chaudières	900 °C
	Isolation de traceurs vapeurs	900 °C
	Calorifuge de tuyauteries	800 à 1 000 °C
	Calorifuge de distillateurs	800 à 1 000 °C
Tresses/ cordons	Isolation de fours	
	Isolation et portes de chaudières	180 à 900 °C
	Isolation de traceurs vapeurs	900 °C
	Calorifuge de tuyauteries	800 à 1 000 °C
	Calorifuge de distillateurs	800 à 1 000 °C
	Conduites de vapeurs et équipement de production de vapeur	230 °C
	Porte arrière chambre de combustion incinérateur	1 150 °C

D'après les données collectées par l'UIC, les FCR ont été ou sont encore majoritairement employées sous forme de tresses et de cordons comme joints d'isolation dans les fours, les chaudières, les distillateurs, les conduites de vapeur ou d'échappement....mais également sous forme de nappes pour l'isolation d'équipements.

Les quantités paraissent difficilement estimables par les entreprises qui délèguent souvent l'activité de calorifugeage pouvant mettre en jeu des FCR à des entreprises extérieures spécialisées. Cependant, une maintenance ponctuelle et interne reste d'actualité pour de nombreuses entreprises. Les FCR ont été utilisées de manière croissante suite à l'interdiction de l'amiante depuis les années 1990 avec un remplacement ponctuel pour les applications accessibles (le calorifugeage à partir des années 1990 par exemple) et un remplacement progressif pour les applications inaccessibles ou ne nécessitant pas une maintenance fréquente ou immédiate (principalement l'étanchéité à partir des années 1996). A l'heure actuelle, au vu des données collectées sur un échantillon réduit d'entreprises, les quantités annuelles de FCR s'échelonnent entre 0 pour les entreprises n'employant pas de FCR ou ayant finalisé la substitution à quelques dizaines de kilogrammes par an.

Les interventions pour remplacer et le cas échéant substituer les FCR varient considérablement. Ainsi, les opérations de maintenance lourde et de rénovation ont été différées dans le temps en raison des progrès techniques et peuvent intervenir tous les 3 à 5 ans sur les fours. Au contraire, certains sites peuvent consommer au sein de leur installation une centaine de cordons ou tresses par an comme joints d'isolation. A titre d'exemple, une entreprise consultée réalise une maintenance régulière tous les 3 mois en accueillant un prestataire habilité dans la réfection du calorifuge, celui-ci évalue le niveau d'usure ou de dégradation et remplace si nécessaire une partie de l'isolation ou les joints.

Industrie productrice d'électricité

La seule utilisation des FCR déclarée par Electricité De France (EDF) concerne la protection incendie dans les chemins de câbles de certains centres de production nucléaire. Ces chemins de câbles entièrement gainés renfermaient des FCR (*a priori* depuis 1994). Une lettre du Pôle Toxicologie adressée le 21 août 1996 aux Services d'Ingénierie d'EDF délivrait pour ce matériau un avis toxicologique défavorable. Fin 1996, le prestataire a proposé une substitution avec une laine de verre non cancérogène.

Industrie ferroviaire

La Société Nationale des Chemins de Fer (SNCF), principal exploitant ferroviaire français, emploie des FCR essentiellement pour des applications d'isolation et de protection contre l'incendie.

Les données collectées concernent uniquement le matériel roulant et ne décrivent pas les usages éventuels des FCR dans les établissements (ateliers, locaux administratifs, gares..) appartenant à l'entreprise.

Le tableau XXI propose une liste non exhaustive des applications incluant des FCR en définissant la forme retenue. Cette liste concerne des informations recueillies pour le matériel roulant depuis les années 2002. En effet, à partir de cette date, la SNCF s'est inscrite dans une démarche volontaire de recensement de ces produits, au cours des opérations de maintenance successive, quant à leurs localisations et usages sur les matériels roulants en exploitation.

Ainsi, l'entreprise indique que l'historique reste complexe pour les équipements passés et récemment acquis ne nécessitant pas de maintenance. A l'heure actuelle, l'entreprise dispose donc de peu de données quantitatives et peut difficilement évaluer l'évolution de l'usage de ces fibres.

La SNCF souligne que le cahier des charges destiné aux constructeurs pour l'acquisition de matériel roulant stipule explicitement de limiter l'emploi des FCR uniquement pour des applications dépourvues d'alternative.

Tableau N°XXI : synthèse partielle des usages de FCR pour l'industrie ferroviaire (SNCF, 2006)

Emplacement	Forme retenue
Montage de la cloison pare-feu assurant la jointure entre la plateforme avant et le compartiment appareillages Joint pour le revêtement porte (disjoncteur continu) Tympan fixe Porte d'intercirculation coupe-feu 30 minutes Vantail central, intermédiaire et transversal (porte coupe feu) Isolation thermique et acoustique (porte coupe feu) Seuil de porte cloison coupe-feu Imposte (cloison coupe feu) Niche (cloison coupe feu) Boîtiers de passage de câbles (cloison coupe feu) Cadre de porte pour cloison coupe feu Cloison coupe feu (Bloc moteur)	Papier
Porte d'intercirculation coupe-feu 30 minutes Vantail central, intermédiaire et transversal (porte coupe feu) Isolation thermique et acoustique (porte coupe feu) Demi-encadrement gauche et droit (cloison coupe feu) Boîtiers de passage de câbles (cloison coupe feu) Éléments de traverse (cloison coupe feu) Cloison coupe feu pour le bloc moteur Cadre de porte pour cloison coupe feu Isolation de Caisson de climatisation	Nappe
Panneau de calorifuge au niveau des caissons de groupe de chauffe Panneau de calorifuge pour ventilateur Montage cloison coupe-feu Tôlerie caisson réchauffeur	Panneau

La SNCF indique que les principaux emplacements identifiés incluent les cloisons coupe-feu, les vantaux, les caissons de groupe de chauffe et l'isolation thermique.

Les nappes, les panneaux et les papiers constituent les principales formes même si quelques applications restreintes nécessitent par exemple du vrac (dans les cloisons) et des cordons ou des tresses (pour les parties moteur).

Industries mécaniques

Les adhérents de la Fédération des Industries Mécaniques (FIM) n'ont pas répondu aux sollicitations de l'Afsset (hormis le CISMA, GFCC et UNICLIMA contactés par ailleurs). Seule une entreprise a indiqué employer des FCR sous forme de nappes, de panneaux et de modules dans les fours de traitement thermique de 950 °C au maximum depuis 1987. En 2006, cette entreprise exploite 18 fours de traitement dont 12 sont composés de FCR (soit 66 %) et 6 fours ont fait l'objet d'un retrait partiel ou total lors des maintenances annuelles. L'entreprise évoque notamment des difficultés de tenue mécanique pour assurer une substitution totale.

Industries pétrolières

Schématiquement, la transformation du pétrole brut en produits finis ou raffinage résulte de divers traitements physiques et chimiques, notamment :

- La distillation dans les unités de fractionnement pour obtenir une séparation du brut en produits divers plus directement utilisables,
- La conversion dans les unités de reforming, platforming et cracking afin d'améliorer les qualités de certains produits obtenus par la distillation,
- L'épuration des produits finis...

A toutes ces étapes de raffinage, les produits pétroliers en voie de traitement suivent un circuit complexe depuis les aires de stockage jusqu'aux unités de topping en passant par les échangeurs de températures, les fours, éventuellement les réacteurs. L'isolation paraît déterminante lors des étapes de raffinage proprement dit, de transport et de stockage.

L'Union Française des Industries Pétrolières (UFIP), auditionnée dans le cadre de la saisine, a apporté quelques données sur l'emploi des FCR dans les 12 raffineries installées sur le territoire. Les FCR sont employées sous forme de cordons, de tresses, de nappes ou de modules mais plus sous forme de vrac (usage antérieur afin de rembourrer les joints). Les applications actuelles et passées concernent :

- l'intérieur des fours d'unité de distillation et d'unité de crakage où des nappes de FCR isolent les tubes sous vides recevant le flux thermique maximal, soit entre 1 000 et 1 200°C. La maintenance réalisée tous les 5 à 6 ans concerne quelques dizaines de kilogrammes de FCR (à la base des fours de briques réfractaires). CTP Thermique, impliquée dans l'installation de revêtements réfractaires, estime que les quantités de FCR nécessaires à l'isolation d'une voûte d'un four de cracking se mesurent en tonne,
- les chaudières où les joints d'étanchéité ou joints de dilatation en FCR permettent de maintenir une légère pression dans la chambre de combustion au niveau des fenêtres de visu (20 cm x 20 cm) et évitent ainsi le dégagement de dioxyde de carbone et de fumée chaude, la température s'élève entre 1 000 et 1 100°C. La maintenance des joints, réalisée lors de l'arrêt des chaudières, a lieu tous les 2 ans ;
- l'isolation, mais à une température moindre (700°C) ; un revêtement constitué d'un mélange de ciment et de FCR est appliqué notamment autour du craking catalytique. Parfois, (le procédé est en cours de modification), des joints de dilatation en FCR sont localisés autour de la flamme pour homogénéiser le flux de température.

Les entreprises soulignent que leur connaissance reste partielle notamment sur les quantités mises en place et remplacées au cours des maintenances successives. En effet, le calorifugeage ne constitue pas leur cœur de métier et ils délèguent ces activités à des prestataires habilités intervenant à l'installation et régulièrement à l'arrêt du site.

De manière générale, l'utilisation des FCR pour l'isolation apparaît à la fin des années 1980 en substitution à l'amiante principalement pour les joints d'étanchéité des portes et fenêtres de visu.

L'UFIP souligne que seuls des prestataires de service, spécialisés dans le maintien des fours de distillation de pétrole, interviennent sur le calorifugeage des équipements tous les 5 à 6 ans et aucune maintenance interne n'est réalisée pour les FCR. Dans le cadre de ses activités, le prestataire doit transmettre un mode opératoire détaillé de son intervention et se soumettre au plan de prévention mis en place sur le site. Lors des maintenances programmées ou lors d'arrêts transitoires, par exemple pour la réparation ou le remplacement d'un tube percé (événement rare), le réfractoriste profite de l'occasion pour réaliser une maintenance partielle (notamment sur les joints de bourrage) ou totale (plutôt lors des arrêts programmés). CTP Thermique s'approvisionne pour certaines applications

avec des pièces de FCR prédécoupées et emballées individuellement dans un film plastique. Ces pièces sont installées dans la zone de passage des tubes en voûte de four. Le plastique brûle ensuite lors du démarrage.

Automobile

En 2004, l'automobile représentait 8 % du volume produit. Le développement du secteur de l'automobile reste récent. Dans cette industrie, les applications principales concernent les pots catalytiques et les filtres à particules pour les engins diesel. L'ECFIA indique que les FCR peuvent être utilisées aussi dans l'isolation d'écrans thermiques, le renforcement structurel des plaquettes de frein, les nappes de maintien de catalyseur, les matériaux de filtration pour déclencheurs d'airbags et dans le renforcement de pièces de moteurs (*Preforms* : renforcement des cylindres et pistons) en permettant de les alléger. Les applications susmentionnées représentent une faible part et correspondent principalement à des équipements utilisés dans les anciens véhicules. Aujourd'hui, les FCR utilisées dans les plaquettes de freins représentent une très faible part (< 0,1 % par an en Europe) des fibres de renforcement utilisées dans cette application pour des engins spéciaux.

Les adhérents de la Fédération des Industries des Equipements pour Véhicules (FIEV) n'ont pas répondu aux sollicitations de l'Afsset et se sont contentés de préciser deux applications principales évoquées auparavant dont les plaquettes de frein, qui ne font plus appel depuis 2006 en France aux FCR que ce soit pour la première monte ou pour le marché de la rechange et les systèmes de dépollution des véhicules essence ou diesel. Les FCR restent confinées en condition normale d'utilisation du véhicule et l'accessibilité se limite aux fabricants d'équipements, éventuellement les garagistes et les entreprises récupérant les métaux précieux dans les systèmes de dépollution.

Les industriels soulignent néanmoins que l'utilisation des FCR (ou des fibres polycristallines) dans les pots catalytiques et les filtres à particules contribue à protéger l'environnement en réduisant les émissions de particules fines, de NO_x et de CO₂.

Applications domestiques

Les applications domestiques représentent actuellement 2 % du volume produit alors qu'en 1990, elles étaient de 20 %. Les utilisations persistantes actuelles concernent les appareils de chauffage radiant et les chaudières au sol. Dans des conditions normales d'utilisation, les FCR ne sont pas accessibles. Elles n'ont pas à être remplacées au cours de la durée de vie de la chaudière. Les FCR ont été progressivement substituées par des fibres AES dans les chaudières murales, accumulateurs de chaleur, joints haute température (fours et séchoirs chauffants), patins dans les cuisinières et autres applications haute température depuis les années 1990 (ECFIA, 2005). A titre d'exemple, les FCR étaient utilisées communément pour des applications ponctuelles d'isolation ou dans les joints notamment dans les radiateurs électriques à accumulation jusque dans les années 1995. Les industriels déclarent que les fabricants d'appareils domestiques, ne connaissant pas forcément la composition exacte des matériaux utilisés, demandent à leurs fournisseurs des pièces ou des modules dont la composition respecte la législation et répond à certaines spécifications de contraintes thermique ou mécanique.

Les chaudières modernes nécessitent l'utilisation de surfaces de réflexion ainsi que des canalisations de gaz. Ces pièces peuvent être réalisées à l'aide de FCR ou d'AES. Les problèmes de substitution concernent actuellement les chaudières au sol en raison de l'érosion résultant de la vitesse de flamme et du transport des gaz de combustion.

Le Groupement Interprofessionnel des Fabricants d'Appareils d'Équipement Ménager (GIFAM) rassemble plus de 60 sociétés ou groupes industriels qui, selon le cas, sont des entreprises françaises ou des filiales françaises de groupes européens. Elles assurent la totalité de la production française d'appareils ménagers et représentent 90 % du marché national.

Trois grandes familles de produits composent ce secteur :

- Les produits blancs dont les appareils frigorifiques domestiques, de lavage/séchage du linge, de la vaisselle et de cuisson,
- Les petits appareils ménagers dont les appareils de cuisson et de préparation des aliments, d'entretien du linge, des sols, de soins corporels et de beauté,
- Les appareils de chauffage de l'eau et des locaux dont les appareils de chauffage divisé toutes énergies, chauffe-eau électrique, appareils de ventilation et de climatisation domestiques.

Les appareils de cuisson domestique

Les FCR ont été utilisées dans les boîtiers constituant les foyers électriques des plaques de cuisson vitrocéramique. Placées au fond du boîtier, elles reçoivent la résistance chauffante et joue le rôle d'isolant pour une température s'élevant à 600°C. Le confinement est total. Selon le GIFAM, la durée de vie du sous ensemble constituant le foyer dépasse généralement celle de l'appareil. En cas de panne, le sous-ensemble est remplacé. Ainsi, le contact et l'exposition paraissent limités, tant pendant la durée d'utilisation normale de l'appareil que lors des éventuelles réparations.

Les FCR ont été utilisées au cours des années 1990 en substitution à l'amiante. L'arrêt total de ces fibres date de l'année 2005 pour la France. Les données Taylor Nelson Sofres (TNS) - Société française d'études par sondages (Sofres) proposées par le GIFAM indiquent que le taux d'équipement des foyers français s'élève actuellement à 45,9 % dont 14,6 % avec des tables de verre ou vitrocéramique (29,3 % pour les tables email ou inox et 3,0 % pour les tables à induction). Les données évaluent la durée de vie d'une table de cuisson à 8,7 ans et l'existence actuelle de 12,9 millions de ces équipements au sein des foyers français. Enfin, le GIFAM estime que les ventes s'élèvent pour l'année 2005 à près de 1, 3 million de tables de cuisson.

Concernant les fours électriques, la FCR a été utilisée de façon confinée :

- Pour le calorifugeage sous forme de nappes isolantes placées entre la cavité et la paroi externe des fours,
- Comme joint interne (entre métal et verre) dans les portes de certains types de fours et cuisinières à pyrolyse. Environ 1 à 1,5kg de FCR ont été utilisées dans un four à pyrolyse dont la température s'élève à 500°C.

Le service après vente n'implique aucun contact avec les FCR puisque, par exemple, si la vitre du four casse, la porte entière est changée.

Les données TNS Sofres proposées par le GIFAM indiquent que le taux d'équipement des foyers français s'élève actuellement à 38,1 % dont 20,4 % avec des fours à pyrolyse. Les données évaluent la durée de vie d'un four à 9,8 ans et l'existence actuelle de 10,8 millions de ces équipements au sein des foyers français. Enfin, le GIFAM estime que les ventes s'élèvent pour l'année 2005 à près de 800 000 fours à encastrer.

Pour les tables de cuisson à gaz ou cuisinières à gaz, la FCR a été utilisée dans les années 80 sous forme de joints sur certains modèles émaillés entre brûleurs à gaz et tables.

Les données TNS Sofres proposées par le GIFAM indiquent que le taux d'équipement des foyers s'élève actuellement à 51,5 %. Les données évaluent la durée de vie d'une cuisinière à 10,8 ans et l'existence actuelle de 13,1 millions de ces équipements au sein des foyers français. Enfin, le GIFAM estime que les ventes s'élèvent pour l'année 2005 à près de 757 000 cuisinières.

Le chauffage d'appoint à gaz à catalyse

Le chauffage d'appoint à gaz à catalyse représente 5 % du marché du chauffage à gaz.

Il s'agit de radiateurs mobiles alimentés par du butane ou du propane liquéfié. La bouteille est placée dans le corps de l'appareil lui-même. La combustion du gaz a lieu en façade et produit une émission calorifique par rayonnement.

Trois technologies existent :

- la technologie « Infrarouge » - la combustion a lieu à la surface d'une briquette en céramique réfractaire qui rougit et génère un rayonnement infrarouge,
- la technologie « Infrableu » - la combustion a lieu à la surface d'un brûleur inox percé de multiples orifices calibrés générant un chauffage par convection et rayonnement,
- la technologie « A catalyse » la plus élaborée – la combustion a lieu sans flamme sur la totalité de la surface d'un panneau recouvert d'un catalyseur (à base de platine), à température plus basse que précédemment.

Pour la technologie à catalyse, la combustion a lieu sans flamme sur la totalité de la surface d'un panneau constitué de FCR recouvert d'un catalyseur à base de platine. Auparavant, les panneaux étaient constitués d'amiante. Il existe un producteur français qui achète directement le panneau imprégné. Ce dernier est découpé, passe ensuite sous une rampe afin de recevoir le platine puis est séché. Le panneau est ensuite serti dans un caisson.

Le panneau de fibres dans un tel appareil à catalyse représente environ 200 g. Ce qui correspond à une utilisation de 2 tonnes par an de FCR pour une fabrication de 10 000 à 20 000 appareils par an en France et 7 tonnes par an dans le monde.

Les chaudières

Le Groupement des Fabricants de Matériels de Chauffage Central par l'Eau Chaude et de Production d'Eau Chaude Sanitaire (GFCC) a mobilisé ses adhérents sur la problématique des FCR lors de la fabrication de chaudières. Le groupement représente des fabricants de chaudières domestiques, collectives ou industrielles. La distinction entre ces domaines dans les réponses paraît difficile. Seules les grandes entreprises du secteur ont répondu. Le GFCC indique que près de deux résidences principales sur trois sont équipées d'une chaudière individuelle ou collective. Le groupement évoque, pour l'année 2005, 300 000 chaudières collectives (150 000 pour le secteur résidentiel et 150 000 pour le secteur tertiaire) et 14 millions de chaudières individuelles (9,3 millions au gaz naturel et GPL, 4,2 millions au fioul, 0,5 million au bois et autre).

Le tableau XXII établit la répartition par secteurs de destination (logements ou équivalents logements).

Tableau N°XXII : répartition des chaudières par secteur de destination (audition GFCC, 2006)

Habitat	Chaudières individuelles	Chaudières collectives	Total
- Neuf	120 000	100 000	340 000
- Existant			
+ 1ère installation	120 000		
+ Remplacement	500 000	400 000	900 000
TOTAL	740 000	500 000	1 240 000

Les FCR principalement employées sous forme de panneaux, nappes et tresses (et parfois en vrac comme décrit par une entreprise, afin d'assurer l'étanchéité) connaissent diverses localisations :

- Protection d'éléments du corps de chauffe vis à vis de la flamme du brûleur où le corps de chauffe n'est pas refroidi par l'eau (Exemples : panneaux isolants dans le fond de la chambre de combustion, panneaux isolants situés autour de la chambre de combustion dans le cas de chaudières avec corps de chauffe « chambre sèche » (chaudières murales gaz ...)),
- Isolation des pièces et parties exposées à la flamme du brûleur de façon à éviter les risques de brûlures lors des manipulations et limiter les déperditions énergétiques (Exemples : panneaux et nappes d'isolants dans la porte ou la plaque qui ferme la chambre de combustion (plaque foyer...)),
- Etanchéité du circuit des produits de combustion (ou circuit de combustion) entre les éléments du corps de chauffe, du circuit d'évacuation des fumées ou de la porte de la chambre de combustion.

Plus généralement dans le cas de chaudières équipées de brûleurs à air soufflé, les FCR sont utilisées pour assurer l'étanchéité de l'assemblage brûleur/chaudière.

Concernant les quantités, une entreprise indique que les chaudières à gaz ou à fioul incluent entre 0 et 1,8 kgs de FCR. Une autre entreprise évoque des quantités variant entre 0,06 et 7,6 kgs pour l'isolation des portes, entre 0,01 et 8,13 kgs pour l'isolation du foyer. Enfin, une autre annonce 0,26 kg pour une chaudière à condensation et 0,60 kg pour une chaudière classique ; soit l'utilisation annuelle de 2846 kgs de panneaux de FCR. Les quantités varient donc considérablement selon le type et la taille de la chaudière (tertiaire ou industrielle) et le niveau et la possibilité de substituer ces fibres.

Les petits appareils électroménagers

Les FCR ont éventuellement été employées par le passé dans les petits appareils électroménagers.

Au final, la diminution et la substitution des FCR apparaissent probantes dans le domaine des applications domestiques.

A titre indicatif, les FCR isolent également une partie des cheminées domestiques alimentées au gaz donnant l'illusion d'un feu de bois. Ces articles sont principalement

fabriqués et utilisés au Royaume-Uni. L'ECFIA indique que, selon leur source, ces produits ne sont ni fabriqués, ni utilisés sur le territoire français (ECFIA, 2006b).

Protection incendie

La Fédération Française du Matériel Incendie (FFMI) n'a pas répondu aux sollicitations de l'Afsset dans le cadre de cette instruction. Par ailleurs, quelques adhérents du Groupement Technique Français contre l'Incendie (GTFI) ont indiqué qu'à l'heure actuelle, les produits commercialisés dont les peintures et les vernis intumescents ne contenaient pas de FCR mais éventuellement des laines minérales. L'Association Française pour la Protection Passive contre l'Incendie (AFPPI), contactée dans le cadre de cette étude, a transmis des données par la voix d'un acteur majeur de l'isolation et de la protection incendie. Cette entreprise précise qu'à sa connaissance les FCR ne sont plus employées dans les applications contre l'incendie mais n'exclut pas leur usage passé éventuellement pour des portes ou des clapets coupe-feu.

Les multiples utilisations des FCR ont également concerné par le passé les applications de protection contre l'incendie notamment les portes coupe-feu, les rideaux de protection ou les peintures intumescentes (ECFIA, 2005). Hormis certaines applications anecdotiques et très particulières de protection feu, les FCR, substituées par des laines AES ou de roche, ne sont plus utilisées dans le bâtiment mais leur mise en place passée pose le problème de la gestion des fibres en place lors des réhabilitations et démolitions.

Textile et habillement

L'Institut Français du Textile et de l'Habillement (IFTH) a été sollicité afin d'initier une étude sur la présence des FCR dans les textiles inclus dans les vêtements de protection incendie. Après une consultation préalable auprès de leurs experts, l'IFTH nous a indiqué qu'il n'existait pas d'utilisation significative de ces fibres éventuellement présentes sous l'appellation "fibres minérales" sous forme de charges dans des matériaux composites ou complexes. La réglementation sur l'étiquetage des textiles n'impose une composition exacte que pour une teneur supérieure à 10 %.

Cependant, ce manque d'information n'exclut pas l'usage passé et éventuellement actuel des FCR dans les textiles résistant notamment aux hautes températures. Selon l'ECFIA, les textiles contenant des FCR ne sont plus fabriqués en France, mais peuvent être importés d'autres pays (Chine, Mexique, Europe de l'est) (ECFIA, 2005). Ils sont notamment produits à partir de fibres en vrac en Belgique. En France et en Allemagne, les fils de FCR sont importés (de Chine et du Mexique) et convertis en cordes, tresses, textiles et rubans.

Résines

Le Syndicat National des Formulateurs de Résines Synthétiques (SNFORES), après consultation auprès de ses adhérents, semble indiquer que les réponses parvenues excluent l'usage actuel des FCR dans la production de résines.

Peintures et colles

La Fédération des industries des peintures, encres, couleurs, colles et adhésifs (FIPEC) rapporte qu'après consultation auprès de certains adhérents, les FCR n'entrent pas dans la composition actuelle de leurs produits. La littérature référence parfois l'inclusion de FCR pour la préparation de peintures intumescentes destinées à s'épandre lors d'un incendie et éviter ainsi sa propagation ou protéger la surface recouverte.

Bâtiment et travaux publics

L'Organisme Professionnel de Prévention du Bâtiment et des Travaux Publics (OPPBTP) précise, qu'à sa connaissance, les FCR ne sont pas ou peu employées dans ce domaine.

Il existe à l'heure actuelle peu d'informations sur les quantités relatives à l'usage de ces fibres. L'ECFIA a estimé, qu'en 2004, 2 500 tonnes de fibres ont été utilisées en France. L'INRS avance le chiffre de 12 000 tonnes pour l'année 2003 (Catani *et al.* 2003) (l'ECFIA indique que ce volume définit les laines d'isolation haute température et comprend également les laines AES). Dans ce document, l'INRS indique que l'usage des FCR en Europe approche les 50 000 tonnes annuelles.

Le tableau XXIII présente l'isolation, par les FCR, dans les secteurs industriels majeurs du Royaume-Uni.

Tableau N°XXIII : utilisation des FCR dans l'industrie du Royaume-Uni (ERM, 1995)

Secteur industriel	Isolation estimée par les FCR (en %)
Procédé de l'acier et du fer	10
Métaux non-ferreux	<10
Fonderies	25
Forgeries	25
Ciment, chaux, plâtre	Inconnue
Briques	30
Verre	<10
Pétrochimie	50
Autres substances chimiques	50

4.1.8.4 Maintenance

Le Syndicat National des Entrepreneurs et Constructeurs en Thermique Industrielle (SNECTI), la Fédération Française des Entreprises Gestionnaires de services aux Equipements, à l'Energie et à l'Environnement (FG3E) et CTP Thermique ont été auditionnés dans le cadre de cette saisine. Les résultats collectés évoquent une certaine dichotomie entre les entreprises intervenant dans le calorifugeage d'industries lourdes et celles assurant une maintenance plus générale dans d'autres secteurs d'activité.

Le SNECTI représente de manière privilégiée les fumistes intervenant dans l'industrie lourde et une entreprise spécialisée dénommée les Constructions Thermiques Industrielles de l'Ouest (CTIO) a fait part de son expérience dans le calorifugeage en FCR lors de l'installation ou de la maintenance d'équipements lourds. Leur secteur d'activité s'étend à toutes les réalisations en thermique industrielle, notamment le garnissage des :

- Incinérateurs à ordures ménagères ou à déchets industriels,
- Fours de traitements thermiques, de fusion, de maintien, de galvanisation ou tunnel,
- Générateurs d'air chaud, chaudières et foyers tous types, cogénération, oxydeurs de buées, cheminées...

Par conséquent, les secteurs impliqués incluent les exploitants spécialisés dans le traitement des déchets et l'exploitation de chauffage, les industriels de la métallurgie, de la sidérurgie, de l'aéronautique, de l'automobile, de la fonderie, de la chimie, du raffinage, du bois, l'agro-alimentaire, les centrales de production d'énergie, l'industrie cimetièrè...

Les FCR se présentent comme un garnissage d'usure lié aux contraintes thermiques et servent à la fois de protection thermique à l'intérieur et à l'extérieur (protection des professionnels et de l'enceinte métallique). L'entreprise CTIO précise que le garnissage réfractaire présente à la fois des propriétés de protection en résistant à des températures

importantes, à du métal en fusion, à certaines attaques chimiques inhérentes à la combustion...et à la fois des propriétés d'isolation afin d'abaisser la température, éviter de détruire l'enveloppe métallique et protéger l'environnement immédiat. Le garnissage s'effectue principalement soit par des modules soit par l'ancrage et l'empalement de nappes.

L'entreprise CTIO souligne que le fumiste est en contact avec différents types de matériaux :

- Les réfractaires denses, façonnés (briques, pièces de forme...) et non façonnés (bétons, masses à damer, pisés...),
- Les briques et bétons isolants (bonne protection mais peu isolant),
- Les panneaux isolants (protection inférieure mais très isolant),
- Les fibres (sous certaines conditions notamment l'absence de contraintes mécaniques, bonne protection et bon isolant),
- Les laines de roche (faible tenue à la température mais très isolant).

CTIO souligne que l'isolation d'un four associe divers matériaux avec, par exemple, une succession de briques façonnées et de panneaux isolants d'alumine, de mullite ou de FCR. Ainsi, les bétons ou les briques réfractaires denses assurant une excellente protection se retrouvent souvent en première couche.

Les FCR, dans le four, sont présentes sous forme :

- De panneaux utilisés dans les garnissages en première couche et le plus souvent en sous-couches avec un renouvellement régulier,
- De nappes utilisées dans les garnissages le plus souvent en première couche et parfois en sous-couches et pour les joints de dilatation, autour des encadrements, les bourrages...la nappe est pliée en deux avant insertion dans la fissure du four,
- De modules utilisés dans les garnissages toujours en première couche,
- De cordons, tresses, tissus, mastics utilisés pour l'étanchéité des portes, entre portées métalliques, les bourrages....

De manière similaire, CTP Thermique identifie clairement la localisation des FCR dans les équipements de l'industrie pétrolière et participe aux réflexions en matière de substitution.

La FG3E regroupe 6 syndicats professionnels impliqués dans :

- La gestion, conduite, maintenance, entretien d'équipements de chauffage, de climatisation et d'eau chaude (de la chaufferie centralisée, alimentant tout un quartier, à la chaudière individuelle),
- L'exploitation d'installations de chauffage collectif et de climatisation dans les secteurs résidentiel, tertiaire et industriel,
- L'entretien dépannage, maintenance d'appareils individuels de production d'eau chaude sanitaire et de chauffage fonctionnant au gaz, fioul ou électricité,
- Les réseaux de chaleur et de froid permettant l'utilisation de toutes les énergies et de toutes les solutions innovantes pour chauffer et climatiser,
- La valorisation énergétique des déchets par incinération et utilisation des autres énergies renouvelables : biogaz de décharge, biomasse, bois, éolien, géothermie...
- Le traitement global des déchets par systèmes associés de tri, recyclage et valorisation (thermique et électrique) - Traitement des fumées, cendres et mâchefers.

La FG3E souligne que les prestataires adhérant à la fédération connaissent mal la nature des matériaux utilisés lors des interventions de maintenance mais qu'ils recommandent au technicien de se protéger lorsqu'il a un doute sur la nature du matériau à changer. Le technicien peut demander un prélèvement du matériau fibreux, souvent refusé par le propriétaire du site. Par ailleurs, le syndicat et les entreprises prônent la substitution lorsque cela est possible mais, pour des raisons de garantie, le technicien assurant la maintenance se contente, à partir de la référence produit transmise par le constructeur, de remplacer le matériau usagé à l'identique. Le groupe de travail regrette cette situation, notamment concernant la méconnaissance du produit manipulé et du paradoxe où la substitution est

irréalisable pour des raisons de garantie et d'incapacité à identifier la nature des matériaux. Les experts du groupe de travail souhaitent que des mesures soient prises pour corriger cette situation. En effet, les entreprises de maintenance, lors de leurs interventions, se réfèrent à la base de données regroupant les codes des articles et commandent à l'identique.

Cette situation est amplifiée (toute proportion gardée vis-à-vis des fumistes intervenant dans les fours d'industries lourdes) par le fait que les industriels exploitants indiquent qu'ils ne connaissent pas ces matériaux car ils délèguent les opérations de maintenance à des entreprises de sous-traitance.

La FG3E, pour la réalisation d'un guide à destination des entreprises de maintenance, a initié une enquête auprès des constructeurs de chaudières domestiques ou industrielles, de quelques fabricants de fours afin de connaître précisément la localisation des FCR dans les installations. Le taux de réponse, inférieur à 20 %, mentionnait quelques applications. Par ailleurs, comme évoqué précédemment, certains propriétaires ou gestionnaires (collectivités locales ou hôpitaux) refusent que des prélèvements soient réalisés. La FG3E souligne le manque de coopération de certains propriétaires de sites, pour lesquels elle réalise des prestations de maintenance.

La FG3E rapporte les travaux du SYNdicat NATional de maintenance et des Services Après-Vente (SYNASAV) sur l'isolation dans les chaudières domestiques. Le syndicat semble connaître de manière plus explicite les matériaux contenant des FCR dans les chaudières murales et au sol. Par ailleurs, le SYNASAV recommande, pour les appareils installés susceptibles de contenir des FCR, que la substitution ne s'effectue pas de manière systématique mais qu'elle ne soit réalisée que pour les matériaux dégradés ou ayant perdu leurs capacités d'isolants.

Dans le cadre des activités de maintenance réalisées par les adhérents de la FG3E, les FCR sont utilisées, d'après la documentation générale recueillie directement auprès de quelques constructeurs, en tant qu'isolant haute température, le plus souvent sous forme de tresses, modules, pièces de forme, panneaux et nappes (découpe possible) dans les équipements suivants :

- Chaudières individuelles et collectives (isolants de chambre de combustion, joints de portes et de brûleurs, trappes de ramonage...) 300 à 600 °C,
- Chaudières industrielles (isolants de chambre de combustion, joints de portes et de brûleurs, joints inter éléments) 400 à 1 000 °C,
- Fours d'incinération (réfractaires, joints de portes et de brûleurs, joints inter éléments) 900-1 000 °C,
- Cogénérations et groupes électrogènes (conduits d'échappement avec des nappes, joints de diverter) 450 °C,
- Panneaux radiants (plaques isolantes) pour le chauffage de grands volumes de type gymnase ou ateliers,
- Clapets et volets coupe-feu (joints devant tenir au feu pendant 2 heures à 1 000 °C).

Dans le bâtiment, les applications des FCR sont extrêmement limitées, elles peuvent se retrouver d'une manière tout à fait marginale dans des applications coupe-feu très particulières nécessitant une tenue au feu très importante telles que clapets et volets coupe-feu (joints en tresses) dans le réseau de désenfumage des immeubles résidentiels et tertiaires.

La FG3E note qu'aucun étiquetage n'existe sur la nappe ou à l'intérieur du produit indiquant la présence de FCR et invitant à la précaution. La fédération souhaiterait qu'une indication intérieure ou extérieure sur les matériaux et sur la pochette des tresses que les industriels reçoivent, soit clairement mentionnée.

4.1.9 Accessibilité et moyens de repérage de ces fibres

4.1.9.1 Accessibilité

L'accessibilité aux FCR varie avec l'application. Concernant les applications domestiques, les FCR sont soit encapsulées, soit intégrées dans les appareillages et ne peuvent pas, lors d'une utilisation normale, entrer en contact direct avec l'utilisateur (ECFIA, 2005). Dans les applications automobiles, les FCR sont encapsulées et inaccessibles pour le consommateur. Toutefois, le garagiste professionnel, la personne en charge du démantèlement du pot catalytique ou le propriétaire du véhicule assurant lui-même le remplacement de ses plaquettes de frein sont susceptibles de se trouver exposés à ces fibres.

En milieu professionnel, les FCR demeurent accessibles tout le long de la chaîne allant de leur production à leur traitement en tant que déchets en passant par leur transformation et leur utilisation comme matériaux d'isolation ou leur retrait lors des rénovations. Dans l'industrie aval, les FCR peuvent être accessibles lors de la fabrication de produits ou de l'utilisation de fibres non encapsulées, par exemple, les couvercles ou rideaux de protection. Par ailleurs, certaines fibres sont encapsulées et donc uniquement accessibles lors d'opérations ponctuelles.

Les industriels nous assurent qu'ils préconisent actuellement la mise en place de protections individuelle et collective, mais ce point n'a pas pu être vérifié.

Le rapport de l'ATS décrit quelques situations caractérisant les produits employés et les tâches exposées associées :

- Les coquilles moulées (pièces de forme) employées pour isoler les quenouilles des répartiteurs. La pose des coquilles au niveau de l'atelier répartiteur peut exposer les opérateurs pendant une durée brève, compte tenu des manutentions et ajustements nécessaires. Durant la coulée de l'acier, la majeure partie des coquilles est consommée. Le résidu dans le fond des répartiteurs est versé au sol dans une zone de stockage et ensuite chargé par bulldozer dans un camion benne. L'opérateur du bulldozer est donc potentiellement exposé,
- Les manchons (pièces de forme) employés pour isoler les busettes classiques des répartiteurs. Au niveau de l'exploitation, les opérateurs sont potentiellement exposés lors du préchauffage des busettes, lors de l'installation de la busette recouverte de l'isolant et lors de la mise en benne des busettes usagées,
- Les nappes employées pour le garnissage des portes de fours. Au niveau de l'atelier de montage des portes de fours, la découpe et la manutention de la nappe et le garnissage des portes et autres éléments sont des sources d'exposition pour les calorifugeurs et potentiellement pour les opérateurs d'atelier.

A titre d'exemple, une situation plus nuancée nous est relatée par l'UFIP : l'accessibilité se limite à l'installation, la maintenance, la préparation du ciment fibreux (qui ne doit pas libérer de FCR) et le retrait. L'UFIP souligne que seuls des prestataires de service, spécialisés dans le maintien des fours de distillation de pétrole, interviennent sur le calorifugeage des équipements tous les 5 à 6 ans et aucune maintenance interne n'est réalisée pour les FCR. Dans le cadre de ses activités, le prestataire doit transmettre un mode opératoire détaillé de son intervention et se soumettre au plan de prévention mis en place sur le site.

Les autres auditions nous apprennent que certains fours industriels sont *cycliques* : la matière est mise à chauffer dans le four et subit un cycle temps/température prédéterminé qui se termine avec le refroidissement du four et l'enlèvement de son contenu. Dans ce cas, le four subit en permanence des variations thermiques qui exigent un maintien soutenu de toutes les structures permettant la cohésion. Le renouvellement des joints en FCR servant

comme matériau d'adhésion est dans ce cas permanent, ce qui implique une accessibilité quasi quotidienne de ces fibres pour les fumistes en charge de l'entretien.

D'autres fours sont à *service continu*. Ils sont maintenus en permanence à haute température et subissent donc moins de chocs thermiques. Ils nécessitent moins de renouvellement de joints. Le four est garni de FCR et contient des tuyaux qui font partie du processus continu. Les opérateurs de four contrôlent l'état de la réaction par des capteurs de divers types (par ex. température et pression) et l'intérieur du four peut être visible par des « regards ». Dans les conditions normales de travail, le personnel de l'installation n'ouvre pas le four en activité continue.

Dans certains cas, des structures isolantes en FCR non encoffrées, comme les couvercles ou rideaux de protection peuvent être d'accès aisé pour tout un ensemble de salariés.

Ainsi, pour résumer, l'accessibilité aux FCR varie selon les applications professionnelles. Elle reste prépondérante pour les professionnels impliqués dans la production, l'installation, la maintenance ou le retrait des matériaux. En effet, leurs activités nécessitent une manipulation de ces fibres (ECFIA, 2005).

4.1.9.2 Comportement des produits en service et vieillissement

Les FCR sont des fibres d'aluminosilicate amorphe et ne contiennent pas de silice cristalline initialement (contrairement à beaucoup de réfractaires traditionnels). Cependant, lorsque la température dépasse les 980 – 1 000 °C, la matrice d'alumine et de silice se modifie chimiquement afin de former de la mullite, un composé cristallin d'alumino-silicate. Lorsque la température augmente jusqu'à 1 050 – 1 100 °C, l'excès de silice commence à cristalliser en cristobalite classée cancérigène par le CIRC en 1996. Lorsque la température continue de croître, la concentration de mullite reste constante. La conversion de la cristobalite apparaît maximale à 1 200 °C ; et à 1 400 °C, la cristobalite se convertit en une phase liquide visqueuse (Navy Environmental Health Center, 1997).

Les FCR peuvent donc partiellement se dévitrifier et former du quartz, de la cristobalite, et/ou de la tridymite après chauffage lors du fonctionnement du four (Maxim *et al.*, 1999). Les quantités de ces matières formées dans le garnissage du four dépendent de la durée et de la température. Avec les FCR, la dévitrification est confinée aux couches superficielles (c'est-à-dire à proximité de la face chaude), où les températures sont les plus élevées. Ainsi, le potentiel d'exposition des travailleurs à la silice cristalline est limité aux activités qui impliquent la dépose de l'isolation après usage.

Les producteurs de FCR ont mis au point des directives à appliquer sur le lieu de travail pour la dépose de la FCR après usage afin de réduire au minimum le potentiel d'exposition à la silice cristalline respirable (RCS) (ECFIA, 2005).

Les matières réfractaires à base de silice conventionnelle notamment la brique réfractaire, la *brique réfractaire isolante* (IFB), les bétons réfractaires, les pisés réfractaires, les mélanges projetés peuvent également se dévitrifier lors d'une exposition prolongée à des températures élevées.

Ainsi, le retrait de matières réfractaires conventionnelles et de FCR dans les fours industriels peut conduire, dans certains cas, à une exposition à des particules inhalables de silice cristalline (y compris le quartz, la cristobalite et la tridymite) (Maxim *et al.*, 1999). Par ailleurs, CTIO indique que les FCR sous forme de panneaux engendrent un peu de poussières au moment de la manipulation. Par contre, le dégagement s'élève lors des découpes sur chantier réalisées fréquemment avec des scies sauteuses ou circulaires (la découpe manuelle reste laborieuse). Les nappes génèrent également de la poussière lors de la manipulation mais se découpent aisément avec un cutter. Les cordons, les tissus ou les tresses génèrent peu de poussière et les mastics sont humides.

Après utilisation, les FCR, quelles que soit leurs formes, sont fréquemment friables et engendrent une poussière conséquente au moment de la manipulation. L'usage d'un fixateur reste limité aux poussières de surface et lors du démontage, des particules sont libérées.

4.1.9.3 Les moyens de repérage et d'identification des FCR

Les FCR ne peuvent pas être distinguées de façon fiable des autres fibres par une observation visuelle simple lorsque les fibres présentent la même structure laineuse et la même couleur. Les autres fibres présentant initialement une couleur et une texture différentes lors de leur installation peuvent être décolorées partiellement en fin de vie. Il existe toutefois plusieurs méthodes utilisées pour identifier ou faire la distinction entre les diverses fibres isolantes :

- Dans un contexte industriel, les entreprises conservent normalement une trace du type d'isolation utilisée. Ainsi, une recherche de documents et de plans auprès de bureaux d'études ou de sociétés d'ingénierie, peut être utilisée pour identifier le type d'isolation retenu. Par conséquent, la formation et l'information des professionnels paraissent capitales. Il n'existe pas de code ou de marquage spécifique indiquant clairement la présence de FCR. Le professionnel doit se référer à la fiche de données de sécurité lorsqu'elle est disponible pour les substances et préparations (contenant un certain pourcentage de la substance) ; cependant les articles contenant des FCR ne présentent pas de telles fiches. Par ailleurs, le consommateur qui manipulait un four électroménager ou des plaquettes de frein n'était pas en mesure d'apprécier la nature du matériau manipulé.
- La nature de l'application limite le nombre de choix possibles pour les fibres isolantes. Ainsi, un four défini par une température d'utilisation en continu de 1 200°C, ne contient certainement pas de laine de verre, laine de roche, laine de laitier ou d'amiante comme isolation de la « face chaude ». Une température de service aussi élevée nécessite l'utilisation de FCR, d'AES de « seconde génération » ou de fibres polycristallines. A l'inverse, une isolation de tuyaux basse température serait probablement réalisée avec des laines minérales plutôt que des FCR, ceci pour des raisons économiques.
- Enfin, les FCR peuvent être identifiées des autres fibres par analyse physico-chimique (microscopie électronique à transmission, spectroscopie à dispersion d'énergie de rayons X,¹ et diffraction électronique²). Ces essais nécessitent qu'un échantillon soit prélevé et envoyé à un laboratoire pour analyse.

Il est à noter que l'on utilise souvent les FCR en combinaison avec d'autres formes d'isolation (par ex. de la laine minérale). La présence de plusieurs formes d'isolation complexifie l'identification du type de fibre (ECFIA, 2005).

¹ Les fibres ont des "empreintes" caractéristiques permettant de les distinguer.

² On utilise la diffraction électronique pour faire la distinction entre les fibres amorphes et les fibres cristallines.

4.1.10 Prise en charge et traitement des déchets contenant des FCR

L'INRS (2003) rappelle les procédures inhérentes à la prise en charge et le traitement des déchets contenant des FCR classées cancérigènes catégorie 2. Le nettoyage doit se faire chaque fois que possible par voie humide. Il convient de proscrire absolument l'emploi de la soufflette ou d'autres procédés dispersant les fibres comme le balayage. Les aspirateurs doivent être équipés de filtres à très haute efficacité, dits absolus.

La banalisation des FCR conduit souvent à considérer les résidus comme des déchets industriels classiques. C'est ainsi qu'on les retrouve dans les bennes à déchet ou dans les poubelles, sans aucun emballage. Les déchets de FCR doivent être collectés dans des sacs spéciaux comportant la même étiquette que les emballages neufs et considérés comme déchets dangereux (dès lors que la concentration dans le déchet en fibres classées R49, cancérigène catégorie 2, est supérieure à 0.1 % – décret 2002-540 relatif à la classification des déchets). Entrent dans la catégorie de déchets de FCR :

- Les surplus, les chutes,
- Les matériaux fibreux résultant de la dépose,
- Les filtres des installations de ventilation,
- Les sacs d'aspirateurs,
- Les combinaisons, les masques, les filtres.

Ces déchets doivent ensuite être envoyés en centre d'enfouissement technique (CET) de classe I (décharge pour déchets dangereux) destiné aux déchets industriels spéciaux.

Aux Etats-Unis, l'EPA n'a pas classé les fibres synthétiques vitreuses comme déchet dangereux lors de la rédaction du « Resource Conservation and Recovery Act » (RCRA). L'agence considère par ailleurs que les fibres dont le diamètre s'avère inférieur à 1 µm doivent être définies comme déchet dangereux et, par conséquent, suivre les prescriptions du « Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act » (CERCLA). L'US-Navy suggère que toutes les fibres synthétiques vitreuses soient humidifiées puis placées dans un conteneur hermétique avant d'être stockées dans une décharge (ATSDR 2004).

Déchets des industriels producteurs de FCR

- **Unifrax**

Une partie des déchets de production se retrouve recyclée dans le processus. Les autres déchets de fibres sont transportés dans des bacs étanches puis placés dans les alvéoles accueillant l'amiante liée, dans les CET de classe II (décharge pour déchets non dangereux) (116 Euros /tonne). La préfecture souhaite toutefois orienter ces déchets en CET de classe I (535 Euros /tonne).

- **Thermal Ceramics**

L'entreprise possède sa propre décharge privée déclarée et autorisée par la DRIRE. Le recyclage reste conséquent et les reflux de production sont orientés vers la production de panneaux. La décharge suit les mêmes spécifications qu'une décharge de classe II.

Les producteurs français refusent dorénavant de récupérer les déchets des clients susceptibles d'être contaminés (notamment par le fer ; 1 à 2 % de fer implique une perte de 100 °C à la production).

Les mélanges d'AES et de FCR provenant des dépoussiéreurs et éventuellement souillés par les lubrifiants sont envoyés directement en décharges.

Les deux entreprises assurant la production et la transformation des FCR estiment leur production individuelle et annuelle à plusieurs centaines de tonnes de déchets.

Déchets des industriels utilisateurs de FCR

Au vu des résultats collectés pour les utilisateurs de FCR, les réponses paraissent contrastées et dépendent plus de l'entreprise que du secteur d'activité. Ainsi, pour les activités industrielles de la céramique, des tuiles et briques, du verre, de la chimie, des métaux ferreux (fonderie et sidérurgie) et non ferreux... les procédures varient considérablement.

Pour les FCR utilisées par le personnel interne à l'entreprise, la plupart des industriels auditionnés indique orienter ces déchets dans une filière spécifique en les conditionnant en big bag identifiés et en les éliminant en CET de classe I (en suivant les préconisations établies pour les déchets d'amiante). D'autres les éliminent en CET de classe II avec des sacs identifiés, en CET de classe III (décharges pour déchets inertes), ou dans d'autres filières spécifiques qui n'ont pas été indiquées lors des entretiens. Certains disent étudier actuellement des solutions sans apporter plus de précisions. Cependant, d'autres entreprises les éliminent avec les déchets industriels banals et les gravats. Enfin, certains industriels indiquent l'absence de déchets contenant des FCR en raison de leur destruction lors de la coulée.

Par ailleurs, la plupart des industriels auditionnés souligne que les déchets ou chutes, occasionnés par les prestataires habilités résultant de la maintenance, de l'installation ou la rénovation des équipements comme les fours ou le calorifugeage, relèvent de la responsabilité de l'entreprise externe.

De manière contradictoire, les fumistes ou les constructeurs d'équipements auditionnés en charge de la maintenance, de l'installation, de la rénovation et parfois du démantèlement soulignent, à juste titre, que les déchets relèvent de la responsabilité du propriétaire. Ainsi, à la demande du propriétaire, ils peuvent organiser l'enlèvement de ces déchets avec des niveaux variables de précaution ou les laisser sur le site à la charge de l'entreprise qui peut ensuite éventuellement faire appel à une entreprise spécialisée.

A titre indicatif, si une entreprise confie à un prestataire le soin de procéder à l'élimination de ses déchets, celui-ci doit effectuer une élimination en bonne et due forme et l'entreprise doit tout faire pour qu'il puisse réaliser une élimination correcte. Une entreprise qui donnerait des consignes incompatibles avec la nature de son déchet (ou qui ne dirait pas tout de la nature exacte de son déchet) pourrait être tenue responsable de la mauvaise élimination de son déchet, même si elle l'a confiée à un prestataire.

A l'heure actuelle, les déchets d'équipements électroménagers sont orientés en décharge pour déchets ménagers. De même, les chaudières centrales sont considérées comme des déchets industriels banals et traités fréquemment en centre de tri. Les déchets issus des maintenances successives dans ce secteur ne connaissent pas de traitement particulier.

Les données restent malheureusement manquantes pour le secteur de l'automobile, de la construction navale ou de la protection incendie.

Il paraît cependant intéressant de souligner que certains industriels auditionnés ne connaissent pas la nature des isolants employés et donc la composition des fibres présentes dans leurs installations. Par conséquent, l'orientation inappropriée des déchets contenant des FCR découle parfois de ce manque de connaissances.

L'Union Nationale des Exploitants du Déchet (UNED) et la Fédération Nationale des Activités de la Dépollution et de l'Environnement (FNADE) ont été auditionnées sur la question des déchets contenant des FCR.

L'UNED regroupe principalement les exploitants de centres de stockage de classe III pour les déchets inertes. Suite à une consultation auprès de leurs adhérents, l'occurrence de tels déchets paraît faible et non signalée. Ainsi, ces déchets sont peut-être réceptionnés en petites quantités dans des centres de transfert en mélange avec des déchets de démolition puis acheminés vers des centres de stockage de classe III.

La FNADE représente les trois principaux exploitants de CET de classe I et II. Actuellement, la FNADE recense 13 CET de classe I en charge de la gestion annuelle de 200 000 tonnes de déchets dangereux. La répartition des sites se partage entre Séché (1 site), Sita (6 sites) et Veolia (6 sites).

Pour ces exploitants, les résidus de production identifiés sous forme de FCR en vrac sont considérés comme de l'amiante. Cette classification implique un certificat de non mélange afin d'éviter d'exposer le personnel. Les FCR sont conditionnées, à l'image de l'amiante, dans des doubles sacs tracés. Le stockage implique un coffrage dans une alvéole destinée à cet effet. (Extrait de l'arrêté du 30/12/02 sur le stockage de déchets dangereux : *Les déchets contenant de l'amiante ne sont pas mélangés avec d'autres déchets dans une même alvéole si ce n'est au-dessus et au-dessous. L'alvéole destinée aux déchets contenant de l'amiante est entourée d'alvéoles de déchets solidifiés. Les techniques de mise en œuvre permettent de garantir la traçabilité et la stabilité de cette alvéole. Il n'est pas exploité plus d'une alvéole de déchets contenant de l'amiante à la fois. Les déchets conditionnés sont manipulés et stockés de manière à éviter au maximum les risques de dispersion des fibres. Des consignes sont données aux employés du centre de stockage dans ce sens.*)

Cependant, il existe peu d'informations sur les solides susceptibles d'en contenir. Lors d'un doute, l'exploitant demande une analyse du déchet par microscopie optique ou à balayage.

De même, l'exploitant vérifie les camions afin de s'assurer de l'étanchéité du conditionnement des big bags par l'intermédiaire d'un comptage des fibres. La mesure est effectuée par une sonde et un compteur simple qui donne sans distinction précise une estimation des concentrations de fibres. Le seuil de refus est fixé à 5 f/ml. Si la limite est dépassée, soit le camion est renvoyé, soit le chargement est pris en charge par une équipe spécialisée amiante.

Après discussion, les FCR identifiées par les exploitants de CET de classe I proviennent principalement des résidus de production (ou de transformation) sous forme de vrac et quelquefois de nappes. Les déchets de FCR sous forme de modules, panneaux, textiles, nappes et parfois en vrac provenant des usines de transformation ou des secteurs d'utilisation restent massivement inconnus. En effet, le bordereau de suivi concernant les déchets dangereux et donc relatifs aux FCR fait l'objet d'un système déclaratif par le producteur de déchets. Cela implique la connaissance de la nature du déchet par le producteur et la volonté de le déclarer.

Les exploitants s'accordent pour indiquer le manque d'informations et d'identification pour les FCR liées. En cas de signalement, elles sont dirigées en CET de classe I.

Ainsi, les exploitants de CET de classe I reçoivent éventuellement des déchets signalés comme dangereux susceptibles de contenir des FCR mais sans en avoir pris connaissance (pas de traitement spécifique fibres). Ce déchet suivra donc les prescriptions d'un déchet dangereux sans avoir été signalé comme un déchet incluant des FCR impliquant une exposition éventuelle des salariés lors des manipulations et le défaut de stockage dans des alvéoles spécifiques.

Le tableau XXIV illustre pour l'année 2005 les déchets de FCR clairement identifiés et traités sur les sites des trois exploitants français.

Tableau N°XXIV : déchets de FCR clairement identifiés et traités sur les sites des trois exploitants français de CET de classe I pour l'année 2005 (audition FNADE, 2006)

Activités	Tonnage
Fabrication de freins	100
Câblage et communication	0,8
Métaux	4,3
Pétrochimie et nettoyage industriel	43,6
Production d'énergie	2,3
Aciérie, cokerie	29
Verrerie, pétrochimie	11
Verrerie, équipementier électrique	43,3
Cimenterie, tôlerie	8,1
Céramique	17
Divers	6,5
Sidérurgie, pétrochimie, métallurgie et centrales de combustion	20
Total	285,9

Les quantités de déchets de FCR identifiées par les exploitants de CET de classe I s'élèvent donc à 285,9 tonnes. Ces quantités paraissent dérisoires et largement sous-estimées au regard des données de production et d'utilisation sur le territoire français et ne présentent pas tous les secteurs industriels les employant.

4.2 Produits de substitution

La littérature et les diverses auditions suggèrent l'existence de matériaux de substitution de nature fibreuse et non fibreuse. Les alternatives fibreuses considérées dans les recherches passées et actuelles incluent notamment :

- les laines minérales naturelles comme la wollastonite ;
- les laines minérales artificielles (laine de verre, de roche et de laitier) ;
- les fibres de quartz ;
- les laines d'isolation haute température à faible biopersistance (les laines de silicate alcalino-terreux, les silicates de calcium et de magnésium éventuellement dopés avec de la zirconite) ;
- les fibres polycristallines comme les fibres réfractaires d'alumine (incluant la mullite), les fibres d'alumine-bore-silice et les fibres de zirconite. Elles se présentent sous forme de laines oxydes (Saffil, ZrO_2) ou non oxydes (Carbone) mais aussi sous forme continue pour les oxydes (Nextel®, FP, Al-B-Si) ou non oxydes (SiC, carbone, Si_3N_4) et
- Les fibres monocristallines sous forme d'oxydes (Al_2O_3) ou non oxydes (SiC).

Les matériaux non fibreux susceptibles de substituer les FCR incluent :

- les briques réfractaires ;
- les masses réfractaires d'isolation et
- les autres produits non fibreux comme les mousses céramiques réfractaires.

Citons pour exemple le recours à des fours maçonnés à double paroi au lieu d'un revêtement intérieur en FCR. Cette technique plus ancienne était tombée en désuétude ; elle se révèle de nouveau d'actualité, en raison de la toxicité des FCR et des moyens de protection à mettre en œuvre pour leur mise en place et leur retrait futur (Catani *et al.*, 2003).

D'autres produits plus anecdotiques peuvent être cités comme la silice pure, la cordiérite, la kyanite, le phosphate de sodium et zirconium, le carbure de silicium, les silicates de mullite – zirconite et de lithium, l'alumine pure mais également l'utilisation de technologie alternative comme les fours à double revêtement de verre (RPA, 2006).

L'ERM (1995) conclut, dans un rapport portant sur l'industrie des FCR dans les années 1990, que malgré le fait que les fibres ou les matériaux de substitution se définissent par des propriétés thermiques similaires, toutes s'avèrent plus coûteuses que les FCR et plus difficiles d'utilisation.

La comparaison reposait alors sur un examen détaillé de certains critères incluant la disponibilité, l'aptitude, le danger et le coût relatif des alternatives proposées au cours des années 1990.

La partie relative à la substitution s'attache à présenter principalement les alternatives possibles en terme technique en évoquant leurs avantages et leurs limites. Cependant, une revue exhaustive de la littérature concernant la toxicité des alternatives devra être réalisée avant se prononcer définitivement sur leur toxicité.

Le tableau XXV présente l'évaluation comparative des substitutions aux FCR réalisée par l'ERM en 1995.

Tableau N°XXV : comparaison des alternatives aux FCR (ERM, 1995)

Matériau	Température d'utilisation maximale continue	Conductivité thermique	Masse thermique	Faible densité	Facilité d'usage	Effet sanitaire	Coût
Fibres de silice extraite	X	X	✓	✓	X	?	X
Fibres de silice lixiviée	X	X	✓	✓	X	?	X
Fibres d'alumine réfractaire	✓	✓	✓	✓	X	?	X
Fibres alumine-bore-silice	✓	✓	✓	✓	✓	?	X
Fibres de zircone	✓	✓	✓	✓	X	?	X
Brique réfractaire d'isolation	✓	X	X	X	✓	✓	✓

X inférieure aux FCR

? incertain

✓ supérieure ou comparable aux FCR

La substitution des FCR par des matériaux classés moins dangereux ou des procédés évitant leur mise en œuvre doit prendre la priorité sur les autres mesures de prévention (décret CMR n° 2001-97 du 1er février 2001). La première mesure de prévention est donc la suivante : utiliser les FCR uniquement dans le cas où elles sont techniquement indispensables. Le critère de température reste souvent prépondérant dans ce choix mais n'apparaît pas la seule contrainte ; il faut notamment apprécier la tenue mécanique.

Le tableau XXVI présente et compare les diverses alternatives potentielles aux FCR en terme de température maximale et de coût relatif.

Tableau N°XXVI : comparaison FCR/ fibres de remplacement (Catani *et al.*, 2003)

Fibres	Température maximale d'utilisation (°C)	Echelle de coûts
FCR	1 200	+
FCR Zircon	1 400	++
Laines minérales	400 à 800	+
Wollastonite	1 000	++
Laines d'isolation haute température	1 000 à 1 200	++
Silice vitreuse	1 100	++++
Oxydes Al-Si-B	1 200 à 1 300	+++++
Alumine	1 600	+++
Mullite	1 600	++++
Zircon	1 800	++++++

A l'image des FCR, l'usage des substituts peut impliquer la présence de quartz et la formation de cristobalite après chauffage. Les nouvelles alternatives à base de silicates d'alcalino-terreux ne contiennent pas de quartz (Maxim *et al.*, 1999).

L'augmentation des coûts liés à la substitution des fibres céramiques résulte principalement de la perte d'énergie, la hausse du coût de maintenance, la modification des installations et une qualité moindre des produits. Une étude menée aux Etats-Unis en 1996 évoque un coût annuel supplémentaire de 954 millions de dollars pour les secteurs de la céramique, du verre, la forgerie, la pétrochimie, l'aluminium et l'acier (RCFC, 1996).

4.2.1 Les laines de silicates alcalino-terreux (AES)

Les laines de silicates alcalino-terreux (AES) sont produites depuis le début des années 1990 ; principalement pour substituer les FCR et certaines laines minérales dans des applications domestiques. Certains industriels emploient le terme de « fibres bio » ou « fibres vertes ».

Commentaires du groupe de travail :

Fibre « bio » ou fibre « verte » sont des termes inappropriés et devraient être interdits pour qualifier des fibres synthétiques minérales. Ces fibres ne sont pas d'origine biologique et n'ont en effet rien de commun avec les fibres biologiques pourtant très nombreuses (coton, bambou...). Outre le respect de l'environnement, ces nouvelles fibres biologiques présentent de nombreuses qualités (biodégradable, antibactérien, anti-transpirant, infroissable, anti UV...) et sont essentiellement utilisées dans le secteur du textile.

Les laines AES n'ont rien à voir, non plus, avec un produit « bio », c'est-à-dire élaboré à partir de matières premières issues au moins à 97 % de l'agriculture biologique, ou répondant à des critères précis de respect de l'environnement. Aucun test n'est effectué pour contrôler l'émission en fibres de ces produits et, au mieux, la toxicité de ces fibres est testée dans des essais de biopersistance à court terme, dans lesquels on ne se préoccupe d'ailleurs pas de l'issue des produits de solubilité.

Les « fibres dites vertes » existent aussi, mais elles sont obtenues à partir de matière végétale (chanvre, lin...). Et si elles possèdent effectivement des caractéristiques pour l'isolation thermique et phonique des bâtiments, elles ne sont en aucun cas comparables avec des laines AES sur le plan des caractéristiques physico-chimiques (résistances thermique ou mécanique...).

En 2005, l'ECFIA considérait que les laines AES représentaient 55 % du marché européen des laines d'isolation pour les hautes températures, accentuant la diminution des ventes des FCR. Les laines AES substituent les FCR pour des applications nécessitant une température inférieure à 1 100 °C (marché des appareils ménagers, application grand public, industrie). Les ventes européennes sont estimées autour des 20 – 25 000 tonnes par an (ECFIA, 2005).

En France en 2005, une production d'environ 16 000 tonnes d'AES et 7 000 tonnes de FCR était prévue (ECFIA, 2005).

Les laines AES sont produites par centrifugation à partir d'un mélange de minéraux contenant de la silice, du calcium et/ou du magnésium et parfois additionné de zircon, de titane, d'alumine et d'autres traces d'oxydes. L'addition de ces oxydes permet de modifier les propriétés du mélange, ses caractéristiques (viscosité, tension de surface) et le processus industriel. Les laines AES présentent les mêmes propriétés thermiques que les FCR, notamment la conductivité thermique et la capacité calorifique.

Le tableau XXVII compare la composition originale des laines AES, des FCR et des laines minérales.

Tableau N°XXVII : composition commerciale des laines AES, des FCR et des laines minérales (% pondéral) (ECFIA 2005)

oxydes	Laines AES	FCR	Laines minérales
SiO ₂	50 - 82	47 - 54	38 – 70
Al ₂ O ₃	< 2	35 – 51	0 – 23
Oxydes alcalins	< 1	< 1	0 – 18
Oxydes alcalino-terreux	18 – 43	< 1	8 – 45
Oxydes de fer	<1	< 1	0 – 12
Oxydes de zirconium	0 – 6	0 – 17	< 1

Les laines AES sont enregistrées sous le numéro CAS 329211-92-9. Les silicates de magnésium et de calcium (CMS), enregistrés sous le numéro CAS 436083-99-7, appartiennent à cette famille et sont produits à partir de calcium, de magnésium et de silice. D'autres oxydes, à l'image de la zircone, peuvent se voir ajoutés afin d'optimiser la résistance thermique ou d'autres propriétés (dénommées alors CMSZ).

Les laines d'isolation haute température renferment un taux supérieur à 18 % d'oxydes alcalins et alcalino-terreux qui leur confère une solubilité plus importante dans les milieux biologiques, notamment dans le poumon. Ces fibres n'appartiennent pas à la catégorie des FCR. Ces laines d'isolation haute température existent dans les mêmes présentations que les fibres céramiques. On retrouve ainsi les fibres en vrac, des nappes, des nappes humides, des feutres, des panneaux, des panneaux rigides, des produits moulés sous vide, des papiers, des bandes et des tresses. Les données de tenue en température diffèrent selon les fabricants et les produits (Catani *et al.*, 2003).

Deux « générations » de fibres AES ont été développées comme des substituts possibles à la FCR.

La « première génération », introduite dans les années 1990, correspond aux fibres appelées CMS (Calcium and magnesium silicate). Les fibres de « première génération » sont vendues sous différentes marques commerciales regroupant entre autre :

- Calsimag®, (SiO₂ 63-69 %, CaO 27-31 %, MgO 3-5 % et autre < 3 %)³ ;
- Insulfrax® (SiO₂ 62-67 %, CaO 28-33 %, MgO 1-6 %, autres 0-1 %)⁴ ;
- et Superwool 607™ (SiO₂ 60-70 %, CaO 25-35 %, MgO 4-7 %, et autre 1 %)⁵ .

Les produits basés sur ces matériaux incluent la fibre en vrac, les nappes aiguilletées, les panneaux et les pièces de forme ainsi que les produits de protection incendie de marques FireMaster 607™, FyreWrap®, et FlameCheck™. La température maximale d'utilisation en continu de ces fibres de « première génération » varie selon l'application, mais elle est en règle générale inférieure ou égale à 1000-1100°C.

³ Vesuvius USA Corporation Cer-wool Fiber Insulation Products, VES211/10M/08.03.

⁴ Fiche de sécurité matérielle Unifrax, Insulfrax 1800 Blanket, 04/02/2002.

⁵ Thermal Ceramics, Superwool Product Information (07.02/11 14-120).

Les fibres haute température à faible biopersistance de « seconde génération » ont été commercialisées au début de l'année 1998. Leur volume de ventes a progressé en remplacement des FCR pour les applications à plus haute température. La température maximale d'utilisation en continu de ces matériaux AES de « seconde génération » varie selon l'application, mais elle se situe en règle générale dans l'intervalle 1100-1250°C.

Les fibres de « seconde génération » sont vendues sous les marques commerciales incluant :

- Isofrax® et Isofoam® (SiO₂ 70-80 %, MgO 18-27 %, autres 0-4 %)⁶ ;
- Superwool 607 HT (SiO₂ 70-80 %, CaO+MgO 18-25 %, et autres <3 %)⁷ ;
- et Superwool 607 Max™ (SiO₂ 60-70 %, CaO 16-22 %, MgO 12-19 % ;et autres <1 %)⁸.

Certains produits fabriqués par des producteurs américains tels que Zircar Z-MAG/2300 ou Zircar Insulation Blanket Z-MAG-B peuvent alimenter de manière restreinte le marché européen de l'isolation à haute température.

Bien que les laines AES de « seconde génération » présentent une température maximale d'utilisation en continu plus élevée que celle des fibres de « première génération » et qu'elles soient utilisables comme substitut aux FCR dans certaines applications, leur température maximale reste inférieure à celle des FCR.

Le tableau XXVIII présente des diamètres moyens pondérés par la longueur pour deux échantillons de laines AES en sortie de production et le pourcentage pondéral de particules.

Tableau N°XXVIII : diamètre de deux échantillons de fibres AES et pourcentages associés de particules non fibreuses (CIRC, 2002)

Produit	Diamètre des fibres (µm)		Particules ou Shots (pourcentage par poids)
	Moyenne	Déviat ion standard	
Laine AES	2,2	2,5	35
	3,0	2,4	40

L'ECFIA indique que les diamètres moyens pondérés par la longueur des laines AES (produites uniquement par centrifugation) s'échelonnent, de manière analogue aux FCR manufacturées par centrifugation, entre 2 µm et 3 µm (ECFIA, 2006b). La distribution des diamètres pour les FCR produites par centrifugation présentée à la figure 11 reste pertinente pour les laines AES.

⁶ Fiche de sécurité matérielle Unifrax Isofrax®/Isofoam® fibre en vrac MSDS numéro M0382 01/02/2002.

⁷ Thermal Ceramics, Superwool Product Information (07.02/11 14-120).

⁸ Thermal Ceramics, Superwool Product Information (07.02/11 14-120).

La figure 22 illustre les domaines d'application des laines AES en 2005 :

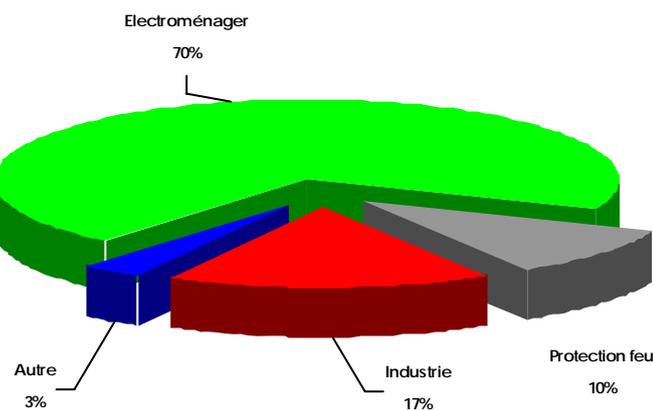


Figure N°22 : domaines d'application des fibres AES (ECFIA, 2005)

Les applications domestiques représentent 70 % du volume produit avec un développement croissant depuis les années 90 dans l'électroménager en substitution des FCR et de certaines laines minérales (900°C maxi). Les applications protection feu représentent 10 % du volume produit avec un développement au début des années 90 en remplacement des FCR. Les AES apparaissent de plus en plus dans le secteur industriel en raison de leurs performances croissantes, notamment dans l'industrie des métaux non-ferreux et l'industrie des métaux ferreux.

L'ECFIA estime que la France apparaît comme le pays le plus avancé dans le domaine de la substitution des FCR par les AES. Cette substitution atteint 70 % actuellement et ne cesse de progresser. Les producteurs de FCR soulignent toutefois que, dans certains cas, les personnes effectuant la maintenance échangent les isolants à base d'AES par des produits contenant des FCR. Les pièces de maintenance pour le chauffage et éventuellement l'automobile peuvent être importées d'un autre continent moins scrupuleux sur la substitution des FCR.

Ces fibres de substitution sont donc plus particulièrement utilisées à des températures oscillant entre 600 et 900 °C. Au-delà de 900 °C, ces fibres peuvent se dévitrifier, développer de la cristobalite (cancérogène de catégorie 1 par le CIRC) et forment un mélange de phases cristallines composées de mullite, wollastonite, de diopside et d'autres types de silice libre. A 1100 °C, ces fibres ont atteint leur limite d'utilisation. D'autres conditions d'exploitation telles que la résilience, la vitesse des gaz dans la chambre de combustion au-delà de 40 m/s, l'atmosphère du four, le retrait du produit ou les vibrations peuvent conduire à des complications techniques et économiques.

Les AES sont exonérées de la classification en tant que substance cancérogène par l'Union Européenne. Les AES appartiennent, selon la directive 97/69/CE, au groupe des « fibres minérales artificielles vitreuses (de silicate) à orientation aléatoire, dont le pourcentage pondéral d'oxydes alcalins et d'oxydes alcalino-terreux ($Na_2O + K_2O + CaO + MgO + BaO$) est supérieur à 18 % ». Par ailleurs, les AES ont fait l'objet de tests individuels réalisés par les industriels et conformes au protocole ECB/TM/26 UE, rév. 7, Note Q, de la directive 97/69/CE. Elles présentent une biopersistance inférieure aux valeurs limites d'exonération imposées par la réglementation européenne. Sur la base de ces tests, les industriels ont demandé et obtenu que l'ensemble des AES disponibles sur le marché soit exonéré de la classification cancérogène européenne. Cependant, elles restent classées irritantes pour la peau par la Commission depuis 1997 (ECFIA, 2005).

Pour sa part, Le CIRC a choisi de ne pas établir d'évaluation générale des fibres récemment développées pour être moins biopersistantes, telles que les laines AES et les laines à haute teneur en alumine et faible teneur en silice en indiquant que « *cette décision repose d'une part sur l'absence de données disponibles chez l'homme, bien que de telles fibres testées sur l'animal semblent présenter un faible potentiel cancérigène et d'autre part sur la difficulté du groupe de travail du CIRC à classer clairement ces fibres dans des groupes, sur la base de leur composition chimique* ».

Le National Occupational Health and Safety Commission (NOSHC) (Douglas, 2001) a conclu, au vu des résultats d'études chroniques par inhalation chez le rat, que les laines CMS n'ont présenté aucun potentiel toxique ou fibrosant au cours des expérimentations animales. Par ailleurs, aucune donnée n'était disponible pour évaluer la toxicité et le potentiel cancérigène de ces fibres chez l'homme.

Le coût d'achat de ces laines AES reste supérieur de 30 % par rapport aux FCR classiques et nécessite, selon certains industriels, une maintenance plus fréquente. Cependant, les coûts indiqués dans ce paragraphe et pour les autres fibres ou produits de substitution ne représentent pas les coûts totaux incluant notamment le démantèlement des installations et le traitement des déchets.

4.2.2 Les laines minérales

Avant d'aborder d'autres matériaux qui pourraient être utilisés comme substituts aux FCR, il est utile de rappeler brièvement l'existence d'autres fibres qui ne peuvent être considérées comme des substituts adaptés. Ces fibres isolantes incluent les laines de verre, les laines de roche et les laines de laitier. La raison technique de base pour laquelle ces fibres sont inadaptées est leur température maximale d'utilisation en continu considérablement inférieure à celle des FCR. Les laines de verre restent adaptées pour des températures maximales d'utilisation inférieures à 500°C⁹. Les laines de laitier et les laines de roche présentent une limite de température d'utilisation en continu d'environ 650°C¹⁰. Elles ne peuvent donc pas être considérées comme des substituts aux FCR (ECFIA, 2005).

4.2.3 Les laines à forte teneur en alumine et faible teneur en silice (Laine HT)

Les laines HT, introduites au début des années 1990, se définissent comme des laines de roche à forte teneur en alumine et faible teneur en silice. Les composants traditionnels de la laine de roche restent des roches de type basalte ou diabase (dolerite) au sein d'un mélange avec des agents de fusion tels que le carbonate de calcium et la dolomite (CIRC, 2002).

Le diamètre moyen de ces laines s'échelonne entre 4 et 6 µm avec 30 % de particules et une densité de 2,8 g/cm³ (CIRC, 2002).

Pour les laines à forte teneur en alumine et faible teneur en silice, plus d'1 million de tonnes ont été produites pour le marché européen en 2000. Ces laines sont maintenant largement utilisées dans les mêmes applications que les laines de roche mais ne peuvent substituer les FCR que pour des températures relativement basses. Par conséquent, ces fibres ne constituent pas une alternative viable (CIRC, 2002).

⁹ Knauf Fiber Glass Insulation Products, information on Knauf 1000° insulation, disponible en version électronique sur <http://www.knauffiberglass.com/index.cfm?fuseaction=prd.dspProdDetail&ID=1>.

¹⁰ Voir Roxul, Technical Product Information Pipeinsulation 15080 Roxul® 1200, disponible en version électronique à l'adresse suivante : http://www.roxul.com/graphics/rx-na/canada_us/products/roxul_1200/roxul_1200_prod_info.pdf. Un intervalle de 650-700°C est indiqué pour la roche minérale dans Environmental Resources Management (1995). *Description and Characterisation of the Ceramic Fibres Industry of the European Union*, Référence 3059.

4.2.4 Les fibres polycristallines

Ces fibres réfractaires, également utilisées pour des températures supérieures à 1 600 °C, se distinguent des FCR par leurs meilleures performances à haute température, une meilleure résistance aux environnements chimiques agressifs et par leurs microstructures polycristallines et non vitreuses. Une multitude de fibres réfractaires à faible diamètre a été développée durant les 25 dernières années et inclut les titanates (octatitanate et hexatitanate de potassium), les whiskers de carbure de silicium (diamètre entre 0,1 – 0,5 µm), les whiskers de nitrure de silicium (diamètre entre 0,5 – 2,0 µm) et les fibres d'alumine (diamètre entre 1,0 – 5,0 µm). De plus, des filaments continus avec un diamètre supérieur à 150 µm sont produits avec une composition similaire.

Les fibres polycristallines sont utilisées dans des applications industrielles et automobiles pour des températures supérieures aux FCR, soit 1 600 °C. La température recommandée est inférieure dans les atmosphères contaminées des fours ou les atmosphères réduites (les fibres à faible teneur en silice restent alors privilégiées).

Les principaux producteurs de cette classe de fibres incluent notamment :

- Saffil (Royaume-Uni) ;
- Rath (Allemagne) ;
- Unifrax (Etats-Unis) ;
- Mitsubishi (Japon) et
- Denka (Japon).

Saffil et Mitsubishi restent à l'heure actuelle les producteurs mondiaux les plus importants. La liste n'inclut pas certains acteurs éventuels supplémentaires sur le territoire des Etats-Unis, du Japon ou de la Chine.

Les fibres polycristallines se définissent par des coûts élevés et connaissent une production limitée pour des applications spécifiques (ECFIA, 2005). Il existe deux lignes de production européennes (Royaume-Uni et Allemagne). Ces fibres constituent un marché parallèle (500 tonnes) et ne se définissent pas réellement comme une fibre de substitution (ECFIA, 2006b). Certains industriels estiment que la capacité de production mondiale s'élève entre 5 000 et 6 000 tonnes par an avec une part asiatique représentant 60 %. A l'heure actuelle, outre leur coût élevé, les capacités industrielles ne permettraient pas de produire assez de fibres polycristallines pour substituer les FCR (RPA, 2006).

Les whiskers monocristallins présentent des propriétés physiques et chimiques distinctes des FCR et s'adressent à des utilisateurs différents (ERM, 1995).

Les industriels s'accordent et suggèrent que, d'un point de vue technique, les fibres polycristallines peuvent être employées dans les applications actuelles des FCR. Cependant, les raisons évoquées précédemment et le manque de connaissances sur la toxicité de ces fibres limitent ce choix. Les consultations menées par RPA suggèrent que les fibres polycristallines sont utilisées de manière plus ou moins anecdotiques dans les applications suivantes :

Industrie de la chimie et de la pétrochimie

- Calorifugeage des tuyauteries à haute température ;
- Isolation réfractaire de vapo-craqueurs ;
- Isolation réfractaire de fours d'éthylène ;
- Isolation réfractaire de "reformers" de méthanol ;
- Isolation réfractaire de "reformers" d'hydrogène ;
- Isolation réfractaire de "reformers" primaire d'ammoniac.

Industrie des métaux ferreux

- Isolation réfractaire de fours de recuit ;

- Isolation réfractaire de fours de nitruration ;
- Joints de dilatation ;
- Isolation réfractaire de fours de réchauffage ;
- Joints de fosse de réchauffage ;
- Joints de fond de fours de recuit ;
- Isolation réfractaire de four de forge.

Industrie des métaux non ferreux

- Cônes de bouchée pour four de maintien ;
- Joints d'expansion de fours ;
- Manchons supérieurs de moules pour l'aluminium ;
- Garnissage de portes de fours de maintien, de fusion et de refusion.

Industrie du verre et de la céramique

- Intérieur et joints pour wagons de fours tunnel ;
- Joint d'expansion de fours et de portes ;
- Garnissage réfractaire de fours de première cuisson (biscuits) ;
- Garnissage réfractaire de four d'émaillage ;
- Garnissage réfractaire de fours de porcelaine ;
- Garnissage réfractaire de four pour réfractaires ;
- Garnissage réfractaire de four pour tuiles.

Industrie génératrice d'énergie

- Isolation de conduits de vapeur haute température ;
- Isolation des conduits d'évacuation de turbines à gaz.

Applications domestiques

- Support de corps de chauffe catalytique.

Automobile

- Isolation de conduits d'échappement ;
- Support de filtres à particules diesel ;
- Nappe de support et joints d'extrémité pour pots catalytiques.

Telles qu'elles sont produites, les fibres polycristallines présentent un diamètre moyen variant entre 3 et 6 µm, et seule une fraction faible de ces dernières est respirable. A ce jour, il n'existe pas d'études expérimentales permettant de préciser le potentiel toxique de ce type de fibres. Lorsque le CIRC a examiné ces matériaux en 1988, les fibres polycristallines ont été intégrées à la catégorie « fibre céramique ». De ce fait, ces fibres ont été incluses au groupe 2B. LE CIRC n'a pas abordé les fibres polycristallines en 2001 (ECFIA, 2005).

La directive 97/69/CE s'intéresse uniquement aux FMA vitreuses. Les fibres artificielles de nature cristalline ou polycristalline ne sont pas classées par cette réglementation. Ainsi, ces fibres ne sont pas classées par la directive 67/548/CEE.

Les dispositions du TRGS 905 (règles techniques pour les substances dangereuses élaborées en juillet 2005) (Allemagne) s'appliquent aux FMA définies par les dimensions établies par l'OMS. Ces dispositions concernent les fibres cristallines et vitreuses. Selon un industriel auditionné, le classement associe la responsabilité du producteur après une revue exhaustive de la littérature scientifique selon les lignes directrices décrites dans le TRGS 905.

Les résultats d'une série de tests toxicologiques semblent négatifs après inhalation chronique, injection intra-pleurale et ingestion chez le rat (contrôle positif avec un échantillon d'amiante). La nouvelle publication du TRGS 905 recommande toutefois une classification de toutes les fibres polycristallines en cancérigène de catégorie 3. Le comité Beraterkreises Toxikologie (BK-Tox) du Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS – comité de conseil pour les

substances dangereuses), après analyse, a recommandé au ministère du Travail allemand d'établir une classification provisoire des fibres polycristallines en cancérigène de catégorie 3 pour une période limitée de 4 ans. Par ailleurs, un sous-comité devra évaluer, dans un premier temps, si des échantillons représentatifs de fibres polycristallines respectant les dimensions établies par l'OMS peuvent être isolés. Un test approprié d'injection devra ensuite être validé. L'Institut de Fraunhofer a été mandaté pour établir la faisabilité de cette étude et a conclu qu'une fraction des tests semble irréalisable. Par ailleurs, les industriels souhaitent qu'une définition précise des termes « polycristalline », « fibre d'alumine » et du diamètre soit arrêtée avant toute décision de classement.

Le coût des fibres polycristallines reste largement supérieur à celui des FCR de l'ordre de 10 à 30 fois. Certains industriels soulignent toutefois que leur durée de vie reste amplement supérieure à celle d'une fibre homologuée vitreuse (de l'ordre d'un facteur de 10) (RPA, 2006).

4.2.4.1 Les laines

Les fibres réfractaires d'alumine sont produites par le processus sol-gel (processus par lequel une solution aqueuse de sels d'alumine est gelée au moyen d'un polymère organique). Les fibres, essorées et cuites à haute température pour aboutir à une structure polycristalline, présentent une forte concentration d'alumine leur permettant de résister à de hautes températures. La composition varie des fibres de mullite (72 % Al_2O_3 , 28 % SiO_2) à des fibres très riches en alumine (99 % Al_2O_3). Ces fibres peuvent résister à des températures comprises entre 1 480 et 1 600 °C et des environnements chimiques agressifs (ERM, 1995). Leur production a débuté dans les années 1970¹¹.

Le tableau XXIX résume les caractéristiques des laines polycristallines en les comparant aux FCR.

Tableau N°XXIX : comparaison générale des principales propriétés physiques des fibres d'alumine, de mullite et de FCR (Site Internet Saffil, 2006)

Propriétés physiques	Fibre riche en alumine (Saffil®)	Mullite	FCR
Procédé de fabrication	Sol-gel	Sol-gel	Centrifugation ou soufflage
Structure	Polycristalline	Polycristalline	Amorphe
Pourcentage d'alumine	95-97 %	72-85 %	47-52 %
Pourcentage de silice	3-5 %	15-28 %	48-53 %
Diamètre médian	3,0-5,0 µm	3,0-6,0 µm	1,5-4,5 µm
Point de fusion	> 2 000 °C	> 1 870 °C	> 1 760 °C
Contenu en Shot (particules non fibreuses)	Négligeable	Très faible	Variable

¹¹ Saffil® a été produit depuis les années 1970, voir <http://www.saffil.com/htiapp.htm>.

Les fibres polycristallines discontinues (répertoriées sous plusieurs numéros de registre CAS 1302-93-8) sont vendues sous plusieurs marques commerciales parmi lesquelles on peut citer :

- Altra® (plusieurs compositions variant entre 72 % Al_2O_3 , 27 % SiO_2 , et 97 % Al_2O_3 , 3 % SiO_2 , selon le produit) (Rath),
- Alcen® (80 % Al_2O_3) (Denka) ;
- Fibermax® (72 % Al_2O_3 , 27 % SiO_2 , autre <1 %) (Unifrax),
- Maftec® (diverses compositions variant entre 72 % Al_2O_3 , 27 % SiO_2 , et 95-96 % Al_2O_3 , 4-5 % SiO_2 , selon le produit)¹² (Mitsubishi),
- et Saffil® (95-97 % Al_2O_3 , 3-5 % SiO_2)¹³. Cette fibre, utilisée depuis les années 1970, permet de renforcer l'aluminium dans les matrices métalliques et reste largement utilisée comme fibre de renforcement dans les alliages légers.

Des liants à base de silice, d'alumine et de phosphate d'aluminium peuvent être employés afin de former une structure rigide isolante à haute température (RPA, 2006).

Ainsi, les fibres polycristallines se caractérisent par une limite d'utilisation prolongée d'environ 1 600°C et peuvent être des substituts potentiels à la FCR dans certaines applications. Toutefois, La nature polycristalline de ces fibres d'alumine limite les applications. En effet, leur fragilité rend difficile la manipulation et la transformation en produits sous forme de nappes par exemple.

Les applications concernant les fibres polycristallines enrichies en alumine intéressent en partie les usages présentés précédemment, notamment sous forme de mat, de nappe, de module, de panneau ou de pièce formée dans les matériaux constituant les fours de l'industrie des métaux ferreux. Les soudures, les retraits ou les joints de dilatation peuvent se voir ajuster à l'aide de mat, nappe, papier ou vrac. Ces fibres polycristallines d'alumine sont également utilisées dans les fours intermittents des forges, les fours de l'industrie de la chimie, l'isolation aérospatiale, l'industrie nucléaire ou des fours semi-conducteurs.

Ces fibres paraissent l'alternative principale des FCR sur le marché des pots catalytiques. Leur introduction depuis huit ans sur le marché de l'automobile n'a cessé de croître et ces fibres couvrent approximativement 35 % du marché européen (RPA, 2006).

Les produits contenant des fibres de mullite sont utilisés comme réfractaires principalement dans les fours de l'industrie du fer et du verre. L'application majeure concerne les briques de la chambre des fours à ruche. Ces produits à base de mullite sont également utilisés dans l'industrie de la céramique afin d'isoler les fours et les wagons.

Ces fibres sont ainsi produites sous diverses présentations relativement similaires aux FCR et sont parfois associées aux FCR afin d'accroître la résistance thermique du produit. Le coût des fibres en vrac s'élève entre 60 et 70 dollars par kilogramme (ERM, 1995).

4.2.4.2 Les filaments continus d'alumino-silicate

Les séries Nextel® de filaments continus fabriqués par la société 3M sont étroitement liées à ce qui a été cité précédemment. L'un de ces produits, le Nextel® 312, est une fibre aluminoborosilicate (numéro de registre CAS 12788-79-3, Al_2O_3 , 62 %, SiO_2 , 24 %, B_2O_3 , 14

¹² Mitsubishi Chemical Functional Products, Inc. MAFTEC Polycrystalline Alumina Fiber, disponible en version électronique sur http://www.yes-mks.co.jp/en/alumina/maftec_01.html.

¹³ Documentation technique disponible sur <http://www.saffil.com/over.htm>.

%) ; d'autres contiennent de l'alumine, de la silice et de l'oxyde de bore dans diverses proportions. Elles sont également fabriquées par processus sol-gel afin d'aboutir à des fibres polycristallines mais sont étirées en filaments continus. Ces filaments, connus également sous la dénomination de fibres de « silice-alumine-bore », présentent un diamètre compris entre 7 et 12 μm , ce qui les exclut de la classification cancérigène selon la directive européenne 97/69/CE. La température maximale d'utilisation prolongée de ces matériaux s'échelonne entre 1 200 et 1 350°C¹⁴. Ces fibres peuvent être utilisées à des températures continues entre 1 370 °C et 1 650 °C pour de courtes périodes. Ces fibres sont transformées uniquement en textiles ou toiles et ne sont pas commercialisées sous forme de nappes ou modules.

Lorsque le CIRC a examiné ces matériaux en 1988, les fibres Nextel® ont également été intégrées à la catégorie « fibre céramique » (ECFIA, 2005).

Les premiers filaments continus à base d'alumine ont été produits en 1974 par la société 3M et commercialisés sous la dénomination Nextel® 312. Ils contiennent seulement 62 % d'alumine avec du bore et de la silice. Les premiers filaments continus se composaient d'une structure amorphe avec une température d'utilisation inférieure à 1 000 °C due à la volatilité du bore. Le procédé Sol Gel utilisé pour la fabrication de la précédente série a été modifié afin de produire la série Nextel® 440 ou 480 (Al_2O_3 , 70 %, SiO_2 , 28 %, B_2O_3 , 2 %). Cette dernière contient moins de bore et résiste mieux à la température. Cette fibre permet de renforcer la mullite. La série Nextel® 720 (Al_2O_3 , 85 %, SiO_2 , 15 %) est produite à partir d'agrégats de grain de mullite et de grains d'alpha-alumine.

Les premières fibres dénommées Nextel® 312, 440 et 550 ont été développées pour des applications non structurelles dans l'isolation ou la protection contre l'incendie. Les séries suivantes Nextel® 610 et 720 entrent dans la composition structurelle de matrices métalliques, céramiques et polymères. Les industriels soulignent que ces filaments présentent de nombreuses qualités comme un faible poids, une flexibilité, une manipulation aisée et réduisent l'émission de poussières dans les fours (RPA, 2006).

La fibre Altex commercialisée par la firme Sumitomo Chemicals s'inscrit dans la catégorie des filaments continus d'alumino-silicate et se compose de 85 % d'alumine et de 15 % de silice amorphe (Bunsell, 2005).

DuPont a produit dans les années 1990 le premier filament polycristallin à 99,9 % d'alumine alpha sous le nom de Fibre FP (Bunsell, 2005).

Les filaments continus ne possèdent pas les propriétés isolantes des FCR, notamment en raison de leur diamètre élevé souvent supérieur à 6 μm . Certains industriels contestent ainsi le caractère substitutif de ces filaments. Ils sont préférentiellement associés à des fibres résistantes à haute température (RPA, 2006).

Ces fibres sont également impliquées dans l'isolation des pots catalytiques. Les autres applications concernent les cloisons des fours, les revêtements d'évacuation des fours, des joints préformés flexibles ou des joints d'expansion. Enfin, certains usages concernent les filtres à particules pour les engins diesel, les filtres haute performance pour les usines productrices d'énergie, les joints et dalles des navettes spatiales et les sorties d'échappement pour les avions militaires.

¹⁴ 3M Nextel™ Textiles, Ceramic fiber products for high temperature aviation applications, publié en novembre 1996.

Le tableau XXX propose quelques applications pour des textiles produits à partir de différentes séries de Nextel®.

Tableau N°XXX : applications pour les séries de filaments continus Nextel®
(site Internet 3M, 2006)

Applications	Textile Nextel®				
	312	440	550	610	720
Applications aérospatiales					
Radome	✓	✓			
Bouclier thermique	✓	✓			
Bouclier contre les débris de météorites	✓				
Matrice céramique			✓	✓	✓
Matrice métallique				✓	
Matrice polymère	✓			✓	✓
Applications automobile	✓				
Applications électroniques					
Fours de diffusion			✓		
Applications industrielles					
Four (fer, porcelaine)	✓	✓			
Cloison de division de four	✓	✓			
Joint de porte	✓	✓		✓	
Joint de tube	✓	✓			
Joint d'étanchéité	✓	✓			
Joint d'expansion	✓				

Ces fibres peuvent également être associées à des nappes d'AES dans les fours céramiques en combinant leurs propriétés respectives.

Les producteurs soulignent l'absence de cristobalite ou de silice libre après usage contrairement aux autres fibres réfractaires. La silice formée au sein de la fibre est présente sous forme de mullite, mélange stable d'alumine et de silice (RPA, 2006).

Les coûts s'élèvent de 218 à 404 dollars par kilogramme (ERM, 1995).

4.2.4.3 Les fibres de zircon

Les fibres de zircon contiennent plus de 89 % d'oxyde de zirconium, 8 % d'oxyde d'yttrium employé comme stabilisateur, < 2 % d'hafnia et < 1 % d'autres constituants. Cette teneur paraît élevée au regard des FCR dopées contenant seulement entre 15 et 17 % de zircon. Ces fibres restent difficiles et coûteuses à fabriquer et leur nature les rend fragiles. Elles peuvent résister à une température équivalente à 1 925 °C et présentent une haute densité,

une résistance élevée, une faible conductivité thermique (20 % de l'alumine) et une conductivité ionique.

Les fibres de zircone sont produites sous forme de vrac, de feutre, de textile et tableaux. Ces fibres sont parfois mélangées à des FCR afin d'optimiser les performances du produit pour un coût plus modeste. La plupart des fibres de zircone se présente sous la forme de feutres, de textile, de tableaux et de cylindres.

Les applications se limitent à des usages pour les hautes technologies à l'image des séparateurs et des matrices pour les cellules de fuel haute température ou les batteries à haute énergie, les diffuseurs poreux pour les brûleurs infra-rouge, les supports catalytiques, les sondes d'oxygène et l'isolation électrique liés à de hautes températures. L'extrême inertie de ces fibres les limite à des applications spécifiques. Par conséquent, ces fibres restent cloisonnées dans un marché précis et ne constituent pas une réelle alternative pour les FCR.

Le coût des fibres de zircone s'élève à 230 dollars par kilogramme (ERM, 1995).

4.2.5 Fibres de silice étirée (quartz)¹⁵

Les fibres de silice étirée (connues sous le nom de fibres de silice fondue ou de quartz) se composent de fibres amorphes de dioxyde de silicium pur (> 99/95 % de SiO₂). Cette fibre constitue un matériel amorphe optique de haute pureté pouvant être employé dans l'ultraviolet lointain (RPA, 2006).

Les fibres de silice étirée présentent une résistance accrue aux radiations en raison de la nature homogène et vitreuse de la silice. La température maximale d'utilisation continue s'élève à 1 050 °C. Le diamètre des fibres incluses dans des matériaux commerciaux se situe entre 9 µm et 15 µm (ERM, 1995).

La silice étirée est commercialisée sous diverses formes, notamment les toiles et structures de four, les fils, les cordages, les mâts, les fibres coupées et les nappes. Ces applications se destinent au renforcement de matériel plutôt qu'à l'isolation conventionnelle.

Une forte proportion de fibres de quartz est utilisée dans les applications militaires explicitée par une demande en matériel de renforcement de haute pureté. Ces fibres sont ensuite incluses dans la composition de résines spécifiques en polyamide-époxy ou polyamide destinées à la fabrication de radomes, d'antennes, de câbles, des composants de propulsion, de cryogénie ou des lasers optiques (RPA, 2006).

Ces fibres en vrac se négocient entre 198 et 319 dollars par kilogramme. Ces fibres présentent un diamètre suffisamment large pour être non respirables (ERM, 1995). Les études expérimentales restent malheureusement insuffisantes pour caractériser le potentiel toxique de ces fibres.

4.2.6 Fibres de silice lixiviée

Les fibres de silice lixiviée contiennent approximativement 96 % de silice, additionnées de divers oxydes métalliques tels que TiO₂, Al₂O₃ et MgO. Ces fibres sont utilisées en continu pour des températures proches des 980 °C et, par conséquent, ne peuvent substituer les FCR. Les fibres sont commercialisées sous différentes formes incluant des fibres en vrac coupées, du textile, des nappes, des bandelettes découpées, des câbles tressés, des cordages et des manchons.

Environ 85 % de ces fibres se destinent à l'isolation industrielle et la protection incendie. De plus, ces fibres peuvent être utilisées dans l'industrie chimique, pharmaceutique et pétrochimique comme médias filtrants, supports et absorbeurs sélectifs.

¹⁵ La fibre de silice ne doit pas être confondue avec le quartz, minéral naturel de structure cristalline.

Ces fibres se négocient sous forme brute destinée à l'isolation à 35 dollars par kilogramme.

Les diamètres de ces fibres semblent les exonérer du caractère respirable. Cependant, des études expérimentales *in vivo* montrent que les fibres injectées dans la cavité pleurale ou les poumons peuvent augmenter l'incidence de tumeurs chez l'animal (ERM, 1995). Les études expérimentales restent malheureusement insatisfaisantes pour caractériser le potentiel toxique de ces fibres.

4.2.7 Matières réfractaires isolantes conventionnelles

Les briques réfractaires furent le premier produit d'isolation développé dans les années 1940 avant d'être substituées par les FCR. En effet, ces dernières présentent une meilleure résistance mécanique, une manipulation aisée et supportent efficacement les variations de température ou choc thermique. Les briques présentent une consistance poreuse, une faible densité et se composent d'oxydes de calcium, de silice et d'alumine. La température d'utilisation s'échelonne entre 1 100 et 1 650 °C. Les briques apparaissent plus résistantes aux chocs et à l'abrasion que les fibres.

Le béton réfractaire se définit comme un matériau réfractaire, chimiquement similaire aux briques et fourni sous forme de poudre sèche ou granulat à reconstituer avec du ciment et de l'eau au point d'installation (ERM, 1995).

Ainsi, les matières réfractaires conventionnelles peuvent substituer la FCR dans certaines applications four (ECFIA, 2005). Parmi les matières réfractaires isolantes conventionnelles, la *brique réfractaire isolante* offre la caractéristique thermique la plus approchante. La brique réfractaire est produite depuis le début des années 1930 avec des limites de température maximale d'utilisation en continu différentes. Une série de brique réfractaire, par exemple, comprend les produits dont les limites de température d'utilisation varient entre 1 260°C avec une densité de 577 kg/m³, et 1 760°C pour un produit présentant une densité de 1 200 kg/m³. Par conséquent, la brique réfractaire se caractérise par une limite de température d'utilisation supérieure à celle des FCR.

La conductivité thermique des FCR est généralement inférieure. En outre, la capacité thermique volumique (une mesure de la masse thermique) des FCR est très inférieure à celle de la brique réfractaire. Il en ressort que les FCR sont un matériau isolant bien plus efficace que la brique réfractaire — en particulier pour les fours intermittents haute température. L'histoire a d'ailleurs démontré que les FCR ont supplanté la brique réfractaire et les autres matières réfractaires conventionnelles en raison de leurs meilleures caractéristiques isolantes (ECFIA, 2005).

Les briques réfractaires connaissent une utilisation ciblée dans l'isolation et le revêtement des fours. Ces applications, notamment pour l'industrie des métaux ferreux, non ferreux, de la pétrochimie, de la chimie ou du verre, représentent les principales applications substituant les FCR.

ERM (1995) suggère que les briques réfractaires isolantes n'apparaissent pas problématiques d'un point de vue sanitaire en raison de leur nature non fibreuse et d'une résistance à l'abrasion supérieure à celle des FCR. Cependant, l'ECFIA souligne que ces matériaux contiennent de la silice cristalline classée cancérigène de catégorie 1 par le CIRC. Ainsi, le découpage et le montage de ces briques au cours de l'installation ou d'une réparation peuvent éventuellement exposer les professionnels à des poussières de silice cristalline. Maxim *et al* (1999) révèlent des concentrations de silice cristalline associées à des réfractaires conventionnels supérieures à celles associées à des FCR.

Les coûts initiaux sont inférieurs à ceux des FCR, soit entre 0,35 et 0,5 dollar par kilogramme pour les briques réfractaires et entre 0,77 et 3,5 dollars pour les bétons réfractaires. Cependant, le coût total s'alourdit avec l'installation et la maintenance (ERM 1995). Les briques et les bétons réfractaires isolants opposent une moindre résistance aux

chocs thermiques et ne permettent pas de variation rapide de température. Dès lors, l'utilisation de ces matériaux à la place des FCR affecte la productivité des entreprises en allongeant la durée du cycle de production (ECFIA, 2006a).

Au final, l'évolution de la conductivité thermique des produits fibreux en fonction de la température, la substitution par des produits non fibreux (briques ou bétons) n'est pas trop pénalisante d'un point de vue thermique. Seuls les aspects concernant l'inertie thermique et le comportement thermomécanique sont pénalisants.

Les applications restent multiples et incluent le revêtement de chambre de combustion (1 600°C et plus), les fours à rouleaux, les fours pour le traitement thermique de l'acier, les fours pour la glaçure, la couche d'isolation dans des fonderies de torpilles, l'isolation secondaire pour fours de verrerie ou les fours industriels.

4.2.8 Mousses céramiques

Un matériau céramique hautement soluble nommé « *Hi-Por* » pourrait substituer les FCR dans certaines applications. Le procédé de fabrication s'appuie sur la gélification d'un liant organique afin de stabiliser la structure. Ce produit se compose de poudre céramique, de liants organiques, d'agents de dispersion, un agent moussant et de l'eau. La solution de liants organiques fournit un média liquide qui réagit afin de former un gel aqueux solide à base de polymères. La réaction immobilise ainsi la poudre céramique et l'eau dans une structure mousse. La composition peut inclure de l'alumine haute pureté, de la cordiérite haute pureté, de la zircone, de la mullite et/ou du carbure de silicium mais aussi, en quantité moindre, du titane, de l'hydroxyapatite, du silicate de lithium et d'aluminium, du phosphate de sodium et de zirconium, de la kyanite....

Les mousses céramiques sont produites sous diverses formes de taille, de densité ou de degrés d'interconnectivité. Les mousses sont généralement produites avec une densité entre 10 et 40 % et une taille de pores comprise entre 50 µm et 300 µm.

Ces mousses se destinent, entre autres, à l'isolation des fours de laboratoires qui doivent atteindre des températures supérieures à 1 600 °C en 15 minutes et l'isolation dans les centrales nucléaires. En effet, les matériaux conventionnels peuvent se voir dégrader par les radiations nucléaires (RPA, 2006). La composition exacte de la mousse céramique et la toxicité du mélange restent à approfondir.

4.2.9 Matériel d'isolation microporeux

L'isolation microporeuse (PROMALIGHT®-310, Zyafoam®) se compose d'une poudre fine de structure siliceuse amorphe destinée à produire une taille de pores microscopique et mélangée à un opacifiant d'oxyde de zirconium ou d'oxyde de carbure de silicium. La précipitation est réalisée avec un filament de verre.

La poudre finale et mélangée peut subir deux types de traitement :

- Un sac de textile de verre est rempli, cousu de manière manuelle puis pressé afin de constituer un panneau ;
- La poudre est orientée dans un moule industriel puis pressé afin de former une plaque. Cette dernière peut être recouverte d'une feuille d'aluminium ou d'une épaisseur de mica. La plaque est découpable au cutter pour l'ajuster aux dimensions souhaitées.

Ce matériau présente un pouvoir isolant supérieur aux FCR (100 mm d'une isolation FCR correspond environ à 25 mm de matériel microporeux) et diminue ainsi considérablement le volume occupé. Ce matériel présente une stabilité thermique excellente, un faible coefficient de diffusion et une faible conductivité thermique. Ces performances reposent sur le fait que la structure microporeuse bloque les trois modes de transfert calorifique (conduction,

convection et radiation). L'isolation microporeuse, développée initialement dans les années 1970, était désignée pour des applications concernant le nucléaire, l'aviation et l'aérospatiale en raison d'un faible poids et d'une capacité à combler des espaces inaccessibles (RPA, 2006).

Les applications substantielles concernent les fours industriels céramiques, les installations métallurgiques, les installations en pétrochimie, les fours de laboratoire, les fours à usage privé, l'isolation thermique dans des installations métallurgiques, fonderies, l'industrie des non-ferreux (plus particulièrement des cellules de réduction d'électrolyse à l'aluminium) l'industrie du verre (fours pour la production du verre notamment les panneaux assurant l'isolation entre la tôle et la première couche en contact avec la phase chaude comme de l'aluminium ou du verre en fusion), les centrales d'énergie, la protection de composants électriques comme les appareils de mesurage thermique, les appareils ménagers boilers, les fourneaux de cuisine ou les poêles.

Les matériaux d'isolation microporeux s'avèrent complémentaires aux FCR en seconde couche dans les fours en permettant un gain de volume. Les applications semblent multiples et peuvent inclure notamment l'isolation de piles à combustible pour les réseaux de chaleur. Ces matériaux d'isolation microporeux pourraient intégrer, en complément des fibres polycristallines de mullite et après essais, les pots catalytiques d'automobiles entre la céramique et la tôle de l'échappement.

Le matériel peut se présenter sous forme de panneaux, de toile ou de poudre. Les produits les plus poreux peuvent être mis en forme par coulage en moule plâtre et permettre la réalisation de pièces de toutes dimensions. La température d'utilisation recommandée s'élève à 1 000 °C. Compte tenu de la transformation naturelle de la silice vitreuse en tridymite puis en cristobalite, la température d'utilisation de ces pièces est limitée à moins de 1 000°C. Le matériau original peut dégager des poussières de silice amorphe lors du découpage.

Cependant, les limites concernent principalement la tenue thermique et les matériaux d'isolation microporeux ne résistent pas au contact physique de la flamme, aux chocs thermiques (par exemple lors de l'ouverture de fours à cloches assurant un traitement thermique) et aux agressions chimiques...

Le CIRC (1997) a classé la silice amorphe comme cancérigène de catégorie 3. Les matériaux d'isolation microporeux contiennent initialement un taux inférieur à 1 % de cristobalite classée cancérigène de catégorie 1 par le CIRC (le taux peut éventuellement augmenter lors d'un usage à des températures supérieures à 1 000/ 1 200 °C).

Le matériel d'isolation microporeux peut également contenir une variété de substances incluant des résines et des retardeurs de flamme tels que l'éther de decabromodiphenyl et le trioxyde d'antimoine (classé cancérigène de catégorie 3 au niveau européen et 2B par le CIRC (1989)).

Enfin, le coût reste plus élevé que celui des FCR (rapport de 1 à 10) et des laines AES (RPA, 2006).

Vesuvius indique que le matériel d'isolation microporeux est un produit de haut de gamme et ne peut se substituer aux produits fibreux que dans le cas d'application à haute valeur ajoutée (traitement de verre spéciaux ou de wafers) et à relativement basse température.

4.2.10 Ampleur de la substitution

Les laines AES de première et seconde génération se sont avérées être des substituts efficaces aux FCR et se définissent comme la principale alternative pour des températures n'excédant pas 1 200 °C. Certains industriels indiquent toutefois que la tenue mécanique (différent de la tenue thermique) des laines AES reste, dans certaines utilisations, inférieure

à celle des FCR limitant ainsi la substitution. Les autres fibres n'apparaissent pas toujours adaptées soit en raison de leurs caractéristiques physico-chimiques (température pour les laines minérales), soit en raison de leur coût ou de leurs limites d'utilisation (coût et relative fragilité des fibres polycristallines). Ces dernières se limitent à des applications spécifiques interférant peu avec le marché de l'isolation haute température des FCR.

Les laines d'isolation haute température, peu biopersistantes (laines AES), représentent plus de 50 % du marché total des fibres d'isolation haute température en Europe. Cette tendance semble notamment plus conséquente sur le territoire français. Le marché national est demeuré relativement constant depuis 1994, pour un chiffre annuel avoisinant les 5 000 tonnes. Cependant, les proportions de fibres vendues pour ces applications ont changé de façon notable. Avant 1994 (lors de la première commercialisation des fibres de « première génération »), le marché était alimenté par les FCR. En 2005, les laines AES de « première génération » ont constitué 40 % du marché alors que celles de « seconde génération » ont progressé de 15 %. Par conséquent, les fibres haute température les moins biopersistantes ont atteint un total d'environ 55 % de parts de marché en Europe. La part du marché français s'élève à 70 % en raison d'une anticipation des industriels et d'une substitution conséquente sur le marché des chaudières.

Ainsi, les deux générations de laines d'alcalins et d'alcalino-terreux s'imposent dans la substitution des FCR pour certaines applications (notamment les applications domestiques et certaines applications industrielles) impliquant des températures moyennes ou peu élevées. L'ECFIA juge que les FCR restent, dans l'état actuel des recherches, la seule option pour les applications à de hautes températures et ce postulat limite ainsi le pourcentage de substitution. La recherche de substituts aux FCR dans les applications haute température les plus exigeantes sera plus difficile et le rythme de substitution en sera d'autant plus affecté (ECFIA, 2005).

Le BAuA (institut fédéral allemand pour la santé et la sécurité au travail) a participé à la rédaction du TRGS 619 évoquant les critères à prendre en compte dans la recherche et le choix des alternatives aux FCR, notamment dans les champs de l'isolation thermique des fours et de l'industrie. Le document confirme que les FCR sont majoritairement substituées dans les applications domestiques et la protection incendie. Lorsque la substitution s'avère difficile, des mesures techniques sont proposées et décrites dans le TRGS 521 (en particulier dans le numéro 6 et l'appendice 5).

En effet, la législation allemande impose également qu'une substance classée cancérigène de catégories 1 et 2 doit faire l'objet d'une substitution, dans la mesure des connaissances techniques, par une substance, une préparation ou un article définis par un risque sanitaire inférieur. Dans le cas contraire, des mesures techniques ou organisationnelles sont prescrites afin d'éviter l'exposition des travailleurs.

Ainsi, le BAuA suggère que toutes les alternatives de nature fibreuse ou non fibreuse définies comme moins dangereuses doivent être considérées. Les produits fibreux à base de laine de verre ou laine de roche sont employés pour des températures inférieures à 300 °C, les laines minérales ou les laines AES entre 300 et 600 °C, les laines AES entre 600 et 900°C bien que certaines contraintes techniques imposent l'usage des FCR. Entre 900 et 1 200°C, l'utilisation des laines se réduit en raison de contraintes thermiques et mécaniques. Enfin, après 1 200 °C, l'usage des FCR paraît inévitable mais doit être limité.

Le TRGS 619 suggère que les fibres polycristallines ne doivent pas être recommandées comme une alternative aux FCR.

L'institut souligne, qu'à l'image des FCR, l'emploi des alternatives proposées peut impliquer la présence de quartz et la formation de cristobalite sur la face chaude de l'isolant (température > 900 °C). Cependant, les laines AES ne contiennent pas de quartz. Un certain nombre de matériaux réfractaires non fibreux contient des silicates susceptibles de former de

la cristobalite pour des températures élevées et, par conséquent, de libérer des poussières respirables contenant de la cristobalite au cours de la maintenance ou d'opérations de démantèlement (RPA, 2006).

L'Association Technique de la Sidérurgie (ATS) propose dans un document synthétique une classification pour le choix des produits de remplacement (Poirier *et al.*, 2000). La sélection devra être établie à partir d'une analyse technique et toxicologique tenant compte de l'application, des conditions d'utilisation et de l'environnement : humidité, milieu alcalin...

Applications à basse température : typiquement des températures inférieures à 800°C

L'ATS recommande d'utiliser des laines de roche, laitier, basalte, verre ou les laines d'isolation pour haute température ayant une faible biopersistance (laines AES), des matériaux d'isolation microporeux ou des associations par exemple de laines AES, de laine de roche et de perlite. Le choix doit s'appuyer sur des considérations technologiques (notamment la température d'emploi), toxicologiques (classement des fibres) et économiques.

Applications dont les températures limites d'emploi sont inférieures à 1 250 °C.

L'ATS recommande l'utilisation des laines d'isolation haute température ayant une faible biopersistance (laines AES). Toutefois, les industriels recommandent de réaliser au préalable des tests dans des situations non critiques avant d'utiliser ces laines en condition réelle, notamment pour les applications en milieu humide, très alcalin ou très acide. Des entreprises proposent pour cet intervalle de températures de la vermiculite exfoliée, de la silice à 95 % ou des associations de laines de roche, de wollastonite et de silicate de calcium.

Applications dont les températures d'emploi sont supérieures à 1 250°C

L'ATS souligne le manque de solutions actuelles dans la substitution des FCR pour des températures très élevées. L'ATS recommande, lorsque cela est plausible, d'utiliser des briques ou des bétons réfractaires et rappelle que les fibres céramiques restent de loin les plus performantes (facilité de mise en œuvre, densité très faible permettant d'alléger les superstructures, masse thermique très faible particulièrement avantageuse en fonctionnement discontinu, insensibilité aux chocs thermiques, coût relativement faible). L'analyse doit donc être réalisée cas par cas.

Les tableaux suivants démontrent l'évolution de la substitution des FCR, déclinée sur les 4 dernières décades par secteur d'activité. Le code couleur permet d'apprécier l'utilisation des FCR et la substitution par les laines d'isolation AES. L'absence de couleur définit que les FCR n'ont pas été employées durant cette décade pour l'application indiquée. La couleur bleue indique que l'usage des FCR a débuté lors de cette décade. Enfin, la couleur verte signifie que la substitution par les laines AES a été initiée lors de cette décade.

Ces tableaux reflètent les connaissances des producteurs de FCR sur l'évolution de la substitution et présentent ainsi un point de vue. L'ECFIA souligne que les commentaires ou les pratiques des industriels peuvent s'avérer divergents.

Tableau N°XXXI : évolution de la substitution pour le secteur de la chimie et pétrochimie (ECFIA, 2006a)

APPLICATION	1970s	1980s	1990s	2000s
Isolation réfractaire de réchauffeur tubes cylindriques verticaux				
Isolation réfractaire de distillateurs				
Garnissage réfractaire de fours cabine				
Isolation réfractaire de vapo-craqueurs				
Isolation réfractaire de fours d'éthylène				
Isolation réfractaire de "reformers" de méthanol				
Isolation réfractaire de "reformers" d'hydrogène				
Isolation réfractaire de "reformers" primaire d'ammoniac				
Garnissage réfractaire de conduits et de sorties de fumées				
Remplissage de caissons d'extrémités (Header Box)				
Calorifugeage de tuyauteries haute température				
Protection incendie de vannes				
Manchons pour tubes				

Pour le secteur de la chimie, les données collectées par l'UIC indiquent une situation contrastée. En effet, certaines entreprises réalisent généralement, depuis 2004/2005 une substitution progressive au sein de leurs installations au cours des rénovations successives en remplaçant notamment les FCR par les laines AES. Une entreprise consultée indique avoir substitué les joints en FCR par des joints en graphite ou en téflon. Certaines entreprises soulignent néanmoins que certaines applications ne paraissent pas, à l'heure actuelle, substituables. Une entreprise évoque notamment, pour des raisons de tenue thermique, les difficultés liées à la substitution des FCR pour le calorifuge de lignes de fabrication (par des laines AES) ou l'isolation d'une turbine à vapeur.

D'autres entreprises, par contre, n'ont pas encore initié de réflexions ou de substitutions en tant que telles (elles indiquent étonnamment des températures inadaptées à 150 ou 230 °C).

Pour les industries pétrolières, la réflexion apparaît progressivement et s'organise avec les réfractoristes au cours des maintenances successives tous les 5 à 6 ans. CTP Thermique, impliquée dans l'installation de revêtements réfractaires, confirme en effet la substitution progressive des FCR par des laines AES (en constante évolution sur leur tenue thermique) ou par des briques réfractaires depuis 2000/2002. Il existe, pour les fibres à faible bio persistance, des restrictions liées à leur tenue thermique. CTP Thermique souligne, par exemple, que pour certains joints de dilatation de garnissages réfractaires de fours travaillant au-delà de 1 250°C, les fibres à faible bio persistance sont utilisées pliées en deux. Pour une substitution des FCR par des briques réfractaires, une modification de la conception du casing initialement prévu pour accueillir des fibres de faible poids est indispensable.

Tableau N°XXXII : évolution de la substitution pour le secteur des métaux ferreux (fer et acier) (ECFIA, 2006a)

APPLICATION	1970s	1980s	1990s	2000s
Isolation réfractaire de fours de recuit				
Isolation réfractaire de fours de détensionnement				
Isolation réfractaire de fours de carburation				
Isolation réfractaire de fours de nitruration				
Isolation réfractaire de fours de galvanisation				
Isolation réfractaire de four de forge				
Isolation réfractaire de fours de réchauffage				
Joints de porte de four à coke				
Joints d'expansion de haut-fourneaux				
Isolation de wagon torpille et de couvercle				
Manchon protecteur de thermo-couple				
Tube de prélèvement d'acier liquide				
Manchons supérieurs de moules pour aciers spéciaux				
Garnissage de moules (superalliage)				
Garnissage de couvercle de préchauffeur de poches acier				
Sous-couche de poches acier				
Joints de stoppeur				
Sous-couche des couvercles de tundish				
Protection de boucliers de préchauffage				
Joints de fosse de réchauffage				
Joints de fond de fours de recuit				
Hottes de refroidissement lent				
Creusets pour fusion par induction				
Joints de dilatation				

Suite à la diffusion du rapport rédigé par l'ATS, la substitution dans le secteur sidérurgique a été initiée depuis l'année 1999 à des niveaux variables selon l'implication et la maintenance réalisée sur les sites. En effet, au vu des résultats collectés, la situation reste contrastée d'un site à l'autre et le degré de substitution même pour des activités qui semblent parallèles n'est pas identique. Certains sites ont presque totalement banni les FCR et d'autres initient cette réflexion ou s'opposent à des contraintes thermiques ou mécaniques.

La substitution, initiée depuis les années 1999 à des niveaux variables concerne la mise en place de laines AES et de ciment réfractaire principalement.

A titre d'exemple, auprès des sites sollicités, la substitution concerne, lors de la réfection des fours (réalisée tous les 15 ans) ou la réparation annuelle de certaines structures notamment de cokerie, les applications suivantes :

- Au niveau des parois de certains fours, les FCR ont été remplacées par une laine d'isolation haute température,
- Dans les bâtis des supports rouleaux de fours : les FCR ont été remplacées par une laine d'isolation haute température,
- Dans les protections des ouvertures de rouleaux de fours, les FCR ont été remplacées par du tissu de silice exonéré de la classification en tant que substance cancérigène.
- Sur les rouleaux four : des essais de substitution des FCR par une laine d'isolation haute température sont en cours mais cela pose des difficultés à cause de la mauvaise tenue mécanique de ces laines.

- Dans les fours de recuit brillant, la substitution par les laines minérales n'a pas été possible à cause des fortes teneurs en silice (entre 70 et 80 %) dont est avide l'ambiance des fours.

Certains exemples concrets de substitution réussie ont été cités :

- Au niveau des couvercles des sècheurs de répartiteurs des coulées continues, les FCR ont été remplacés par des produits à base de laines AES,
- Dans les fours de réchauffage des brames sur le train à bandes : le revêtement intérieur a été remplacé par du béton réfractaire.

La substitution concerne principalement la mise en place de laines AES sous forme de nappes, tresses et de béton réfractaire en croissante utilisation pour la conception des fours notamment à cloche. Les alternatives incluent de manière plus marginale les matériaux microporeux et les fibres polycristallines.

Concernant la fonderie, l'installation et la maintenance des grands équipements sont sous-traitées à des entreprises extérieures. Ces dernières assurent une substitution éventuelle si les limites techniques le permettent lors de la programmation prévue. Ainsi, l'industriel engage une recherche de substitution lors de la maintenance ou du renouvellement de l'appareil soit entre 10 et 15 ans pour les fours.

La substitution intéresse également les produits consommables renouvelés régulièrement en interne.

La substitution nécessite des essais préalables s'échelonnant parfois sur plusieurs mois. Le béton réfractaire employé avant les FCR et écarté pour des raisons de consommation d'énergie, de mise en œuvre et de souplesse, retrouve un regain d'intérêt, en tenant compte des limites décrites précédemment. Par ailleurs, certaines applications connaissent des substitutions naissantes par les laines AES ou la remise au jour des techniques telles que les fours maçonnés à double paroi ou les mortiers réfractaires.

L'European Confederation of Iron and Steel Industries (Eurofer), consultée par le cabinet RPA, indique que les FCR se sont rapidement imposées en raison de leur faible masse et de leur propriété d'isolation excellente. Eurofer considère que les alternatives proposées se révèlent plus chères et moins maniables. Cependant, la substitution a été initiée pour certaines applications. Des bétons réfractaires légers sont employés entre autre dans l'isolation des fours de recuit. Les joints de fosse de réchauffage étaient traditionnellement constitués de sable avant leur remplacement par les FCR. Une inversion paraît techniquement envisageable mais une étude préalable sur l'impact sanitaire de ces joints à base de sable semble nécessaire. A l'heure actuelle, Eurofer souligne que les pièces formées sont principalement produites avec des laines AES (RPA, 2006).

Tableau N°XXXIII : évolution de la substitution pour le secteur des métaux non ferreux (ECFIA, 2006a)

APPLICATION	1970s	1980s	1990s	2000s
Joint de dilatation de fosses de cuisson de carbone				
Garnissage de couvercles de cuisson de carbone				
Préchauffage de blocs anode carbone				
Joint de cellule de réduction				
Isolation de cellules de réduction				
Dessus de poches d'aluminium fondu				
Garnissage de portes de fours de maintien, de fusion et de refusion				
Garniture de fours				
Joint d'expansion de fours				
Systèmes de transfert de métal fondu y compris les canaux de coulée et leur couvercle, poches de distribution et tubes de coulée				
Manchons supérieurs de moules pour l'aluminium				
Pièce de réglage de débit et caissons d'extrémité (Header Boxes)				
Garnissage de four de recuit pour feuilles d'aluminium				
Garnissage réfractaire des fours de bains de galvanisation				
Protection du tube pour coulée de moulage basse pression				
Cône de bouchée pour four de maintien				

La FEDEM indique que la substitution concerne principalement la mise en place de laines AES au cours des rénovations ou maintenances régulières depuis les années 2004. Les applications concernent des températures inférieures à 1 000°C et les entreprises consultées évoquent des contraintes de tenue thermique pour des températures supérieures. Une société suggère l'emploi de tresses de verre renforcées avec du nickel afin de substituer les FCR dans les joints de fours et l'usage de briques ou de bétons réfractaires. Au vu des réponses, il est difficile d'apprécier le niveau de substitution et la mise en place d'une réflexion effective au sein de toutes les entreprises. Certains sites ont banni définitivement l'emploi des FCR ; au contraire, d'autres restent limités par les limites techniques des alternatives actuelles ou n'ont pas encore initié cette réflexion.

Tableau N°XXXIV : évolution de la substitution pour le secteur du verre et de la céramique (ECFIA, 2006a)

APPLICATION	1970s	1980s	1990s	2000s
Garnissage réfractaire de fours de première cuisson (biscuits)				
Garnissage réfractaire de four d'émaillage				
Garnissage réfractaire de fours de porcelaine				
Garnissage réfractaire de four pour réfractaires				
Garnissage réfractaire de four pour tuiles				
Garnissage réfractaire de four de carrelage				
Garnissage réfractaire de four pour équipements sanitaires				
Garnissage réfractaire de four pour briques				
Intérieur et joints pour wagons de fours tunnel				
Joint d'expansion de fours et de portes				
Isolation de voûtes de four de verrerie				
Isolation externe des murs de four de verrerie				
Joints bourrage et joints de dilatation pour fours de verrerie				

Au vu des résultats individuels collectés dans le secteur verrier, le taux de substitution varie considérablement selon l'activité, l'implication de l'entreprise et la date de début de la substitution. Quelques sites ont initié une substitution à la fin des années 1990 mais la plupart des sites développe une politique de substitution progressive depuis les années 2002/2004. Les quantités décroissantes de FCR reflètent la recherche d'alternatives progressive au cours des maintenances ou rénovations des installations. Par conséquent aujourd'hui, certains sites ont réussi à substituer techniquement les FCR alors que d'autres initient à peine cette réflexion. Certaines installations se trouvent confrontées à des limites principalement de tenue thermique (1 600 °C), notamment lors des opérations d'attrempage ou pour l'isolation des fours. Par ailleurs, certaines entreprises soulignent les difficultés liées aux limites de performance des fibres de substitution lors, par exemple, du remplacement de blocs brûleurs sur les fours. Pour les applications restantes, un guide édité par la fédération établit les recommandations et les précautions d'emploi liées à la manipulation des FCR notamment lors des phases d'attrempage, d'installation, de retrait ou de maintenance.

La substitution concerne principalement les laines AES pour des utilisations à des températures inférieures à 1 100/1 200 °C. Ces laines se présentent sous forme de nappes, panneaux, cordons ou papiers pour des usages incluant l'isolation des cuves, des chaudières ou des fours notamment au dessus de la voûte ou comme protection thermique lors de la reconstruction du four et l'attrempage (1 250°C). Certains sites emploient des matériaux microporeux de silicate de calcium sous forme de panneaux destinés à l'isolation des fours de fusion ou de traitement (1 200°C), des laines de roche sous forme de nappes, de panneaux ou de tresses destinés à l'isolation de certaines parties du four, la trempe (720 °C), une partie de l'arche (650 °C), une partie des fours de préchauffage (450°C) ou des fibres polycristallines sous forme de nappes, de panneaux ou en vrac pour l'isolation ou combler les fissures apparues sur la paroi du four, l'isolation du piédroit et du pignon. Enfin, certaines entreprises indiquent une modification du process avec l'introduction de moulages de pièces au niveau du brûleur.

Les entreprises auditionnées estiment, selon leurs activités et la politique de substitution initiée, qu'entre 50 et 100 % des applications incluant des FCR s'avèrent actuellement substituées.

Un industriel du verre interrogé par le cabinet RPA, dans le cadre d'une communication personnelle, indique que les fibres polycristallines peuvent substituer les FCR pour des

températures élevées. Le matériel se compose alors d'une micropoudre enfermée dans une poche de fibres de verre. L'industriel déclare que les fibres polycristallines connaissent un usage important dans l'industrie du verre. Des fibres polycristallines spécifiques composées de tungstène ou de zircon ont été testées mais se révèlent largement plus coûteuses que les FCR (RPA, 2006).

Selon la CICF et la SFC, tous les industriels ont substitué progressivement les FCR lorsque les conditions techniques le permettaient à partir des années 2000. A priori, à l'heure actuelle, les FCR ne sont plus utilisées que pour les installations à haute température.

Seules les FCR (parmi les fibres existantes) présentent actuellement une tenue technique satisfaisante à une température supérieure à 1 100/1 200 °C dans des applications spécifiques avec une forte agressivité chimique.

Les laines AES et autres produits réfractaires paraissent les plus appropriés pour la substitution des FCR. Toutefois, la CICF et la SFC soulignent leurs limites notamment une tenue thermique et des propriétés physiques moindres pour les laines AES.

L'Industrie Européenne des Céramiques indique que toutes les applications référencées dans le tableau XXXIV restent actuelles (RPA, 2006).

Enfin, la profession des tuiles et briques a rédigé conjointement avec l'ECFIA un guide pratique sur « la maîtrise des expositions aux FCR lors des travaux de réfection des fours et de wagons dans les tuileries et les briqueteries ». Ce guide inclut notamment des recommandations sur la recherche de matériaux de substitution aux FCR sur la base du document TRGS 619 élaboré en Allemagne par l'AGS (Ausschuss für Gefahrstoffe).

Depuis les années 2000, les 4 principaux groupes fabricants de tuiles et briques n'achètent plus de FCR pour la rénovation des wagons, le taux de réfection annuel des wagons est d'environ 10 % du parc sur le site de production. Une rénovation des wagons n'implique pas forcément un changement complet des FCR mais un remplacement des parties de FCR endommagées. Par conséquent, il paraît difficile d'estimer la quantité de FCR consommée pour la rénovation des wagons pour la profession.

Depuis les années 1995, les FCR ont été substituées progressivement par des laines AES lors de la rénovation des wagons sous forme de nappes, textiles ou tresses.

A ce jour, le CTTB estime que plus de 50 % des wagons n'incluent plus de FCR. Cependant, la substitution n'est pas finalisée et dès le départ, les industriels se sont plaints des performances inférieures des AES. Le CTTB souligne néanmoins que les laines AES actuelles apparaissent de qualité équivalente aux FCR mais peu de données sont disponibles pour le moment sur le comportement à long terme.

Concernant les fours, des contraintes thermiques notamment la température de la zone de feu limitent la substitution des FCR par les laines AES. CERIC indique que les FCR sont utilisées depuis 40 ans dans ce type de fours ; leur usage a été substitué depuis 15 ans pour des raisons techniques par du béton réfractaire léger (elles se vitrifient en cas de choc thermique et ne jouent plus leur rôle d'isolant, l'adhérence est moins bonne). Depuis 2003, la diminution de leur usage est principalement due à des questions sanitaires avec une substitution par les fibres AES caractérisées par une tenue inférieure dans le temps. La vermiculite est actuellement le principal isolant dans tous les fours pour des températures inférieures à 1 000°C.

Par contre, le long des parois, s'agissant de la 1^{ère} couche d'isolant, les FCR ont été substituées par du béton isolant qui est un produit rigide, ne présentant pas de problème d'inertie thermique.

CERIC souligne des difficultés de substitution dans les fours cellule, à porcelaine ou céramique en raison des températures plus élevées et des cycles de fonctionnement.

Tableau N°XXXV : évolution de la substitution pour le secteur de l'industrie génératrice d'énergie (ECFIA, 2006a)

APPLICATION	1970s	1980s	1990s	2000s
Isolation des conduits d'évacuation de turbines à gaz				
Garnissage de guides et de diffuseurs				
Garnissage pour co-générateur				
Remplissage de silencieux (Turbines à gaz)				
Isolation extérieure de turbines à vapeur				
Remplissage d'espace vide de chaudières				
Isolation de conduits de vapeur haute température				
Joints de conduits de chaudières et de chaudières charbon				

Tableau N°XXXVI : évolution de la substitution pour le secteur des applications domestiques (ECFIA, 2006a)

APPLICATION	1970s	1980s	1990s	2000s
Isolation de la chambre de combustion (chaudière murale)				
Garnissage de porte de chaudières (chaudière au sol)				
Isolation de fours ménagers				
Support d'éléments de chauffe pour plaque de cuisson vitro-céramique				
Isolation d'appareils de chauffage par accumulation				
Isolation de cheminées				
Ecrans Thermiques				
Isolation de chauffages portatifs				
Support de corps de chauffe catalytique				

Le GIFAM détaille les substitutions pour les appareils domestiques.

Les appareils de cuisson domestique

La pyrolyse est apparue en 1973-1976. Initialement, l'isolation était assurée par de l'amiante et de la laine de roche puis sont apparus des complexes de laines de roche et de FCR ou des FCR seules. Depuis 2000, les fournisseurs ont progressivement substitué les FCR par des laines AES ou des laines de roche. Selon le GIFAM, une application a subsisté jusqu'au début de l'année 2005 pour la France.

Ainsi, les laines de roche et de verre sont utilisées dans les appareils de cuisson – fours et cuisinières (A titre indicatif environ 0,4 kg à 2 kgs par appareil pour un four pesant 35 à 45 kgs). L'isolant est livré sous forme de sous-ensemble aux dimensions souhaitées. La couche d'isolant est disposée autour de la cavité lors du montage. Elles sont également utilisées sous forme de panneaux de laine de roche, pour quelques familles d'appareils de chauffage électrique tels que les appareils à accumulation (1,5 kgs), les plafonds rayonnants modulaires ou les cassettes rayonnantes (0,9 kg). Ces panneaux sont placés à l'intérieur de l'appareil dans des zones non accessibles aux utilisateurs. En cas de problème de fonctionnement, le module ou le produit complet est remplacé. Dans les trois cas précités, les panneaux sont livrés à l'usine, découpés aux dimensions requises et prêts à être montés dans les appareils.

Des fabricants d'électroménagers, sollicités par le cabinet RPA, déclarent que les plaques vitrocéramiques ne contiennent plus de FCR depuis 1999, en raison du risque encouru par les professionnels. Les plaques vitrocéramiques incluent un support chauffant sous la plaque de verre. Ce support se compose d'un plateau métallique peu profond entouré d'un anneau

constitué de matériau isolant. Ainsi, le support est isolé de manière thermique et électrique. A la fin des années 1990, les industriels ont substitué les FCR par des supports « blancs » composés de silice amorphe, de fibre de verre, de silicate de zirconium et de carbure de bore ou d'anneaux constitués de silice amorphe, de vermiculite, de fibres de verre et de potassium soluble.

Les fours non pyrolytiques sont actuellement isolés avec des laines de roche associées à des feuilles d'aluminium. Les industriels consultés déclarent que les fibres de substitution présentent des performances similaires et n'ont pas conduit à une augmentation significative des coûts de fabrication (RPA, 2006).

Le chauffage d'appoint à gaz à catalyse

A ce jour, le GIFAM souligne qu'il n'existe pas d'alternatives susceptibles de répondre aux mêmes spécifications. Le groupement évoque la substitution éventuelle par des fibres polycristallines à base d'alumine. Une étude en collaboration avec le CNRS explore actuellement des techniques de substitution pour cette technologie.

Pour le GFCC représentant les fabricants de chaudières domestiques, collectives ou industrielles, au vu des résultats collectés, les entreprises, lorsque les contraintes thermiques (niveaux et cycles de températures) le permettaient, ont initié une substitution totale ou partielle. Par ailleurs, le GFCC souligne que les normes européennes relatives aux produits, exigent que ceux-ci restent opérationnels même dans le cas de conditions anormales de fonctionnement (surcharge/débit calorifique, qualités de combustion...). La substitution a débuté dès 1998 pour certaines entreprises alors que d'autres initient la réflexion que ce soit lors d'un premier montage ou pour le remplacement. Les laines AES constituent sous diverses formes la principale alternative aux FCR. Il faut toutefois noter l'utilisation de laines de roche HT.

Tableau N°XXXVII : évolution de la substitution pour le secteur de la protection incendie (ECFIA, 2006a)

APPLICATION	1970s	1980s	1990s	2000s
Protection incendie de ponts et cloisons sur plate-forme Offshore				
Joints de passage pour plateformes offshore				
Protection incendie de ponts et cloisons de bateaux				
Protection incendie de conduits				
Joints de fenêtre anti-feu				
Protection incendie de structures acier				
Protection de conduits et de joints de vannes papillon				
Additif pour peintures intumescentes				
Isolation de conduit de cheminée double paroi.				

Tableau N°XXXVIII : évolution de la substitution pour le secteur de l'automobile (ECFIA, 2006a)

APPLICATION	1970s	1980s	1990s	2000s
Nappe de support et joints d'extrémité pour pots catalytiques				
Support de filtres à particules diesel				
Ecrans thermiques				
Isolation de conduits d'échappement				
Isolation de silencieux				
Additif pour matériaux de friction				

Fours

Le CECOF représente, au niveau européen, les associations de fabricants de fours et d'équipements de chauffage industriels. Suite à une communication avec le cabinet RPA, le comité européen déclare que les laines AES peuvent substituer les FCR pour une température inférieure à 900 °C. Cependant, les FCR paraissent essentielles pour des températures élevées, limitent la consommation d'énergie et, par conséquent, l'émission de dioxyde de carbone.

Interrogée par le cabinet RPA, une entreprise hollandaise, spécialiste dans l'installation des revêtements réfractaires des fours industriels, fait part de son expérience sur l'emploi des laines d'isolation pour haute température ayant une faible biopersistance et des FCR. L'industriel souligne l'introduction croissante des laines AES néanmoins confrontée à certaines limites, notamment :

- Les laines sont solubles dans l'eau et les applications impliquant des cheminées ou des installations de post-combustion avec une flamme ouverte restent inadaptées ;
- Les laines perdent leur résistance lorsqu'elles sont soumises au sein des fours à des cycles de températures excédant 50 °C par heure ;
- Les laines ne résistent pas à des températures élevées au delà de 1 100 – 1 200 °C ;
- Les performances de ces laines paraissent réduites lors de l'utilisation d'un flux d'air supérieur à 15 m/s.

L'isolation des énormes fours destinés à la fabrication de l'acier, ne peut être réalisée que par de structures légères telles les FCR et les laines AES (les briques réfractaires étant trop lourdes, la structure ne résisterait pas). En Europe, l'utilisation des FCR pour l'isolation de tels fours ne subsiste que pour des besoins en température très élevée. Pour tous les fours fonctionnant à une température inférieure, les FCR ont été substituées par des laines AES (pour la majorité des lignes continues de galvanisation et de galvanisation couplée à la peinture).

Depuis 1998, SH n'a installé aucun four en Europe avec un système d'isolation contenant uniquement des FCR. Selon SH, Les laines AES peuvent tenir jusqu'à 900°C et ce n'est qu'au-delà que les FCR deviennent incontournables.

En Europe, quand le four est trop vieux, la majorité des industriels préfèrent l'arrêter et délocaliser à l'étranger.

Dans une partie de la voûte du four où la température atteint 1 100°C des FCR subsistent. Il n'y a pas de matériaux de substitution à ce niveau. Actuellement, à titre d'exemple, une ligne continue de galvanisation sur site européen contient plus de 2 tonnes de laines AES et environ 500 kilogrammes de FCR.

SH souligne l'emploi de matériaux d'isolation microporeux principalement pour des petits fours de laboratoire et en développement dans le secteur de la verrerie.

CTIO précise que les premières générations de laines AES résistaient idéalement à des températures s'élevant à 800 °C avec des problématiques de tenue notamment dans les atmosphères humides. Les dernières résistent à des températures de l'ordre de 1 150 °C avec des tenues meilleures malgré une certaine fragilité problématique lors de la pose et de la maintenance.

CTIO rappelle que la décision de substitution est prise sur proposition du fumiste et l'accord parfois difficile du client.

Les principales limites à la substitution sont l'épaisseur du garnissage et le volume disponible, le poids du garnissage, le rayonnement directement relié à la masse du matériau et le choc thermique lors des cycles. CTIO évoque notamment le cas de certains fours à cloche avec des difficultés de substitution liées au poids du garnissage, le volume, le trempage avec des acides, les chocs thermiques lors de l'ouverture et le rayonnement directement relié à la masse des matériaux (éviter le rayonnement emmagasiné).

Les fumistes constatent parfois, à l'heure actuelle, que des industriels achètent des fours d'origine européenne entièrement isolés par des FCR alors qu'une substitution était possible lors de la conception et s'avère difficile en fonctionnement.

Ferroviaire

Depuis 2004, la SNCF demande aux constructeurs d'éviter l'emploi des FCR dans le matériel roulant en les substituant par des matériaux moins dangereux.

La SNCF a mis en place un groupe de travail interne pluridisciplinaire (techniciens, médecins du travail, hygiénistes et préventeurs, ...) en charge de lister les applications impliquant des FCR, d'établir des préconisations pour l'intervention sur les matériaux fibreux, d'évaluer et de valider les alternatives éventuelles. L'entreprise s'applique actuellement à la première étape de recensement.

Pour les nouveaux matériels roulants récemment acquis et lors d'opérations de réparations, certaines applications ont été substituées par des laines AES sous forme de panneaux pour le calorifugeage.

A l'heure actuelle, la SNCF indique que certaines applications paraissent, selon elle, difficilement substituables notamment pour certains caissons de groupe de chauffe pouvant atteindre 1 000°C et les cloisons coupe-feu devant répondre aux exigences réglementaires incendie.

4.3 Evaluation de l'exposition de la population générale et des travailleurs aux fibres céramiques réfractaires

Les données présentées dans ce rapport concernent uniquement l'évaluation des expositions professionnelles aux FCR étant donné la pauvreté des mesures réalisées en milieu environnemental. Au cours des auditions réalisées par l'Afsset, il s'est avéré que la plupart des entreprises ne réalisait aucune mesure spécifique afin d'évaluer les niveaux d'exposition de leurs salariés aux FCR.

L'estimation des niveaux d'exposition professionnels aux FCR proposée dans ce chapitre s'appuie sur la littérature mais exploite surtout les bases de données métrologiques actuellement disponibles, notamment :

- La base de données COLCHIC, gérée par l'INRS et alimentée depuis 1986 par les résultats de mesures d'exposition effectuées par les Laboratoires Interrégionaux de Chimie des Caisses Régionales d'Assurance Maladie (Cram) et ceux de l'INRS sur le territoire français ;
- La base de données EVALUTIL alimentée, entre autre, par une partie des résultats de mesures d'exposition effectuées par les Laboratoires Interrégionaux de Chimie des Cram. Consultable depuis 2000, EVALUTIL regroupe donc des données métrologiques et documentaires sur l'exposition aux fibres d'amiante et aux FMA ;
- La base de données d'exposition aux FCR constituée par l'ECFIA dans le cadre du programme CARE. Créée à partir de 1996, cette base regroupe actuellement plus de 4000 résultats de mesure d'exposition individuelle collectés dans des établissements européens (Class, 2006).

4.3.1 La base de données EVALUTIL relative à l'évaluation des expositions professionnelles aux fibres d'amiante et aux FMA

L'extraction a été réalisée suivant les secteurs d'activité enregistrés dans la base, l'intitulé de ces secteurs étant indiqué sous les graphiques.

4.3.1.1 EVALUTIL

EVALUTIL est une base de données accessible sur Internet et constitue un outil d'aide à l'évaluation des expositions professionnelles aux fibres d'amiante et aux FMA. Dans le cadre d'EVALUTIL, les FMA ont été définies par les laines minérales (verre, roche, laitier), les FCR, les filaments continus de verre et les fibres de verre à usage spécial (ou Microfibres®).

En raison des interrogations concernant les risques professionnels liés à l'inhalation de ces fibres, la documentation des niveaux d'exposition est devenue indispensable afin :

- d'assurer la mise en œuvre des mesures préventives d'hygiène industrielle et de la surveillance médicale des travailleurs exposés ;
- et de progresser dans la connaissance des effets d'inhalation de ces différents types de fibres sur la santé, grâce aux études épidémiologiques.

4.3.1.2 Intérêts et limites d'EVALUTIL

EVALUTIL permet de rassembler dans différentes bases de données des informations pertinentes pour l'évaluation des expositions professionnelles des utilisateurs et producteurs de matériaux contenant de l'amiante ou des FMA. Ces bases sont disponibles sur Internet et peuvent être consultées selon plusieurs critères de recherche (source, secteur d'activité, profession, produit...). Cependant, les données réunies dans EVALUTIL ne couvrent pas tous les secteurs d'activité français et présentent certaines limites du point de vue de la caractérisation des expositions professionnelles qui sera envisagée.

Hétérogénéité des données

Les informations contenues dans les bases documentaires sont extraites de sources diverses : rapports d'hygiénistes industriels chargés du contrôle des niveaux d'exposition et du respect des valeurs limites réglementaires, monographies et études épidémiologiques qui rapportent des données métrologiques.

Dans certaines sources, des résultats de plusieurs prélèvements ayant en commun un secteur, une profession ou une famille de produits sont regroupés, et dans d'autres sont présentées de petites séries de prélèvements relatifs à des situations très spécifiques. De plus, la présentation des métrologies diffère d'une source à l'autre : certains auteurs affichent les résultats de chaque prélèvement, d'autres indiquent les moyennes et/ou les valeurs extrêmes d'une série de prélèvements. On note également que des renseignements utiles à l'interprétation tels que les conditions de ventilation, l'outillage utilisé, le degré d'usure du matériau, la distance de la source et le type de prélèvements, ne sont pas systématiquement mentionnés. Enfin, dans certaines sources, les méthodes de prélèvement et de comptage ne sont pas précisées ou ne correspondent pas aux méthodes de référence.

Cette disparité dans le contenu et la présentation des informations constituent un obstacle au traitement statistique des données. Par conséquent, EVALUTIL ne présente pas de calculs de valeur "moyenne" du niveau d'exposition par emploi ou par geste professionnel.

Représentativité des données

Les informations ont été regroupées en "documents" dans les bases de données. La question du caractère représentatif d'un document ou d'un ensemble de documents extraits des bases de données se pose lorsque l'on envisage de les utiliser pour évaluer des expositions professionnelles en hygiène industrielle, en épidémiologie ou dans les domaines de la surveillance et de la réparation des maladies professionnelles.

La validité des mesures instrumentales et la précision des renseignements sur les circonstances d'exposition, évaluées par l'indice de qualité qui accompagne chaque document, sont indispensables pour interpréter une métrologie associée à une situation professionnelle donnée. Dans la base Amiante, près de 80 % des documents ont été évalués de très bonne qualité, près de 90 % dans la base FMA. Cependant, la variabilité inter et intra individuelle des niveaux d'exposition pour un même geste professionnel, bien connue en hygiène industrielle, rend difficile l'appréciation du caractère représentatif d'un document. La moyenne d'une série de résultats métrologiques, tous réalisés dans les mêmes conditions, est en principe plus représentative qu'un résultat isolé.

Bien que les informations apportées par EVALUTIL concernent des situations spécifiques, elles apportent des indications très utiles et permettent d'alerter sur le risque lié à certaines situations de travail. EVALUTIL ne peut cependant pas se substituer à l'analyse de chaque situation particulière par les professionnels.

L'intérêt et les limites d'EVALUTIL sont présentées de manière explicite dans le rapport InVS intitulé « Base de données EVALUTIL – Evaluation de l'exposition professionnelle aux fibres » (Rolland *et al.*, 2005).

4.3.1.3 Résultats :

Les synthèses de données d'exposition proposées ont été recueillies à partir de la littérature scientifique et des fiches de prélèvements envoyées par les Cram. Ainsi, les données relatives aux FCR proviennent de 382 documents (entre 1 et 5 métrologies par document) dont 183 en provenance des Cram depuis 1987, 34 en provenance du programme CARE et 165 publications scientifiques depuis 1982 (à titre indicatif, il existe 439 documents relatifs aux laines minérales, 5 pour les fibres de verre à usage spécial et 90 pour les filaments continus).

Les synthèses sont réalisées pour un ou plusieurs secteurs d'activités renseignés dans la base de données. Les secteurs ou activités du site contrôlé sont codifiés selon la classification internationale Citi (Classification Internationale Type par Industries, édition 1975 - Rév. 2. Organisation des Nations Unies, New York).

Les synthèses sont présentées de la façon suivante :

- **Un graphique**, représentant les niveaux d'exposition compilés pour un ou plusieurs secteurs. Les concentrations moyennes (en f/ml) sont découpées selon trois classes d'exposition :
 - > 0 – 0,1¹⁶ ;
 - > 0,1 – 0,6¹⁷ ;
 - > 0,6.

Figurent en ordonnée les concentrations en fibres dans l'air, et en abscisse le nombre de métrologies par classe d'exposition. Une métrologie désigne un ensemble de données chiffrées issu d'un document (concentrations de fibres) et exprimé en f/ml, qui comprend au mieux une valeur minimale, une valeur maximale et une moyenne. Une métrologie rend ainsi compte de résultats d'un ou plusieurs prélèvements.

Afin d'améliorer la représentativité des données, seules les métrologies issues de **prélèvements individuels** et comportant au minimum une concentration moyenne ont été extraites.

- **Un tableau** apportant des informations complémentaires sur les niveaux d'exposition, selon les informations disponibles dans les documents :
 - la cote du document (identifiant informatique) ;
 - l'auteur et l'année de la publication ;
 - les codes Citi ;
 - la situation de travail qui, au mieux, renseigne sur l'activité de l'opérateur, le type de produit et son application ;
 - la fréquence et la durée de la tâche ;
 - la nature de la protection collective ou individuelle ;
 - la méthode de comptage ;
 - la durée moyenne du ou des prélèvements ;
 - la concentration moyenne du ou des prélèvements ainsi que les valeurs minimales et maximales quand elles sont disponibles.

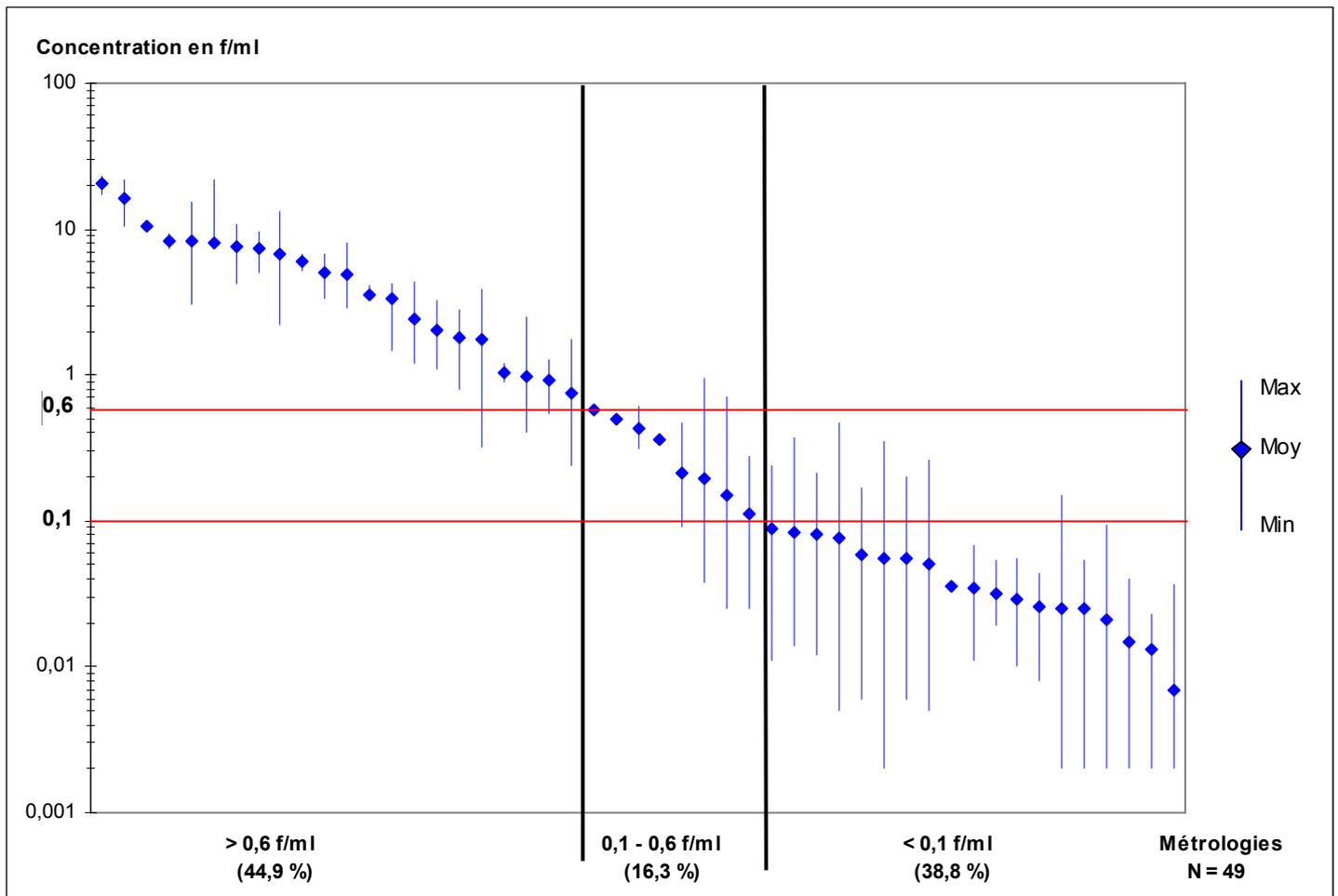
¹⁶ VME : Valeur limite de moyenne d'exposition professionnelle aux fibres d'amiante sur 1 heure de travail (valeur contraignante)

¹⁷ VME : Valeur limite de moyenne d'exposition professionnelle aux fibres céramiques réfractaires sur 8 heures de travail (valeur indicative)

Un document peut contenir plusieurs métrologies, notamment lorsque différents types de prélèvements sont effectués pour la même situation d'exposition, ou lorsque les fibres sont comptées selon des méthodes différentes. Par conséquent, la même situation de travail peut être documentée plusieurs fois dans le même tableau.

Pour de plus amples informations, les données d'exposition aux FCR compilées dans les synthèses pourront faire l'objet d'une interrogation sur la base mise en ligne sur Internet à l'adresse <http://etudes.isped.u-bordeaux2.fr> (combinaison des critères auteur et activité du site contrôlé et affinement de la recherche par vérification de la cote dans l'affichage des documents).

Le tableau détaillant l'ensemble des données du premier graphique fait l'objet de l'annexe 7. Les autres données sont librement accessibles sur le site Internet d'EVALUTIL.



Graphique N°1 : Secteur de la production et de la transformation de FCR

Code Citi : 3513 Fabrication des résines synthétiques, matières plastiques et fibres artificielles, à l'exclusion du verre

Attention : la lecture des graphiques doit s'accompagner de certaines précautions. En effet, les données présentées se définissent comme des mesures individuelles avec une hétérogénéité conséquente, relative aux durées de prélèvements par exemple. Ainsi, toutes les données ne sont pas pondérées sur une durée de 8 heures et les données de contrôle ponctuelles ne doivent pas être comparées en l'état à la VME. A titre indicatif, le paragraphe suivant peut illustrer la prudence requise lors de la lecture de ces graphiques.

Dans le graphique 1, représentant les données du tableau de l'annexe 7, les commentaires concerneront la 1^{ère} série de prélèvements en haut à gauche (cote 45.1 – 178 dans le tableau) indiquant un niveau moyen de 20,35 f/ml, la 3^{ème} série de prélèvements en haut à gauche (cote 45.5 - 182 dans le tableau) indiquant un niveau moyen de 10,6 f/ml puis la 24^{ème} série de prélèvements (cote 41.1 – 170 dans le tableau) indiquant un niveau moyen de 0,5 f/ml.

Ces 3 séries de prélèvements (en bleu et en gras dans le tableau) correspondent à des mesures individuelles réalisées par le laboratoire de la Cram Normandie pour une même

activité, la fabrication de produits moulés FCR, permettant ainsi de discuter de prélèvements collectés et analysés de façon homogène.

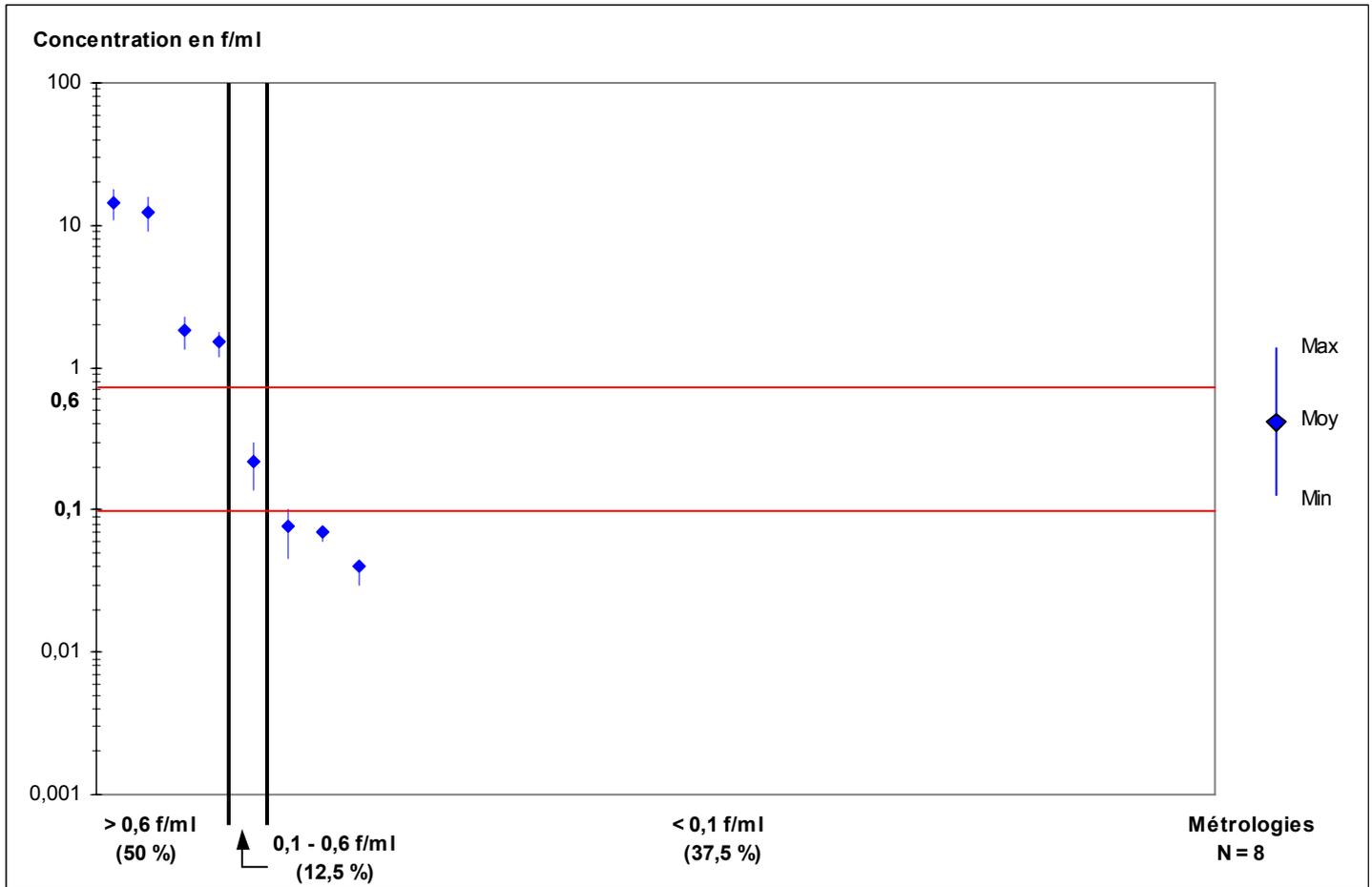
- **La série de prélèvements 1** : La tâche (changement du sac récupérateur de poussières aspirées contenant des FCR) correspond à une opération ponctuelle d'une durée équivalente à 10 minutes réalisée avec le port d'un EPI (équipement de protection individuel), défini ici par un matériel filtrant à ventilation assistée avec masque complet et filtre P3. La concentration mesurée de 20,35 f/ml sur 10 minutes, pondérée sur 8 heures, serait ramenée à 0,42 f/ml pour une journée de travail¹⁸ (pour rappel, la VME est de 0,6 f/ml).

Comment peut-on interpréter ce résultat ? Si l'on en reste à ce chiffre de 0,42 f/ml, l'exposition aux FCR à ce poste est en dessous de la VME, avec en prime le port d'un EPI adapté. Mais... Si l'on tient compte d'une journée de travail dans un atelier de fabrication de produits moulés, le niveau ambiant moyen est au minimum de 0,23 f/ml. Sur 8 heures, le niveau d'exposition serait donc de 0,65 f/ml (supérieur à la VME), sans compter des pics d'exposition possibles dus à des interventions directes sur les matériaux (préparations des fibres avant moulage, usinage...) au cours de l'activité régulière de l'opérateur au sein de l'entreprise. Concernant le port de l'EPI, il faut préciser que la présence de la Cram sur le lieu de travail peut inciter à ce genre de démonstration du respect des règles d'hygiène. Cependant, le port d'un EPI doit de toute façon être le recours ultime et une réduction du niveau à la source paraît évidemment préférable.

- **La série prélèvements 2** : Le niveau d'exposition est de 10,6 f/ml sur une durée de prélèvement de 63 à 116 minutes. La tâche (ponçage de pièces moulées FCR) étant effectuée en continu sur la journée de travail, la VME est donc largement dépassée. Elle serait de toute façon de l'ordre de 1,9 f/ml si l'on considérait que l'exposition est nulle en dehors de la période de prélèvement. La personne porte un matériel filtrant de type FFP1 (pièce faciale filtrante). Même si ce type de protection est moins contraignant qu'un masque, elle reste rarement supportable sur la totalité d'une journée de travail.
- **La série de prélèvements 3** : Le niveau d'exposition est de 0,5 f/ml sur une durée de prélèvement de 81 à 120 minutes. La tâche (surveillance du moulage et enlèvement des pièces moulées) étant réalisée en continu sur la journée de travail, la VME n'est effectivement pas dépassée. Cependant, si la personne est amenée à préparer le mélange (fort probable au vu du process mais non mesurée dans ce cas), les pics d'exposition associés feront augmenter l'exposition globale.

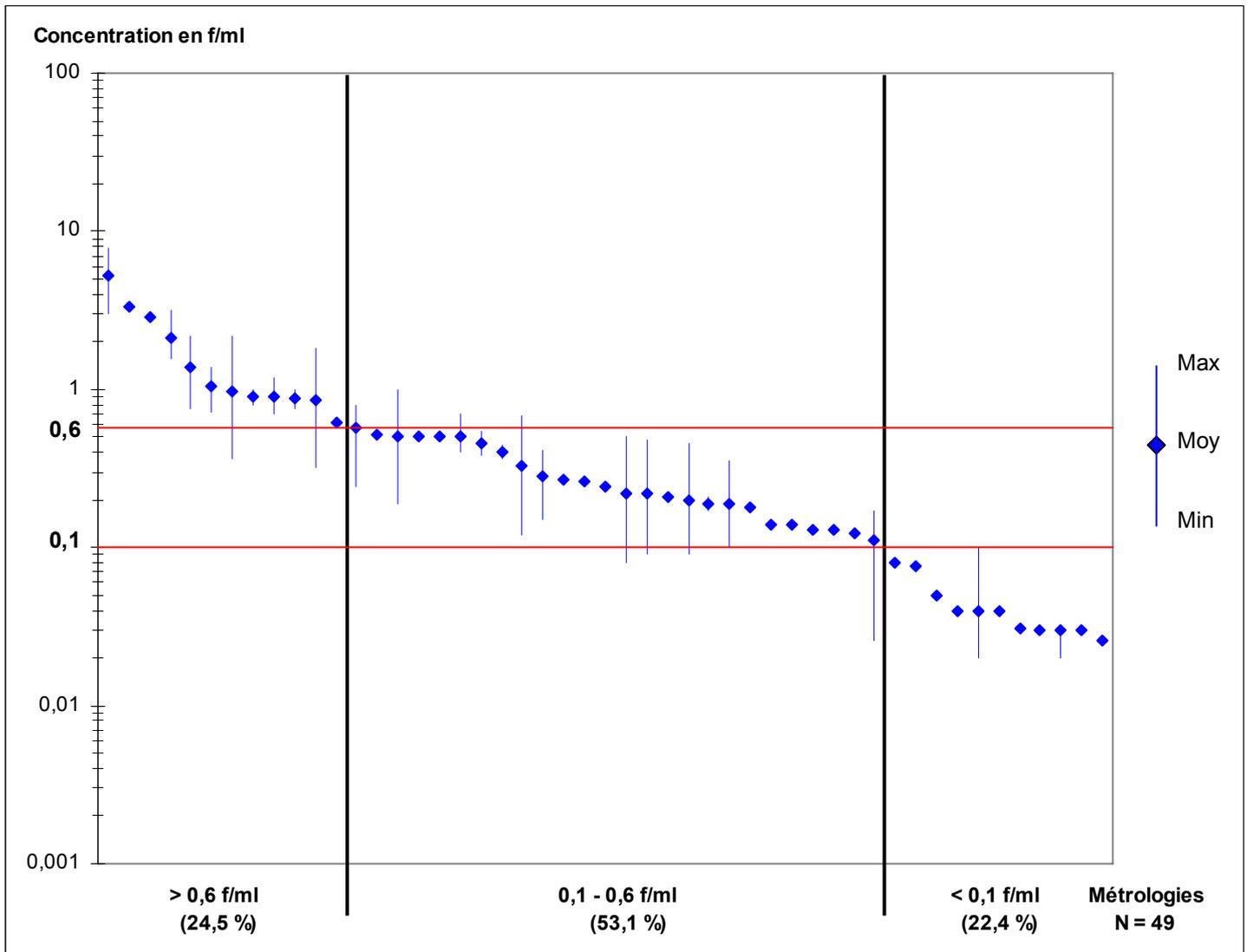
Par conséquent, chaque résultat ne peut être utilisé sans prendre en compte de façon détaillée les conditions générales du prélèvement, et notamment la durée et/ou la fréquence de la tâche observée. Ainsi, toute valeur doit être lue et interprétée en possession de toutes les variables qui la définissent.

¹⁸ Voir formule dans le paragraphe 2 de l'interprétation générale



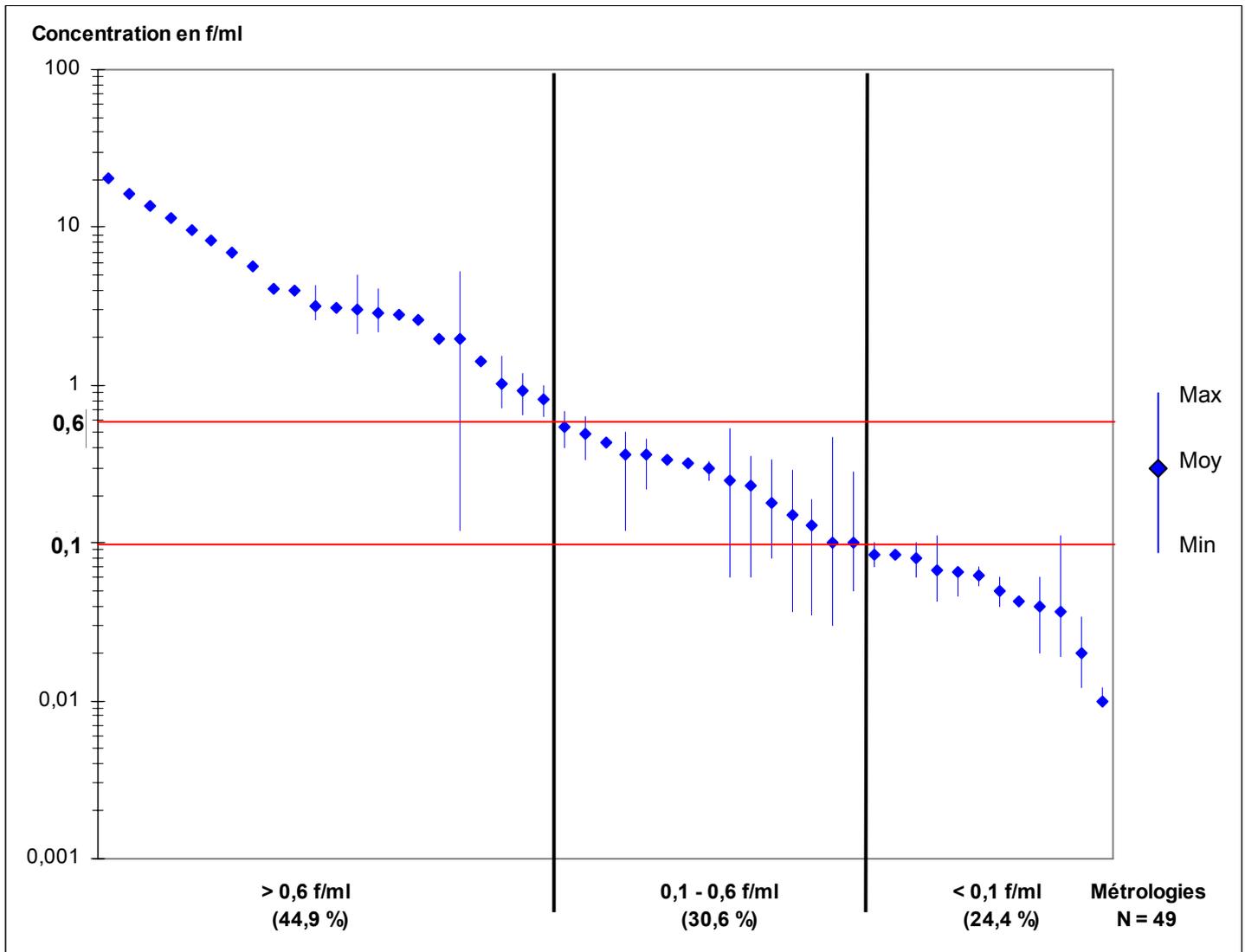
Graphique N°2 : Secteurs d'utilisation des FCR

Code Citi : 36** Fabrication de produits minéraux non métalliques, à l'exclusion des dérivés pétrole et du charbon



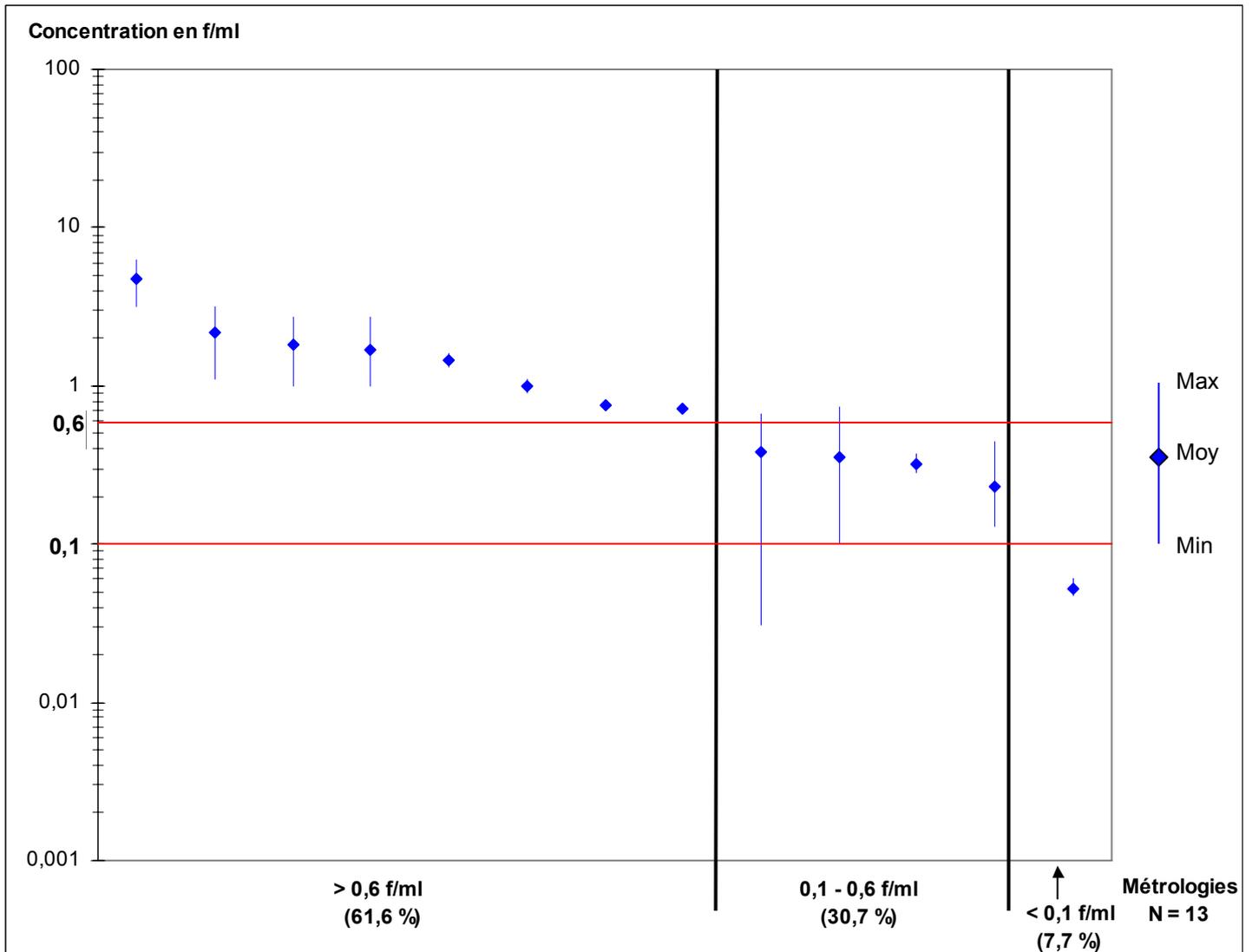
Graphique N°3 : Secteurs d'utilisation des FCR

Code Citi : 37** Industrie métallurgique de base



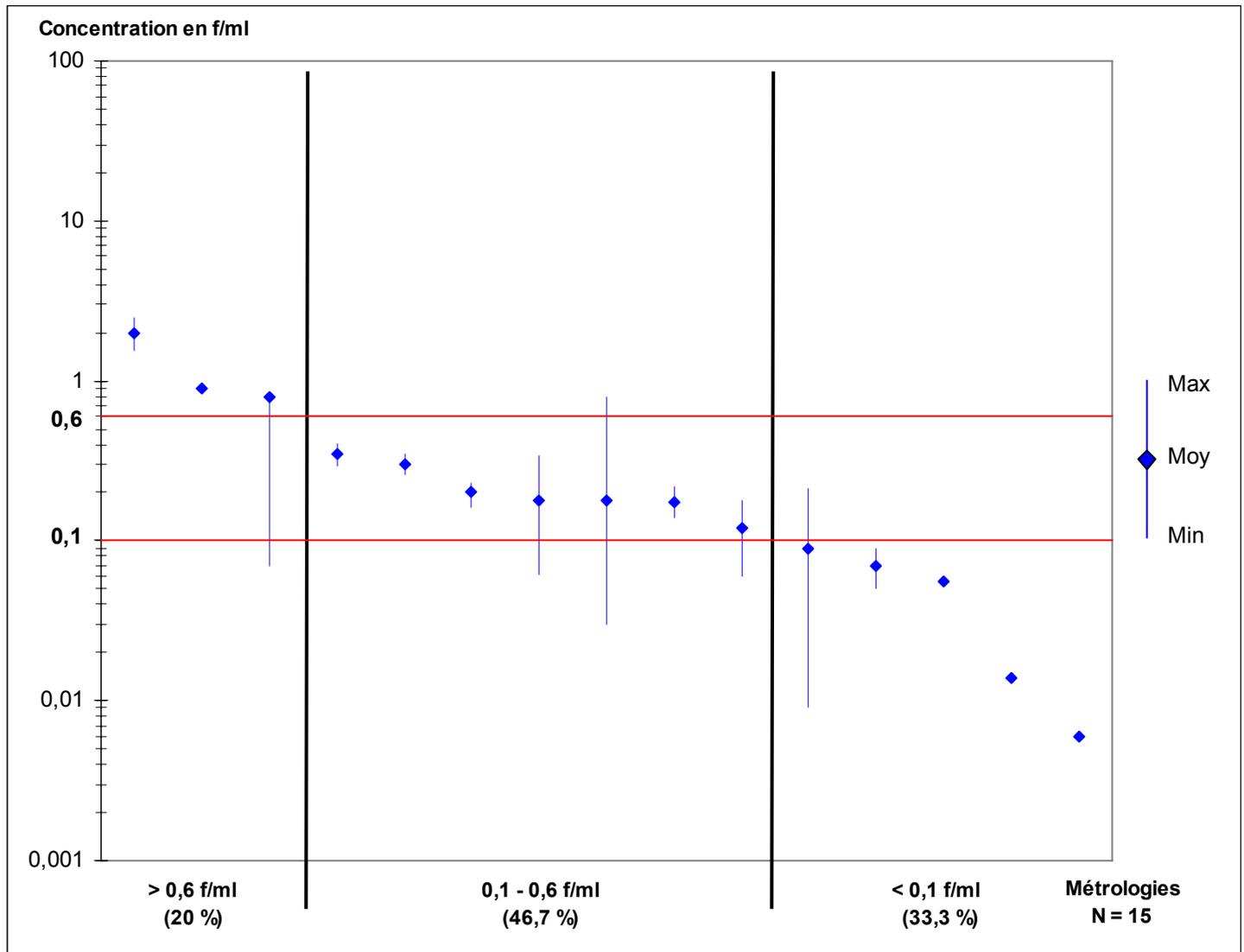
Graphique N°4 : Secteurs d'utilisation des FCR

Code Citi : 38** Fabrication d'ouvrages en métaux, de machines et de matériel



Graphique N°5 : Secteur de la fumisterie industrielle (exclusivement)

Code Citi : 5000 Bâtiments et travaux publics



Graphique N°6 : Autres secteurs d'utilisation des FCR

Code Citi :

3211 Filature, tissage et finissage des textiles

3212 Confection d'ouvrages en tissu, à l'exclusion des articles d'habillement

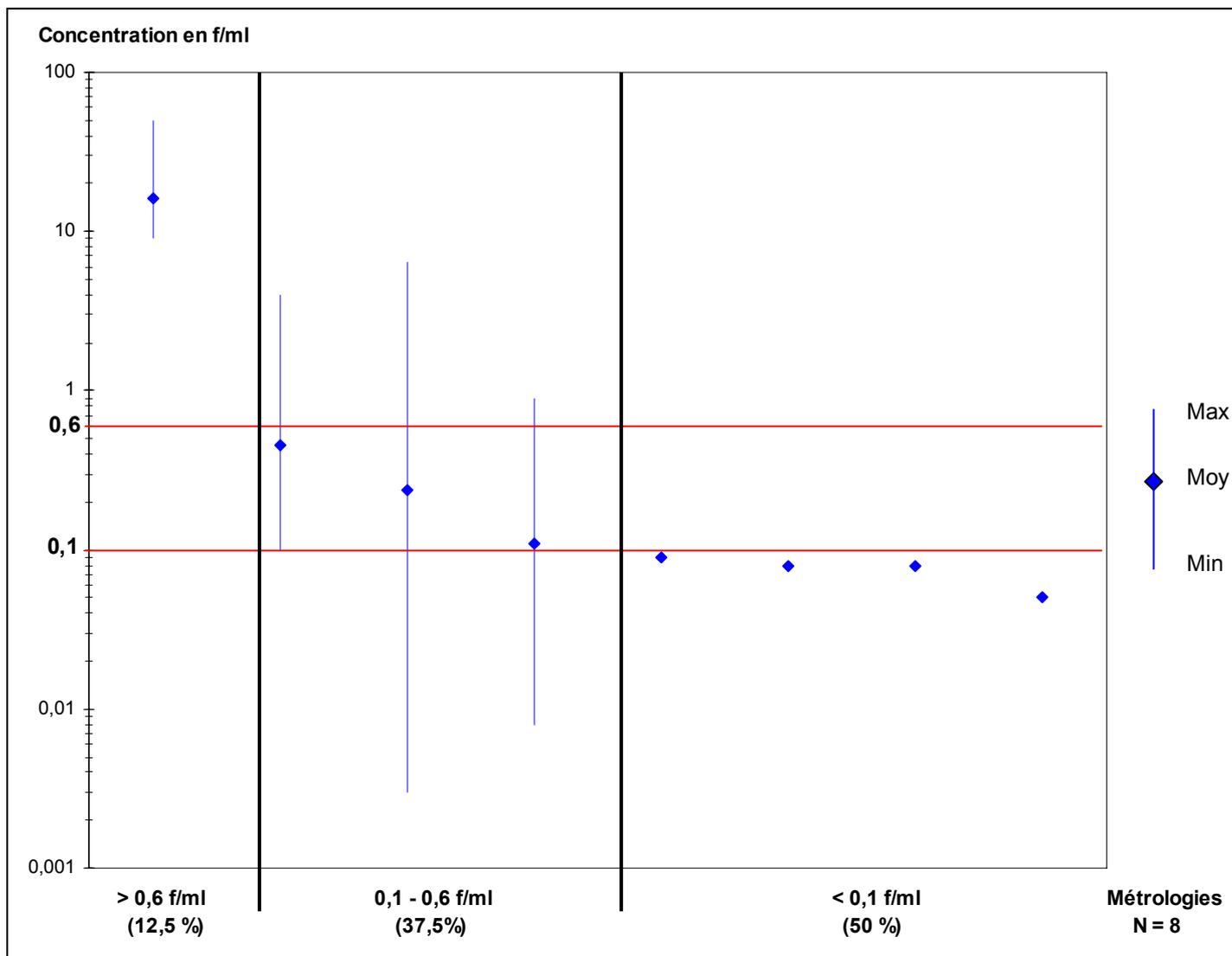
3311 Scieries et travail mécanique du bois

3530 Raffineries de pétrole

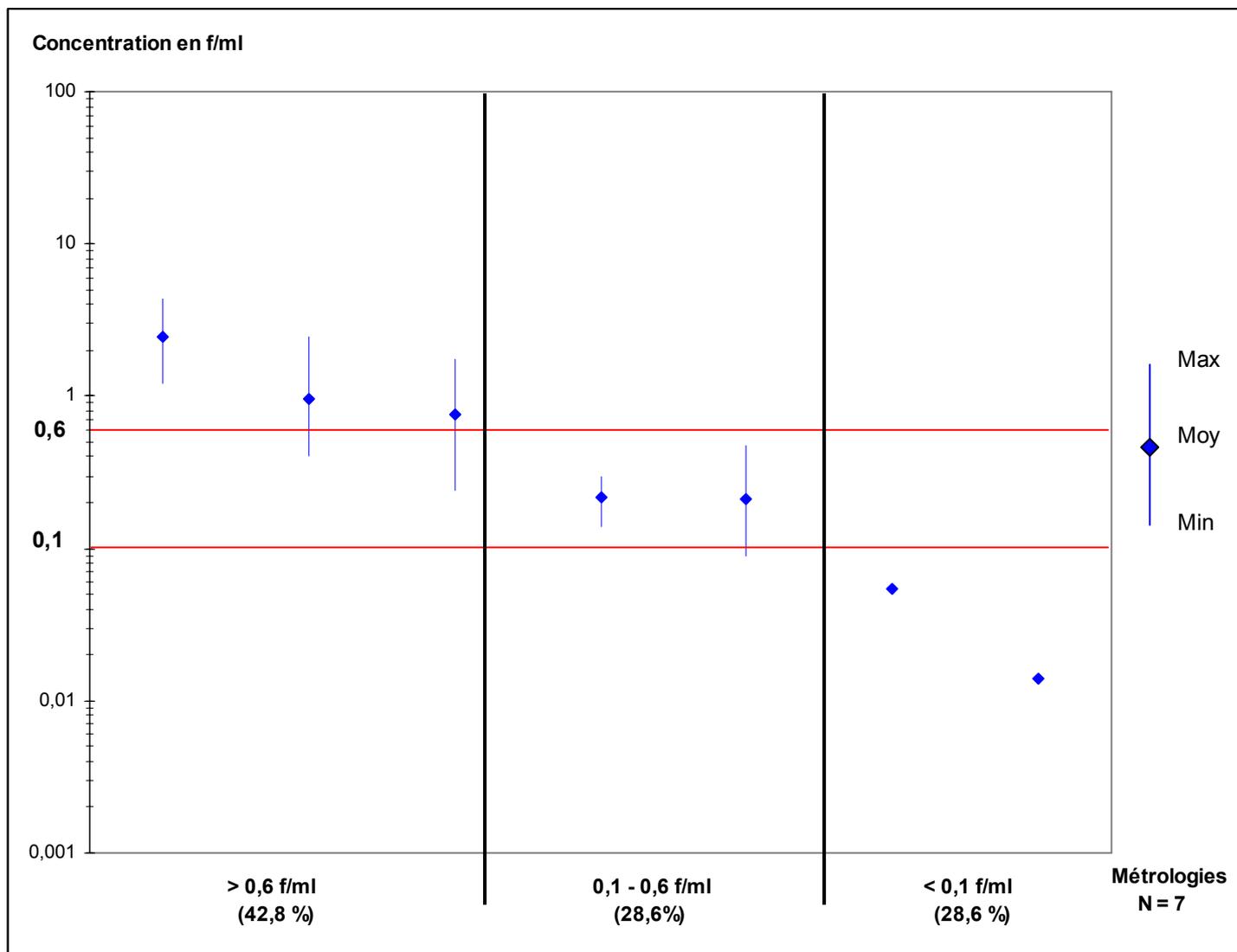
3560 Fabrication d'ouvrages en matières plastiques non classés ailleurs

3901 Bijouterie et orfèvrerie en métaux précieux, joaillerie fine

Après la présentation des données relatives au recensement des mesures par secteurs d'activité, le graphique 7 propose les données indiquées comme pondérées sur une durée de 8 heures. Par ailleurs, le graphique 8 présente les données disponibles, tous secteurs d'activité confondus, pour une durée représentative d'une journée de travail.



Graphique N°7 : Valeurs pondérées sur 8 heures



Graphique N°8 : Valeurs réelles sur une durée de prélèvement représentative d'une journée de travail (5 – 6 heures)

D'une manière générale, les concentrations en milieu professionnel peuvent se voir présentées selon deux alternatives.

- Les concentrations peuvent être rapportées sous la forme de valeurs instantanées (valeurs brutes).

Il s'agit de moyennes de concentrations sur la durée du ou des prélèvements, généralement de l'ordre d'une dizaine de minutes, voir plus rarement de 2 ou 3 heures. Ces concentrations ponctuelles restent difficilement comparables avec une VME représentant une limite d'exposition à ne pas dépasser sur une journée de 8 heures de travail. Les experts du milieu professionnel sont néanmoins capables de savoir si, effectivement, la personne est ensuite totalement "non exposée", ou si sa profession l'amène à subir d'autres expositions au cours de sa journée (cf exemples d'interprétation ci-dessus). Les expositions cumulées accentueront ainsi le niveau global de l'exposition. Ces valeurs permettent surtout de repérer des pics d'expositions correspondant à des tâches bien précises.

Il existe aussi des valeurs instantanées avec des durées de prélèvements sur 8 heures ou proche de 8 heures (entre 5 et 6 heures concernant les données présentes dans EVALUTIL) (Graphique n°8). Elles présentent un résultat permettant une comparaison directe avec la VME. Cependant, ces mesures restent anecdotiques étant donné les difficultés liées à leur mise en place.

- Les concentrations peuvent être rapportées sous la forme de valeurs moyennes pondérées (Graphique n°7).

Il s'agit de valeurs instantanées auxquelles une formule de pondération est appliquée pour ramener le niveau moyen sur une durée prédéterminée, soit généralement 8 heures, et permettre une comparaison avec la VME. La formule de pondération est la suivante :

$(C_1 \times D_1 + C_2 \times D_2 + \dots + C_n \times D_n) / 8 \text{ heures}$, où C_1 est la concentration mesurée pendant une durée 1 (D_1), C_2 est la concentration mesurée pendant une durée 2 (D_2)...

A noter que, lorsqu'un seul prélèvement est réalisé sur une courte durée, la pondération, sur 8 heures, de la concentration ainsi relevée ne tient pas compte du niveau d'exposition ambiant en dehors de la mesure. Ainsi la valeur pondérée sur 8 heures peut fortement minimiser le niveau d'exposition réel sur l'ensemble de la journée de travail.

Discussion

La lecture des résultats de métrologies rapportées dans EVALUTIL nécessite ainsi la prise en compte des notions de concentrations brutes ou pondérées.

Malheureusement, il existe peu de situations renseignant sur la totalité d'une journée de travail de 8 heures pour des personnes exposées aux FCR. Les résultats présents laissent tout de même penser, au vu de l'interprétation réalisée plus haut sur 3 séries de prélèvements, que la VME peut être rapidement dépassée dès lors qu'un pic d'exposition important est atteint sur une tâche ponctuelle, et que le niveau ambiant entraîne en sus une exposition continue.

En termes de recommandations, des campagnes de prélèvements en milieux **utilisateurs** de FCR avec des prélèvements de longues durées seraient nécessaires afin de pouvoir refléter l'exposition globale et cumulée au cours d'une journée de travail. Elles permettraient d'obtenir une meilleure vision des expositions et de définir des axes de priorités en termes de réductions des expositions, voire de substitutions des FCR dans la mesure du possible. Les alertes concernent essentiellement deux grandes activités :

- Les **activités de transformation** de FCR (transformation de produits primaires : vrac et nappes, en produits secondaires : plaques, produits moulés...), génératrices de forts niveaux d'exposition sur les tâches observées (beaucoup de tâches de type usinage : ponçage, découpage...), et ce même sur des prélèvements de longues durées.

- Les **activités de retrait** de FCR usagées (arrachage, grattage...), dans les grands fours industriels par exemple, entraînant des niveaux supérieurs à 10 ou 20 f/ml avec des durées d'interventions relativement longues.

4.3.2 La base de données CARE

Les producteurs de FCR ont mis en place un programme de suivi des produits (PSP) permettant d'identifier, d'évaluer et de contrôler les risques qui pourraient être associés à une exposition professionnelle aux FCR. Un des éléments de ce programme, appelé « *Control And Reduce Exposure* » (CARE), permet de mesurer, de contrôler et de réduire les expositions professionnelles aux FCR. Associé aux données américaines, ce programme regroupe aujourd'hui environ 14 500 mesures. Cette partie, rédigée par l'ECFIA, a pour but de présenter les résultats de ce programme pour l'Europe auxquels peuvent être assimilées les valeurs françaises.

Cette partie présente donc les principales conclusions tirées de sept années de collecte de données sur les niveaux de concentrations en FCR au poste de travail. Alors que le programme de mesure européen ne contenait à ses débuts qu'un nombre limité de mesures résultant d'études préalables, le programme américain était en place depuis 3 ans avec une base de données contenant déjà un nombre substantiel de données.

Le programme CARE incorpore en termes de prélèvements des objectifs chiffrés spécifiques aussi bien pour les clients (utilisateurs) qu'en production de fibres en Europe. Le nombre de prélèvements, les techniques de prélèvement et d'analyse, les méthodes d'analyse statistique et les mesures relatives au contrôle qualité sont donnés dans le manuel de référence du programme CARE.

Les activités de ce secteur industriel en Europe ont été classées en 9 catégories représentatives des diverses activités fabriquant, transformant ou utilisant des FCR.

Tableau N°XXXIX : catégories fonctionnelles utilisées pour le programme CARE

Catégories fonctionnelles	Définition
Usinage	Découpage ou usinage de matériaux à base de FCR à l'aide d'outils mécaniques ou manuels
Production de fibres	Production de produits tels que les fibres en vrac, en nappe à partir d'un four de fusion, l'aiguilletage, incluant les opérations de tranchage, de pressage et d'emballage
Mélanges/formage	Opération impliquant des opérations des mélanges à sec et en humide, de formage
Installation	Installation de pièces dures, de modules ou de nappes aiguilletées avec opérations de découpage, d'égalisation et de bourrage de produits de FCR
Modules	Les opérations effectuées dans le cadre de la production de modules
Assemblage	Encapsulation, laminage, agrafage, opérations de couture, de découpe ou de prédécoupe
Enlèvement	Démontage de moules, nettoyage, élimination, démontage entretien de fours
Opérations auxiliaires	Maintenance, expédition, nettoyage, supervision, laboratoire, conducteurs de chariots élévateurs, emballage, préparation des emballages
Autres	Textile, automobile, opérations sur du papier fini et autres opérations non mentionnées ailleurs

La production de fibres n'a lieu par définition que sur les sites de production, en interne, alors que les opérations d'installation et d'enlèvement sont des activités uniquement externes réalisées par les clients ou utilisateurs.

Approche statistique et stratégie de prélèvement

Les mesures effectuées dans les sites de production des membres de l'ECFIA sont effectuées sur des opérateurs choisis de manière aléatoire dans chaque catégorie fonctionnelle. Tous les postes de travail sont évalués au moins une fois dans l'année.

Il était important de trouver un moyen de sélectionner des sites de clients représentatifs. Comme la possibilité d'exposition aux FCR augmente avec la quantité de FCR utilisée, la

sélection des utilisateurs a été pondérée par la quantité de FCR utilisée. Comme une telle information présentait un caractère confidentiel, chaque producteur produisait une liste de ses clients ainsi que le poids de FCR qui lui était vendu. Cette liste était utilisée chaque année par un consultant en statistiques indépendant pour effectuer la sélection des utilisateurs chez lesquels une campagne de mesure devait être effectuée.

Certains clients désirent pour diverses raisons évaluer leurs postes de travail bien qu'ils n'aient pas été sélectionnés. Ces volontaires ont été inclus dans le programme mais les données ont été traitées de telle sorte que l'on puisse consulter séparément les données des clients sélectionnés et celles des volontaires.

Une visite préalable était organisée afin de définir quelles opérations étaient effectuées, quels produits étaient manipulés, dans quelles conditions, afin d'établir une stratégie de prélèvement. Le plus grand nombre possible de prélèvements était échantillonné dans des conditions représentatives. Chez les clients, tous les employés impliqués dans les activités FCR étaient échantillonnés durant la campagne de mesures. Lorsque le nombre d'employé était trop important, une technique de prélèvement proportionnelle était utilisée.

Le programme de mesures prévoyait que 400 mesures soient effectuées sur les sites de production de fibres (mesures internes) et 300 chez les clients (mesures extérieures). Ce nombre de mesures a été fixé pour obtenir des estimations précises et fiables des expositions dans chaque catégorie fonctionnelle et pouvoir déterminer toute évolution dans le temps. Le tableau XL présente le nombre total de mesures prises dans chaque catégorie fonctionnelle.

Chaque mesure était prise pendant la période durant laquelle l'opérateur était effectivement en train d'utiliser des FCR (50 à 500 minutes). Les moyennes pondérées par le temps étaient déterminées d'une part sur la durée totale de l'équipe mais aussi sur la durée effective durant laquelle l'opérateur était exposé aux FCR.

Tableau N°XL : nombre total d'échantillons collectés durant chaque activité

Catégories fonctionnelles	Nombre de mesures
Assemblage	452
Auxiliaire	913
Production de fibres	631
Usinage	836
Installation	223
Mélange / formage	593
Modules	200
Autres	181
Enlèvement	143
Total	4172

Le but des mesures effectuées était d'évaluer la concentration en fibres dans l'air des lieux de travail. Toutefois, dans certains cas, on déterminait aussi la nature de la fibre lors d'opérations d'enlèvement, et/ou la concentration en silice cristalline dans l'air ambiant.

Les filtres étaient changés afin d'assurer une charge optimale du filtre ou pour ne mesurer la concentration que durant une certaine tâche. Ainsi, si un opérateur du département finition passait un certain temps à utiliser une scie à bande puis passait à une opération de découpage à l'emporte pièce, le filtre était changé de telle sorte que des informations soient disponibles pour chaque opération.

Le filtre ainsi exposé était monté et transpirisé avant d'être envoyé à un laboratoire agréé pour le comptage de fibre suivant la méthode WHO EURO (OMS, 1997). En général, l'IOM (Institut de Médecine du Travail à Edimbourg) était chargé de cette analyse sauf dans certaines circonstances où un hygiéniste certifié pour le comptage de fibres comptait les filtres de ses propres usines.

En 1996, dans le cadre d'une étude épidémiologique sur les FCR, l'IOM a mis au point un manuel et des procédures de contrôle qualité pour l'évaluation de la concentration en poussières. Ces procédures, basées sur les critères définis pour l'obtention de l'accréditation NAMAS, furent adaptées aux besoins spécifiques de cette étude. Le même système d'assurance qualité fut adopté pour le travail présenté ici.

Après chaque campagne de mesures, un rapport confidentiel était envoyé au site évalué. Ce rapport comprenait la description des activités mesurées, les résultats obtenus et les recommandations visant à réduire les concentrations aux postes de travail. Lorsque cela était possible une nouvelle visite était organisée permettant de mesurer les effets des actions de prévention proposées et l'efficacité du programme en général.

La concentration en poussière dans l'air varie avec la nature de la tâche ou des tâches effectuées mais la concentration en fibres peut également varier de manière significative à différents postes de travail effectuant la même activité. Ceci est en général dû à l'application de mesures techniques ou organisationnelles différentes visant à réduire la concentration aux postes de travail. Ce programme de mesures a été élaboré afin de pouvoir procurer suffisamment de données pour permettre d'identifier toutes ces différences à partir d'analyses statistiques spécifiques.

Résultats

La base de données CARE a été conçue dans le but de permettre d'effectuer les analyses statistiques décrites plus avant en se basant sur au moins 700 mesures collectées annuellement en Europe entre 1996 et 2003. Le programme de mesures prévisionnel spécifie que 400 mesures devaient être prises en production et 300 chez les utilisateurs. Le programme CARE regroupe environ 2 000 mesures effectuées en France entre 1991 et 2003. Ce chiffre est à rapprocher de 5 400, nombre total de mesures effectuées en Europe sur la même période. Dans l'ensemble, les concentrations moyennes en France étaient comparables à celles obtenues pour toute l'Europe avec une nuance pour les opérations d'usinage pour lesquelles les utilisateurs français étaient moins exposés alors que pour les opérations de mélange / moulage et d'enlèvements la tendance était inversée.

Il est donc possible d'effectuer les analyses statistiques sur les données européennes et de les extrapoler/appliquer à la France sans grand risque d'erreur.

Des comparaisons plus détaillées pour la France seule ne sont pas possibles en raison d'un nombre de données plus limité. Par ailleurs ce nombre limité peut aussi expliquer les différences entre certaines catégories fonctionnelles comme indiquées ci-dessus.

Distribution statistique des mesures de concentration au travail

La distribution des concentrations de fibres varie fortement en fonction de l'application. L'étude de cette distribution a montré que la distribution était à peu près log-normale indiquant qu'il était approprié d'appliquer les tests statistiques à partir de données exprimées sous la forme logarithmique.

Evolution dans le temps

L'un des objectifs majeurs était de déterminer si le niveau de concentration variait avec le temps. La figure 23 présente l'évolution dans le temps des concentrations lors de l'installation de FCR chez les clients finaux. Les premiers échantillons ont été pris avant l'introduction du programme CARE tel que décrit ici. Toutefois l'évolution dans le temps est aussi démontrée par les données obtenues après la mise en place de CARE, avec ou sans les données antérieures. Par exemple, toutes les données pour les opérations d'installation de fibres sont utilisées avec celles du programme formel CARE introduit pour l'année 6 du graphique.

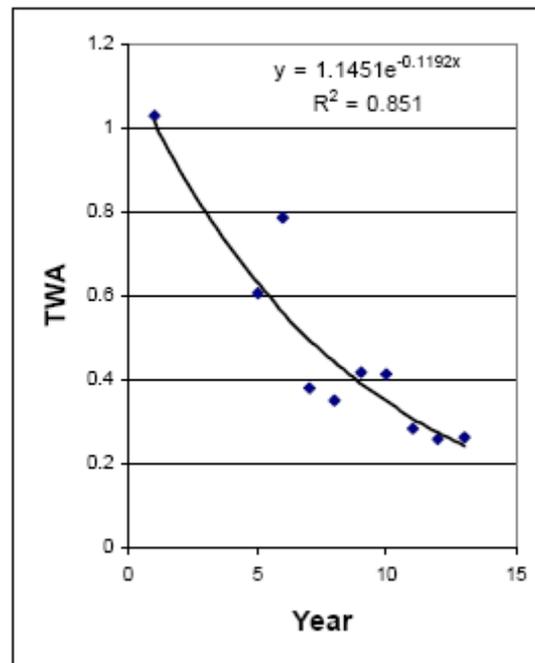


Figure N°23: moyenne géométrique des moyennes pondérées durant l'installation de FCR sur les sites des clients (la première année correspond à 1991 et l'année 13 à 2003)

La fréquence cumulée de toutes les mesures dans les divers sous-groupes est présentée. La figure 24 donne la distribution cumulée de toutes les données clients des sept années de prélèvement. Pour la septième année, 87 % des mesures étaient inférieures à 1 f/ml alors qu'en 1997 seulement 70 % des mesures étaient inférieures à cette valeur. L'année 6 a été la seule année où les concentrations étaient supérieures aux années précédentes mais la tendance générale est à la diminution des concentrations sur toute la durée de l'étude.

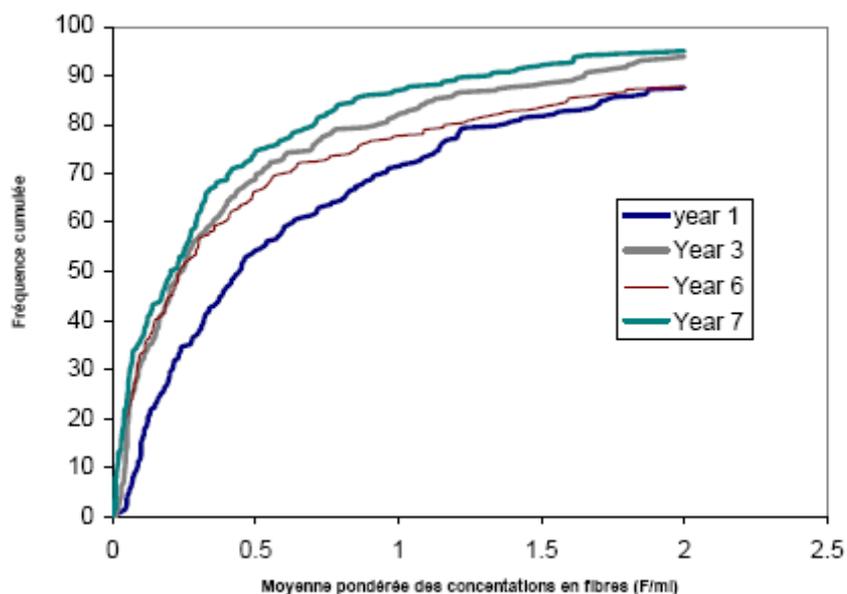


Figure N°24 : distribution des fréquences cumulées pour toutes les données clients pour 4 années (Les autres ont été écartées par mesure de clarté)

Les données illustrées dans la figure 25 indiquent que les concentrations ont décliné de manière significative durant les premières années mais ont atteint un plateau ultérieurement avec une moyenne pondérée située entre 0,3 et 0,4 f/ml.

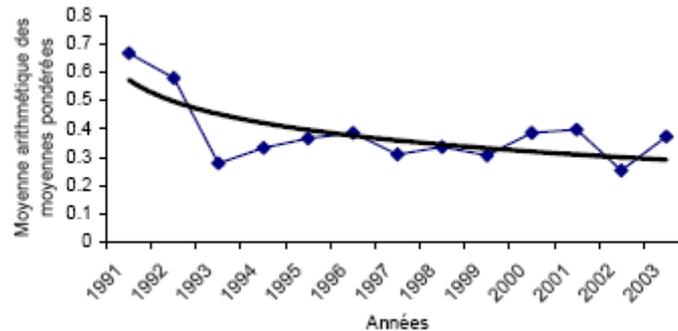


Figure N°25 : moyenne arithmétique des valeurs moyennes pondérées dans les sites de production durant l'ensemble de l'étude

Différences entre les catégories fonctionnelles

La figure 26 donne les moyennes géométriques de concentration en fibres déterminées pour chaque catégorie fonctionnelle pour l'année 7 du programme CARE. Les concentrations en fibres étaient élevées durant la production de modules, lors de l'enlèvement de revêtements fibreux et durant les opérations d'usinage. Pour les autres catégories fonctionnelles, les concentrations étaient inférieures.

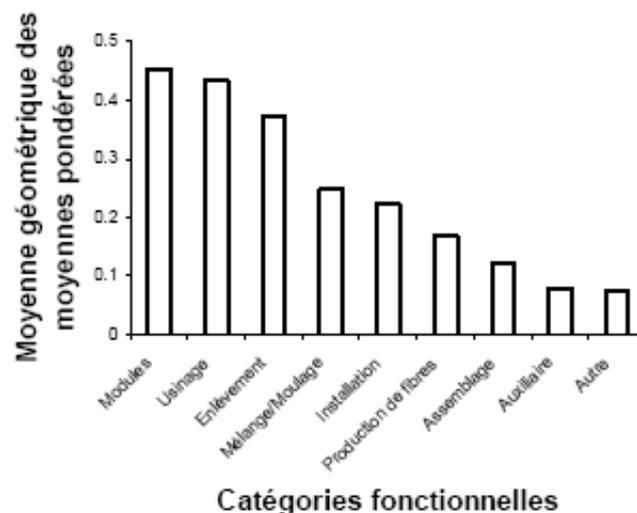


Figure N°26 : moyenne pondérée de concentrations en fibres pour l'année 7 pour toutes les catégories fonctionnelles producteurs et utilisateurs confondus

Différences entre les producteurs et les clients

Les conditions de travail peuvent varier de manière conséquente en fonction de l'importance de l'opération, des connaissances et de la sensibilisation de l'employé mais aussi de l'employeur. Cela dépend aussi des moyens techniques et organisationnels utilisés pour réduire les émissions de poussières et l'aérosolisation.

Le tableau XLI donne les concentrations de poussière pour les mêmes catégories fonctionnelles chez les clients et dans les sites de production de fibres. Les données de l'année 7 indiquent une différence statistiquement significative seulement pour les opérations

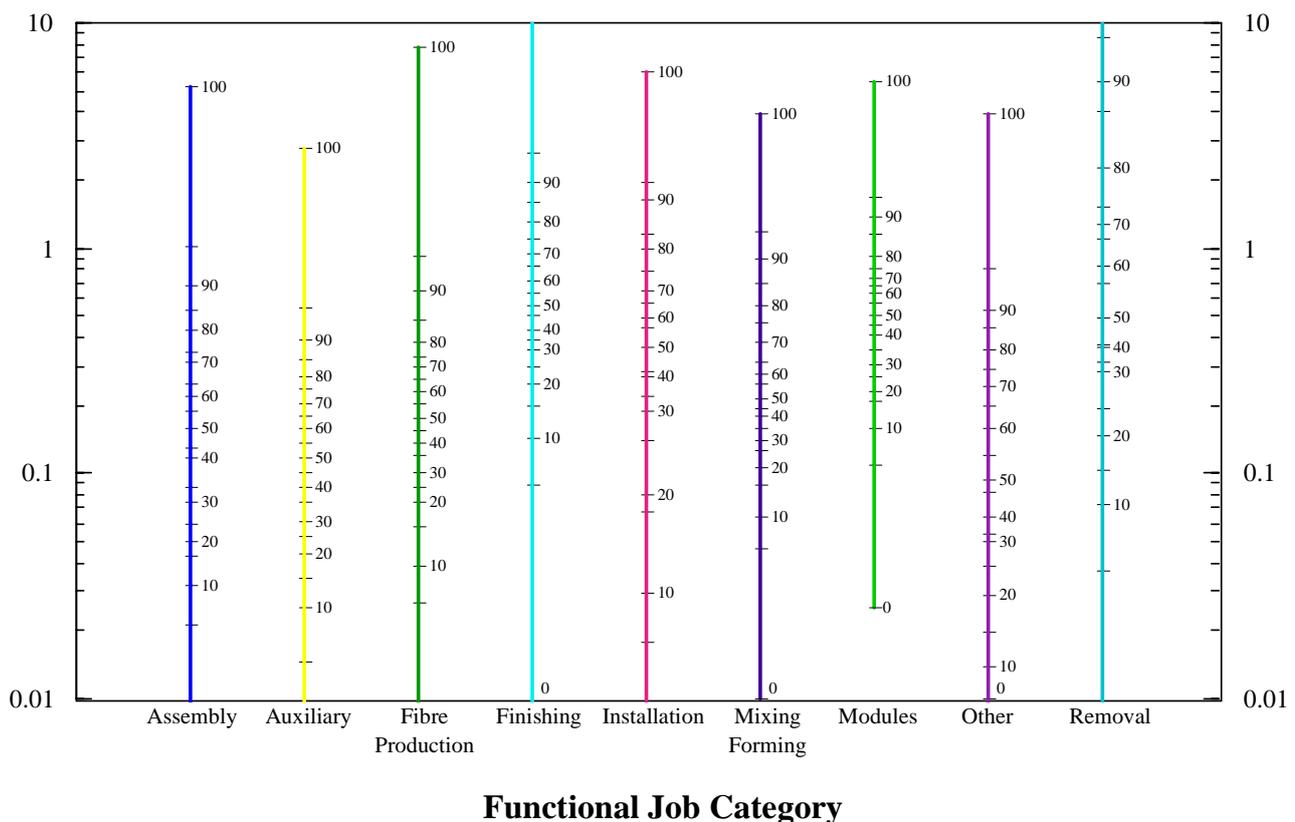
de mélange / formage et d'usinage. En général, les concentrations mesurées sur les opérateurs des sites utilisateurs étaient semblables à celles trouvées sur les sites de production. Ceci indique qu'un transfert substantiel des méthodes de contrôle et des technologies s'est opéré entre les producteurs et les utilisateurs. Malgré une variation aléatoire importante des données, une amélioration progressive a été observée depuis 1998. Pour les sites utilisateurs, les améliorations étaient notables dans les premières années mais l'évolution des concentrations s'est maintenant stabilisée. Pour l'année 1 (1998), 28 % des mesures étaient en dessous de 0,2 f/ml. Pour l'année 2000, cette proportion atteignait 42 % puis est restée stable. La fraction de concentrations élevées (au dessus de 1 f/ml) a diminué sauf en 2003 (Année 6).

Tableau N°XLI : résultats de l'année 7 pour les catégories fonctionnelles se retrouvant aussi bien en production qu'en utilisation

Catégories fonctionnelles	Producteurs		Clients	
	Moyenne géométrique	Limite de confiance 95%	Moyenne géométrique	Limite de confiance 95%
Usinage	0.53	0.021	0.67	0.055
Modules	0.51	0.039	0.47	0.060
Installation	0.12	0.780	0.37	0.033
Mélange/Formage	0.22	0.010	0.28	0.032
Assemblage	0.18	0.026	0.15	0.0101
Auxiliaire	0.12	0.005	0.10	0.008
Autre	0.088	0.021	0.11	0.013

Variations dans chaque catégorie fonctionnelle; identification des activités avec une possibilité de concentration en fibres élevée.

Les données sont aussi présentées sous la forme de diagrammes en échelle qui donne la distribution cumulée pour chaque catégorie fonctionnelle. La figure 27 présente ces diagrammes pour les années 1 à 7 cumulées. Ce diagramme permet de comparer les données spécifiques d'un site avec un résumé statistique de données obtenues sur l'ensemble des sites évalués. Cette comparaison doit être effectuée avec prudence car les concentrations en fibre peuvent varier en fonction des opérations effectuées même si elles appartiennent à la même catégorie fonctionnelle. Ainsi l'usinage inclue entre autre le ponçage, la découpe à la scie, la découpe manuelle... ce qui explique la fourchette de valeurs étendue que l'on peut rencontrer dans une même catégorie fonctionnelle alors que les utilisateurs sont apparemment semblables.



Data set: First - seventh-year CARE data (4,172 observations)

Figure N°27 : diagramme échelle montrant la fréquence de distribution cumulée des valeurs moyennes pondérées pour les catégories fonctionnelles

Volontaires sélectionnés

Comme indiqué au dessus, les données clients comprennent celles qui ont été sélectionnées de manière aléatoire et ceux ayant demandé à être évalués. Afin d'éviter tout biais dans les résultats, ces données ont été séparées. Toutefois, il était intéressant de comparer les données de ces deux groupes. Il apparaît dans cette étude que pour la plupart des catégories fonctionnelles et pour les différentes années analysées, il n'existait pas de différence entre les volontaires et les sélectionnés. Seule dans la catégorie fonctionnelle « *enlèvement* » la moyenne chez les sélectionnés était de 0,32 f/ml alors qu'elle était de 0,80 f/ml chez les volontaires. Pour les autres catégories fonctionnelles, les différences étaient faibles et n'étaient statistiquement significatives que pour les catégories fonctionnelles « *auxiliaire et autre* » pour lesquelles les concentrations étaient dans tous les cas faibles. Il est donc possible d'inclure les volontaires dans la base de données afin d'accroître sa puissance. Au cours de l'étude, certains sélectionnés ont décliné l'offre de participer au programme. Ceci a pu introduire un biais de « non réponse ».

Visites répétées

La sélection aléatoire des clients a conduit à prélever certains clients plusieurs fois. Ces visites répétées ont permis d'évaluer l'impact des améliorations réalisées après l'évaluation initiale.

Des recommandations ont été faites pour l'utilisation des « meilleures techniques disponibles » adaptées aux particularités des sites et des procédés. Ces recommandations comprenaient la manière de manipuler les produits, le nettoyage plus fréquent et plus poussé des postes de travail, l'élimination de l'utilisation d'air comprimé pour le soufflage des vêtements de travail et d'équipements, l'amélioration des systèmes d'aspiration ou

l'installation de nouveaux équipements permettant de mieux contrôler les concentrations de fibres.

Ces réductions sont importantes et démontrent l'efficacité des campagnes de mesures. Il est aussi important de noter que les réductions de l'empoussièrement les plus importantes ont été obtenues là où les concentrations initiales étaient les plus fortes.

Ainsi, certaines mesures présentent l'évolution des pratiques mais ne reflètent pas nécessairement les situations dans les entreprises non sensibilisées par l'ECFIA. Par conséquent, elles introduisent également un biais.

Commentaires et conclusions

Les résultats de l'étude montrent que les concentrations moyennes de l'ensemble des mesures incluant les données production et utilisation, ont été divisées par deux depuis 1991. Cette amélioration est le résultat de la mise en œuvre de mesures techniques et organisationnelles.

L'ECFIA indique que les données les plus récentes montrent que la concentration moyenne tend à se stabiliser vers une valeur de 0,3 à 0,4 f/ml malgré la mise en œuvre des techniques les plus adaptées.

L'analyse des données souligne que les niveaux moyens par catégories fonctionnelles varient de manière significative. Ainsi, est-il possible de maintenir des niveaux plus bas en production de fibres par exemple (75 % des mesures inférieures à 0,3 f/ml) alors que pour l'usinage 75 % des mesures sont inférieures à 1,1 f/ml. De même, au sein d'une même catégorie fonctionnelle, il existe des activités moins poussiéreuses que d'autres.

4.3.3 La base de données COLCHIC

La base de données d'exposition professionnelle aux agents chimiques, COLCHIC, créée en 1986 à l'instigation de la Caisse Nationale d'Assurance Maladie des Travailleurs Salariés (CnamTS), regroupe l'ensemble des mesures d'exposition effectuées par prélèvement et analyse de l'air des lieux de travail. Ces mesures sont réalisées par les huit Laboratoires Interrégionaux de Chimie (LIC) des Cram et les laboratoires spécialisés de l'INRS. Chaque intervention dans un établissement donne lieu à la constitution d'un dossier dans lequel sont codifiées les informations relatives à l'établissement et aux prélèvements effectués :

- coordonnées administratives de l'établissement (secteur d'activités, région...);
- poste de travail où ont été effectuées les mesures ;
- conditions de réalisation des prélèvements (volume, durée, méthode, type de prélèvement...);
- conditions analytiques.

Tous les résultats archivés dans cette base ont été obtenus à l'aide de techniques de prélèvement et d'analyse de l'air des lieux de travail normalisées ou élaborées par les LIC et l'INRS (Metropol).

Cette base comprend actuellement plus de 680 000 résultats pour environ 900 agents chimiques.

Les informations contenues dans COLCHIC proviennent des interventions menées pour des motifs très divers dans les établissements du régime général de la Sécurité Sociale en France. Dans le cas des mesures d'exposition aux FCR, ces demandes d'intervention provenaient des services préventions des Cram (40,9 %), des médecins du travail (13 %), des entreprises (18,2 %), et plus rarement des Comités Hygiène Sécurité-Conditions de Travail (CHSCT) pour 2 % des demandes. Une part non négligeable des données (21,5 %) a été collectée durant la réalisation d'une étude menée par l'INRS dans les centres de production. De ce fait, et compte tenu de la diversité des motifs à l'origine de ces interventions, COLCHIC ne saurait prétendre à une description exhaustive des situations d'exposition professionnelle en France. Malgré cette limite, COLCHIC est un outil qui permet de repérer et de quantifier les nuisances chimiques en milieu professionnel (Vincent *et al.*, 2001).

4.3.3.1 Les données d'exposition aux FCR

Depuis 1986 et jusqu'à mai 2006, les LIC des Cram et les laboratoires spécialisés de l'INRS ont réalisé 2 101 prélèvements d'air des lieux de travail en vue de quantifier l'exposition professionnelle aux FCR. Ces prélèvements individuels ou d'ambiance ont été collectés lors de 252 interventions menées dans 153 établissements différents. Ce constat signifie que les laboratoires ont effectué, dans certains établissements, deux interventions ou plus.

Ces données d'exposition ont été utilisées pour une analyse globale. Une analyse plus détaillée a été réalisée au début des années 2000 (Catani *et al.*)

4.3.3.2 Sélection des données

De manière à disposer d'une série de résultats issus de conditions de prélèvement et d'analyses standardisées, seuls ont été retenus dans l'exploitation les prélèvements correspondants aux conditions opératoires suivantes :

- débit de prélèvement compris entre 0,5 et 2 L/min (+/- 10 %) ;
- prélèvement à l'aide d'une cassette ouverte équipée d'un filtre quadrillé en ester de cellulose d'un diamètre de 25 mm ;
- comptage des fibres par microscopie optique à contraste de phase (MOCP).

Cette sélection conduit à écarter plus de 10 % des résultats pour lesquels le comptage a été effectué par microscopie électronique à balayage (MEB).

Au final cette sélection permet de disposer de 1 858 résultats pour mener une analyse globale et de 839 résultats d'exposition individuelle pour l'analyse détaillée.

4.3.3.3 Analyse Globale des données COLCHIC

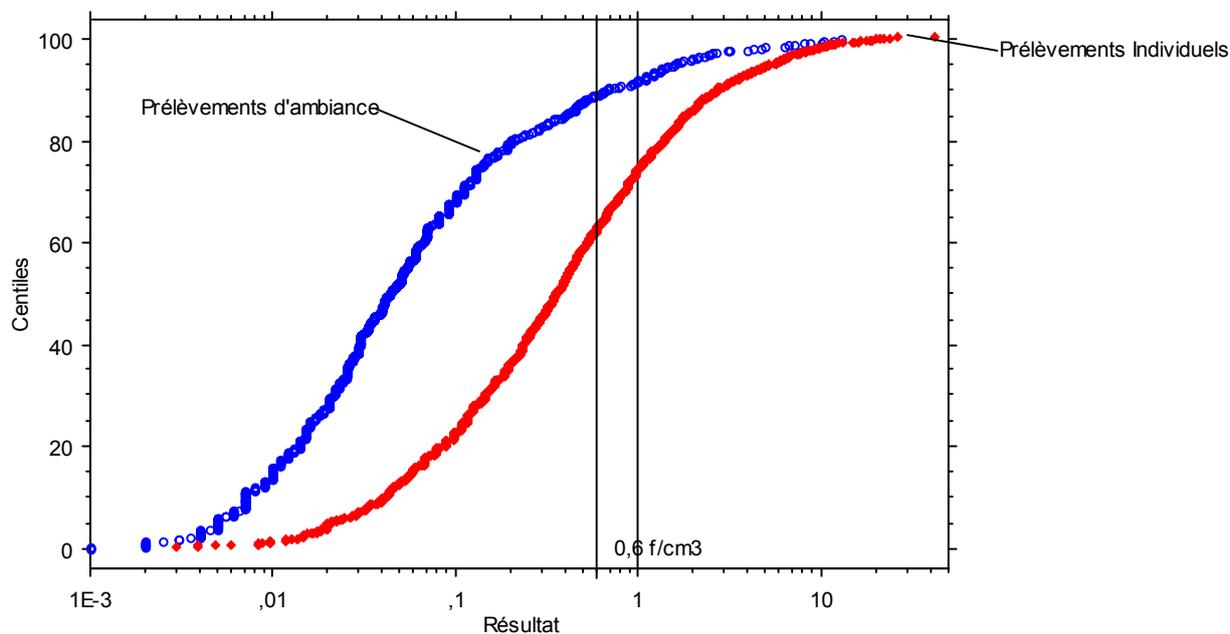
Pour les 1 858 résultats de mesures en FCR dans l'air des lieux de travail, effectuées de 1986 à 2006, 1 262 correspondent à des prélèvements individuels et 596 à des prélèvements d'ambiance. Alors que les prélèvements individuels permettent d'estimer les concentrations en FCR pour les salariés directement exposés, les prélèvements d'ambiance peuvent refléter l'exposition des salariés ne manipulant pas de FCR mais situés à distance des postes où l'on utilise des FCR. Tous les résultats présentés dans ce document concernent des FCR dont les caractéristiques dimensionnelles correspondent à une longueur supérieure à 5 µm et un diamètre inférieur à 3 µm. La nature chimique de la fibre, compte tenu de la méthode d'analyse, est indiquée par le technicien réalisant le prélèvement : elle est basée sur la connaissance des procédés et matériaux employés. Dans quelques cas moins fréquents, un prélèvement d'échantillon de matériau fibreux est analysé par MEB pour confirmer la nature chimique des fibres prélevées.

Les statistiques concernant les résultats de mesures de FCR sans souci de représentativité liée à la stratégie de prélèvement (durée notamment) figurent dans le tableau XLII.

Tableau N°XLII : résultats des mesures de concentration (f/ml) en FCR durant la période 1986 – 2006

Type de prélèvement	Nb Résultats	Durée moyenne min	Moyenne Arithmétique	Moyenne Géométrique	Etendue	Médiane	Percentiles		
							25	75	90
Individuel	1262	116	1,288	0,363	0,003-43	0,37	0,12	1,1	2,82
Ambiance	596	154	0,36	0,056	0,001-12,8	0,043	0,016	0,137	0,67

Les distributions log-normales des prélèvements d'ambiance et individuels présentées (graphique 9) montrent qu'environ 40 % des résultats de prélèvements individuels sont supérieurs à 0,6 f/ml. Pour les prélèvements d'ambiance, cette proportion est d'environ 15 % pour la période 1986-2006.



Graphique N°9 : fréquences cumulées pour les prélèvements d'ambiance et individuels

D'autre part, une analyse de tendance montre que l'exposition a décliné de manière significative ($p < 0,0001$) entre 1986 et 2005 (figure 28). Cette tendance à la baisse des expositions est similaire à celle relevée lors de la réalisation d'autres campagnes de mesures des expositions aux FCR (Class, 2006).

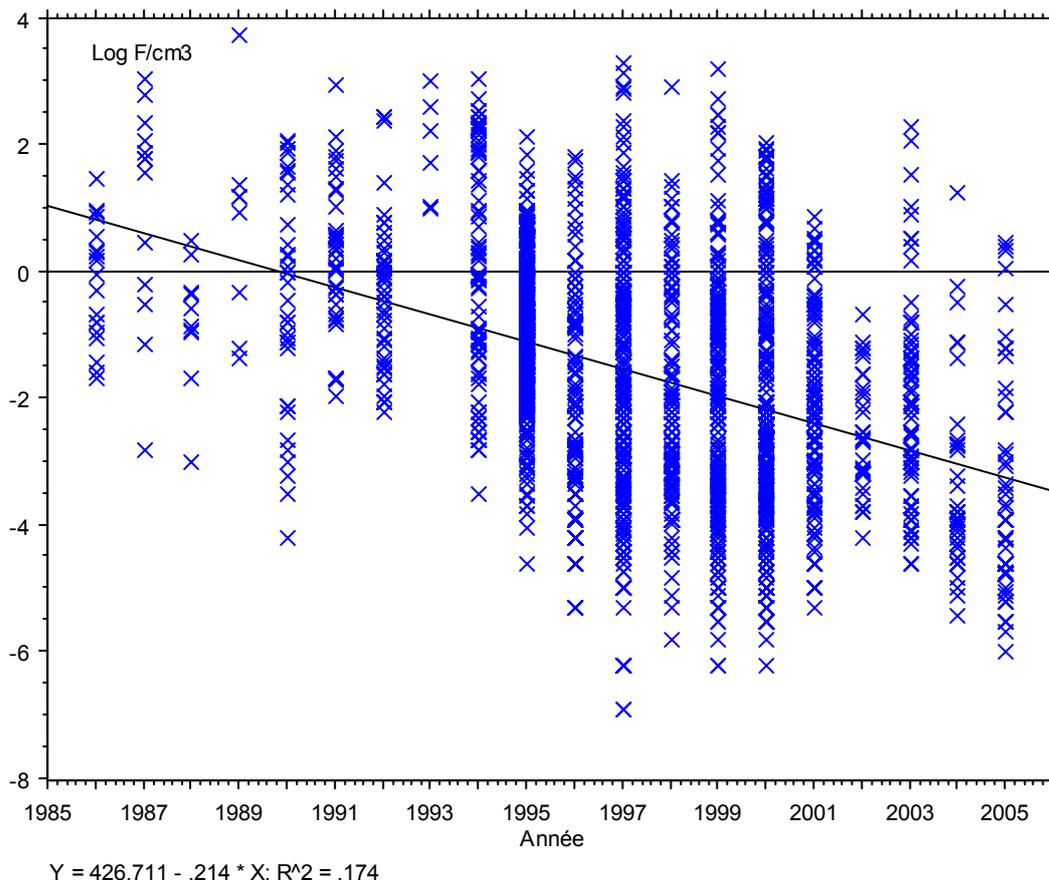


Figure N°28 : évolution des résultats de mesures d'exposition individuelles aux FCR entre 1986 et 2006

4.3.3.4 Analyse détaillée des données COLCHIC

De façon à estimer l'exposition aux FCR, une analyse des résultats de mesures archivés dans la base de données COLCHIC, pendant la période 1990 à 2001, a été réalisée. Ces mesures ont été effectuées par les huit LIC des Cram et ceux de l'INRS lors d'interventions menées dans 101 établissements appartenant à divers secteurs d'activités. Une campagne spécifique de mesures d'exposition aux FCR, menée par les huit LIC, a été organisée durant la période 2000-2001. Durant cette campagne, la description des facteurs d'exposition a fait l'objet d'une saisie d'informations codifiées. Tous les dossiers des interventions réalisées avant la période 2000-2001, ont été ensuite codifiés de la même manière.

Au total 869 mesures d'exposition ont été réalisées par prélèvement individuel de l'air des lieux de travail. La majorité des prélèvements a été exécutée durant la période 1996-2001 (64,7 %).

- **Sélection des données**

Les résultats de ces mesures correspondent à des concentrations en fibres de FCR dans la zone respiratoire des salariés, mais ne reflètent pas l'exposition réelle des salariés qui, dans certains cas, utilisaient une protection respiratoire : 43,2 % des prélèvements ont été réalisés alors que le salarié portait une protection respiratoire jugée efficace (masque types FFP3, FFP2...).

Les conditions de débit et de durée de cette série de prélèvements individuels figurent dans le tableau XLIII.

Tableau N°XLIII : description des conditions de prélèvements

Prélèvements individuels (n = 839)	Moyenne	Médiane	Etendue
Durée en minutes	119	109	3 - 417
Débit en litre/minute	1,21	1,02	0,45-2,18

La valeur médiane des durées de prélèvement est pratiquement de deux heures ce qui permet généralement d'estimer de manière représentative l'exposition sur la durée du poste de travail. Des prélèvements de courte durée ont été effectués lorsque le niveau d'empoussièrement était, a priori, considéré comme très élevé.

Les fibres ont été comptées par MOCP suivant la norme X 43-269 (AFNOR, 1991). Les fibres retenues pour le comptage sont les fibres de longueur supérieure à 5 µm, de rapport longueur/largeur supérieur à 3 et de largeur au plus égale à 3 µm.

Seuls ont été pris en compte les résultats concernant une mono-exposition aux FCR. Cette mono-exposition aux FCR a été confirmée par la connaissance des fibres utilisées (78,3 %), par une analyse complémentaire des filtres en microscopie électronique à balayage (19,7 %) et par l'analyse d'échantillons de matériaux fibreux (1 %). Dans 1 % des cas, la méthode utilisée pour spécifier une exposition exclusive aux FCR, n'a pas été précisée.

Pour réaliser les calculs statistiques, les résultats dont la valeur était exprimée sous la forme " ≤ x fibres/ml " ; ont été remplacés par " x/2 " (exemple : ≤ 0,06 f/ml est remplacé par la valeur 0,03 f/ml).

• Définition des groupes d'exposition

De manière à analyser les résultats de mesures d'exposition aux FCR, des critères descriptifs ont également été renseignés afin de caractériser les différents groupes d'exposition similaire : nature des travaux réalisés, type de matériaux, métier des salariés...

Les résultats ont été notamment caractérisés en fonction des catégories de travaux réalisés par les salariés sur la base d'une grille d'analyse fréquemment utilisée pour caractériser l'exposition aux FCR (ECFIA, 1999; Maxim *et al.*, 1997, 2000) La définition de ces huit catégories de travaux figure dans le tableau XLIV.

Tableau N°XLIV : définition des catégories de travaux

Catégorie	Description des travaux
<p>C1 Fabrication de FCR</p>	<p>Production de FCR en vrac ou en nappes.</p> <p>Cette catégorie inclut tous les postes de travail de la ligne de fabrication depuis les opérations de mélange des matières premières jusqu'au conditionnement des FCR en fin de ligne, sauf le personnel d'encadrement.</p>
<p>C2 Fabrication de pièces en FCR</p>	<p>Fabrication en milieu humide de pièces moulées sous vide, de panneaux, de feutre et de papier. Cette catégorie inclut également les opérations de mélange de FCR dans des mastics, des produits chimiques et des produits à mouler.</p> <p>Mélange à sec des matières premières.</p> <p>Pesage, préparation et mélange des matières premières destinées à la fabrication.</p> <p>Manipulation de pièces humides.</p>
<p>C3 Finition lors de la production de pièces en FCR</p>	<p>Découpage et usinage de matériaux en FCR après fabrication à l'aide d'outils manuels (y compris les outils portatifs) et/ou de machine-outils.</p> <p>Emboutissage, estampage de nappes FCR, de papier sauf les opérations de ce type effectuées dans le secteur de l'automobile. Sciage, rainurage, ébarbage, ponçage de pièces et de matériaux en FCR : nappes, plaques, panneaux.</p> <p>Reconditionnement de matériaux et pièces en FCR.</p> <p>Découpage et ébarbage de pièces en FCR destinés à divers appareils.</p> <p>Fraisage, détournage de panneaux en FCR ou d'autres pièces moulées sous vide.</p> <p>Sont inclus dans cette catégorie les salariés exposés indirectement aux FCR (n'utilisant pas de FCR) lors de travaux de finition, sauf s'ils exercent une fonction de surveillance ou d'encadrement.</p>
<p>C4 Opérations d'assemblage</p>	<p>Opérations d'assemblage de matériaux FCR avec d'autres matériaux (autres ou FCR), excepté l'assemblage de pièces pour l'automobile. Cette catégorie inclut l'assemblage en usine de composants de fours industriels lorsque les travaux sont réalisés à l'extérieur du four dans une zone où il est possible de mettre en place des dispositifs de captage. Assemblage d'appareils électroménagers, remplacement de garnitures FCR dans des appareils, découpe de matériaux FCR pour fabrication de pièces, assemblage de silencieux, ébarbage de pièces et assemblage, stratification de papier FCR...</p>

<p>C5 Installation</p>	<p>Construction ou fabrication de fours ou chaudières industrielles, équipements pour raffineries, industries chimiques, industries de la céramique, fonderies, générateurs électriques, incinérateurs sur sites d'utilisation et construction de fours ou d'éléments de fours en usine sans utilisation de protections collectives. Cette catégorie ne concerne pas la construction de petits éléments de four quand les travaux sont réalisés dans une zone où existent des protections collectives.</p> <p>Découpage, ébavurage sur site des éléments à assembler, enrobage de moule avec des FCR (Fonderie), découpage et mise en place de nappes FCR, pulvérisation de matériaux FCR...</p>
<p>C6 Enlèvement</p>	<p>Enlèvement de matériaux FCR de fours usagés. Remplacement des matériaux FCR de fours en service. Déshabillage de moules et opérations de décochage. Opérations de nettoyage et d'élimination des FCR lors d'opérations d'enlèvement.</p>
<p>C7 Opérations auxiliaires</p>	<p>Il s'agit des opérations réalisées par des salariés exposés indirectement aux FCR, durant leur poste de travail, et dont l'exposition n'est pas a priori comparable à celle des salariés exposés directement aux FCR. Cette catégorie inclut des opérations au cours desquelles des FCR peuvent être manipulées mais avec une très faible exposition : manipulation de matériaux ou pièces en FCR emballées; magasinier...</p> <p>Caristes, confection de cartons d'emballage pour FCR en fin de ligne de production, contrôle qualité, maintenance à l'exception de fours, nettoyage de fours ou de parties d'ateliers où sont utilisées des FCR, sortie du four et emballage d'objets moulés en FCR sans opérations de finition, manutention de moules entourés de FCR lors de chargement de camions et opérations de stockage.</p> <p>Y compris le personnel d'encadrement.</p>
<p>C8 Autres</p>	<p>Toutes les autres opérations effectuées lors de la production de papier FCR, de textiles, d'équipements pour l'industrie automobile ou dans d'autres secteurs industriels. Toutes les opérations non-définies dans les catégories ci-dessus : conducteur de machine à carder, à tisser, utilisation de FCR lors d'opérations de soudage, de coulée de métal en fonderie...</p>

4.3.3.5 Résultats

• Analyse globale

D'une manière générale, les distributions de résultats sont légèrement différentes suivant que les mesures aient été effectuées durant la période 1990-95 (397 mesures) ou 1996-2001 (442 mesures). Pour la période 1996-2001, la valeur maximale mesurée atteignait 27 f/ml contre 20,6 f/ml pendant la période 1990-95. Cependant pour la période 1990-95, la valeur médiane des expositions (0,482 f/ml) est légèrement supérieure à celle de la période 1996-2001 (0,43).

• L'exposition aux FCR par catégorie de travaux

Les résultats en fonction des catégories de travaux figurent dans le tableau XLV et en figure 29. Dans le tableau XLVII sont également mentionnés les secteurs d'activités auxquels étaient affiliés les établissements où se sont déroulées les mesures. Les renseignements concernant les types de matériaux FCR manipulés par les salariés lors des mesures, ainsi que leur état, l'utilisation d'une protection individuelle respiratoire, jugée efficace par le technicien effectuant les mesures d'exposition sont également indiqués.

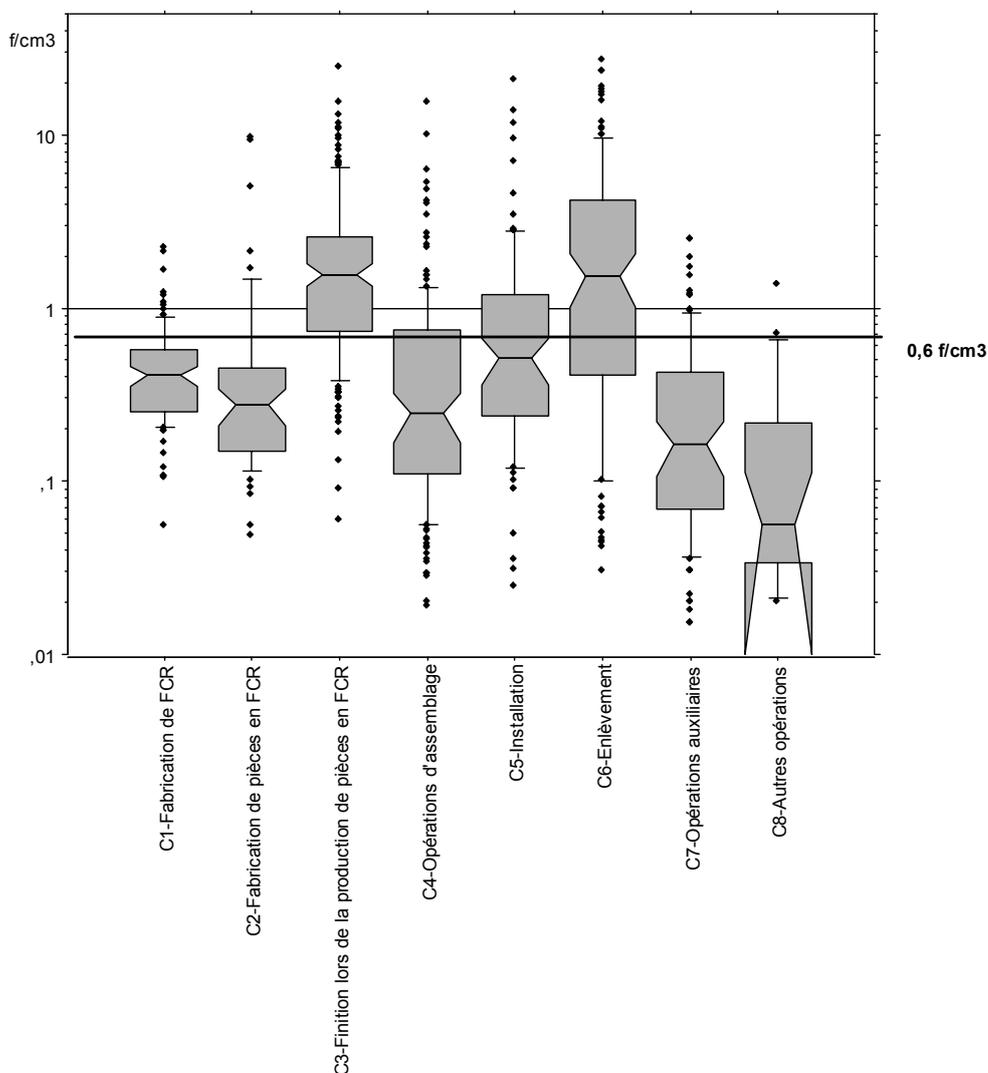


Figure N°29 : exposition aux FCR par catégorie de travaux (Graphique en boîtes*)

Tableau N°XLV : exposition aux FCR par catégorie de travaux

Catégorie de travaux	Nb de résultats	Statistiques en fibres/ml				P*	Secteurs d'activités (code NAF)	Matériaux FCR		Protection individuelle	
		Moyenne Arithmétique	Moyenne géométrique	Médiane	Etendue			Type (%)	Etat (%)	Oui (%)	Non (%)
C1 Fabrication de FCR	101	0,49	0,40	0,41	0,05-2,21	22,7	Fabrication de produits céramiques réfractaires (26.2 L)	Nappes (51) Vrac (33)	Friable neuf (85)	20	80
C2 Fabrication de pièces en FCR	55	0,80	0,32	0,27	0,05-9,54	14,5	Fabrication de produits céramiques réfractaires (26.2 L)	Pièces (49) Feutres (25) Nappes (11)	Neuf compact (49) Friable (47)	13	87
C3 Finition lors de la production de pièces en FCR	163	2,50	1,46	1,57	0,06-24,50	78,5	Fabrication de produits céramiques (26.2) Fabrication de verre et d'articles en verre (26.1)	Pièces (47) Panneaux (22) Nappes (15)	Neuf friable (46) Compact (48)	37	63
C4 Opérations d'assemblage	168	0,73	0,28	0,24	0,02-15,30	29,2	Fabrication de machines et équipements (29) Industrie du caoutchouc et des plastiques (25) Fabrication de machines et appareils électriques (31)	Nappes (59) Panneaux (27) Textiles (10)	Neuf friable (84)	38	62
C5 Installation	97	1,40	0,55	0,51	0,02-20,60	44,3	Construction d'ouvrages de bâtiment ou de génie civil (45.2) Métallurgie (27)	Nappes (86) Vrac (9)	Neuf friable (64) Compact (32)	80	20
C6 Enlèvement	129	3,54	1,28	1,53	0,03-27,00	69,8	Construction d'ouvrages de bâtiment ou de génie civil (45.2) Métallurgie (27) Fabrication d'autres produits minéraux (26)	Nappes (62) Vrac (19)	Friable usagé (87)	86	14
C7 Opérations auxiliaires	101	0,35	0,17	0,16	0,01-2,50	13,9	Fabrication de produits céramiques (26.2) Fabrication de tuiles et briques en terre cuite (26.4)	Non précisé (65) Nappes (19)	Friable usagé (19)	10	90
C8 Autres	25	0,20	0,08	0,06	≤ 0,01-1,37	12	Production de métaux non ferreux (27.4) Fonderie (27.5) Fabrication de charpentes et menuiseries (20.3)	Nappes (64) Textiles (24)	Neuf friable (52) Usagé friable (40)	48	52

P* représente le pourcentage de résultats supérieurs à la VME de 0,6 f/ml.

4.3.3.5.1 L'exposition aux FCR par profession

Lors des interventions en entreprises, la profession des salariés, ayant fait l'objet d'une mesure d'exposition, a été codifiée en utilisant le Répertoire Opérationnel des Métiers et des Emplois (ROME, 1993) de l'Agence Nationale Pour l'Emploi (ANPE). Les niveaux d'exposition pour les professions les plus fréquemment codifiées sont reportés dans le tableau XLVI et la figure 30. Les professions indiquées dans ce tableau représentent 80 % des mesures d'exposition aux FCR.

Tableau N°XLVI : exposition par profession lors de la mise en œuvre de FCR

Code ROME	Libellé profession	Nb Résultats	Statistiques en fibres/ml				P*
			Moyenne Arithmétique	Moyenne Géométrique	Médiane	Etendue	
42124	Ouvrier de l'étanchéité et de l'isolation	128	2,83	1,06	1,10	0,05-27,00	65,6
43312	Agent de manutention	24	0,42	0,32	0,35	0,05 -1,19	12,5
44131	Agent de montage, assemblage de la construction mécanique	65	0,38	0,20	0,17	0,02-2,56	21,5
44211	Agent de fabrication de matériel électrique et électronique	27	1,28	0,79	0,85	0,12-5,30	55,5
45112	Agent de fabrication des industries chimiques	253	0,89	0,56	0,50	0,05-8,55	43,1
45212	Ouvrier métallurgiste	46	1,70	0,36	0,50	0,02-17,00	41,3
45232	Ouvrier de production de céramique et de matériaux de construction	43	2,21	0,40	0,40	0,01-15,70	41,8
45412	Ouvrier de finition, contrôle, conditionnement	43	5,05	3,10	3,32	0,32-24,50	95,3
46115	Opérateur d'atelier de coupe des industries des matériaux souples	36	0,15	0,11	0,11	0,03-1,00	2,7

P représente le pourcentage de résultats supérieurs à la VME de 0,6 f/ml.*

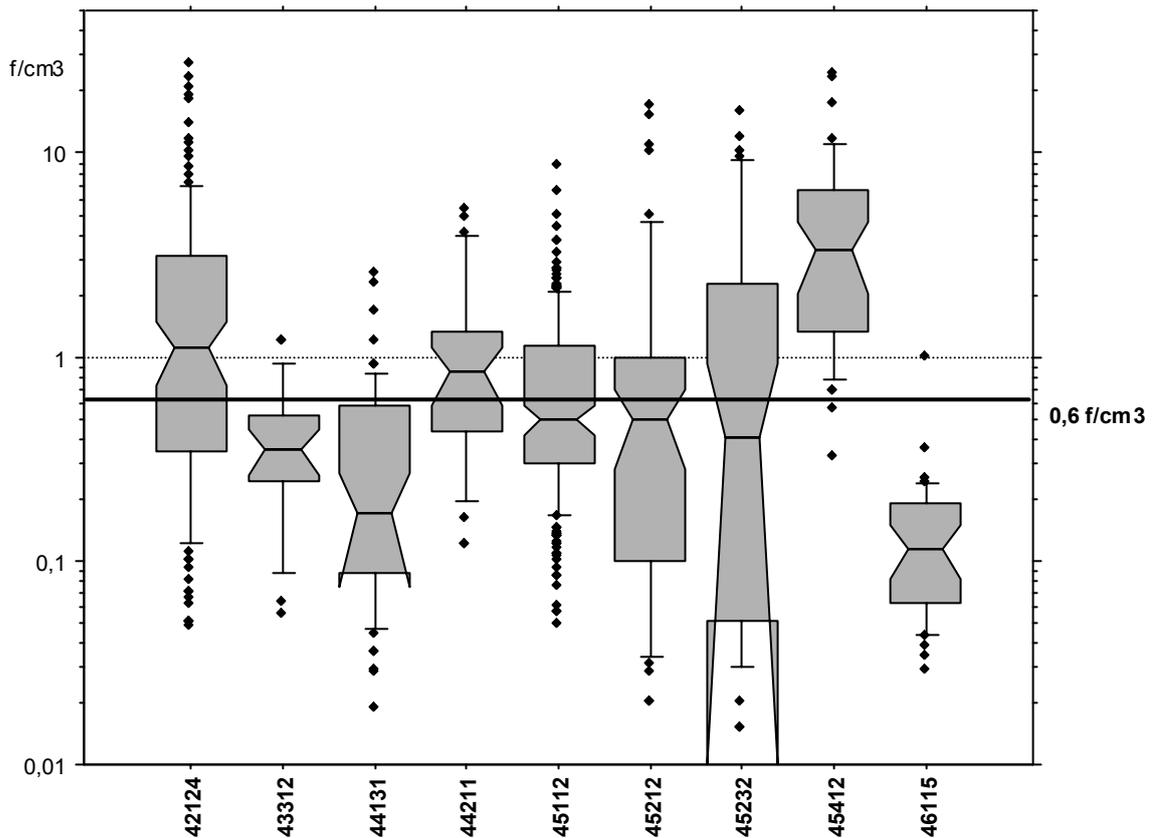


Figure N°30 : exposition par type de profession (Code ROME) lors de la mise en œuvre de FCR

4.3.3.6 Discussion

Les données d'exposition au FCR issues de la base COLCHIC sont très comparables à celles collectées lors de programmes, d'évaluation des expositions, menées en Europe [ECFIA, 1999,2006b ; Maxim, 1999] ou aux Etats Unis (Maxim, 2000).

L'exposition professionnelle aux FCR mesurée dans les établissements français, pendant la période de 1990 à 2001 varie entre moins de 0,01 f/ml à 27 f/ml. Les expositions mesurées dans différents établissements européens et dans le cadre du programme CARE (ECFIA, 1999), pendant les années 1996 et 1997 variaient entre moins de 0,01 f/ml à 53,6 f/ml.

L'analyse des résultats par catégories de travaux permet de cibler les situations de travail les plus exposées aux FCR :

- L'enlèvement (3,54 f/ml en moyenne et 69,8 % de résultats supérieurs à 0,6 f/ml) ;
- La finition lors de la production de pièces en FCR (2,50 f/ml en moyenne et 78,5 % de résultats supérieurs à 0,6 f/ml) ;
- L'installation (1,40 f/ml en moyenne et 44,3 % de résultats supérieurs à 0,6 f/ml).

Si l'on constate fréquemment un port de protection individuelle respiratoire pour les catégories de travaux enlèvement et installation, il n'en est pas de même pour les opérations de finition lors de la production de pièces en FCR.

Pour toutes les autres catégories de travaux, des dépassements plus ou moins fréquents de la VME à 0,6 f/ml ont été constatés.

L'analyse des résultats en fonction de la profession des salariés utilisant des FCR met en évidence deux types de profession particulièrement exposés :

- Les ouvriers affectés à des travaux de finition, contrôle et conditionnement (5,05 f/ml en moyenne et 95,3 % de résultats supérieurs à 0,6 f/ml) ;
- Les ouvriers de l'étanchéité et de l'isolation (2,83 f/ml en moyenne et 65,6 % de résultats supérieurs à 0,6 f/ml).

Pour les autres types de profession, l'exposition aux FCR dépasse également de manière variable la VME.

Ces résultats permettent de cibler les catégories de travaux pour lesquelles devront être menées, en priorité, des actions correctives : remplacement des FCR, modification des procédés...

4.3.4 Conclusion commune aux trois bases

A partir des mesures collectées au sein de ces trois bases, l'analyse des résultats par catégories de travaux permet de cibler les situations de travail les plus exposées aux FCR :

- Les **activités de finition et de transformation** de FCR (transformation de produits primaires : vrac et nappes, en produits secondaires : plaques, produits moulés...), génératrices de forts niveaux d'exposition sur les tâches observées (beaucoup de tâches de type usinage : ponçage, découpage...), et ce même sur des prélèvements de longues durées.
- Les **activités de retrait** de FCR usagées (arrachage, grattage...), dans les grands fours industriels par exemple, entraînant des niveaux supérieurs à 10 ou 20 f/ml avec des durées d'interventions relativement longues.

Les résultats de la base COLCHIC ciblent également les activités **d'installation** dans les entreprises en aval.

Selon les résultats proposés dans CARE, peu de différences sont observables entre les utilisateurs et les producteurs de FCR pour une même catégorie fonctionnelle, l'activité spécifique du poste jouant de toute évidence un rôle prépondérant vis-à-vis du type d'industrie. CARE utilise des catégories d'activité légèrement différentes que les autres bases de données, notamment l'introduction de l'activité « fabrication de modules », qui présente des expositions importantes et qui n'est pas détaillée en tant que telle dans COLCHIC et EVALUTIL.

Si l'on constate fréquemment un port de protection individuelle respiratoire pour les catégories de travaux de type enlèvement et installation, il n'en est pas de même pour les opérations de finition lors de la production de pièces en FCR.

Pour toutes les autres catégories de travaux, des dépassements plus ou moins fréquents de la VME à 0,6 f/ml ont été constatés.

L'analyse des résultats en fonction de la profession des salariés utilisant des FCR met en évidence deux types de profession particulièrement exposés :

- Les ouvriers affectés à des travaux de finition, contrôle et conditionnement ;
- Les ouvriers de l'étanchéité et de l'isolation.

Pour les autres types de profession, l'exposition aux FCR dépasse également de manière variable la VME.

Par ailleurs, il est intéressant de constater que d'autres tendances globales se dégagent suite aux données proposées par ces trois bases, à savoir:

- Une forte variabilité des expositions d'une catégorie d'activité ou d'industrie à l'autre, et au sein d'une même catégorie d'activité ou d'industrie ;
- Une évolution de l'exposition en légère décroissance au cours du temps.

Les résultats collectés permettent d'articuler l'analyse en deux axes :

- En termes de caractérisation rétrospective de l'exposition, les mesures collectées nécessitent des informations complémentaires afin de définir précisément les postes et les situations passées, repérer et coder les emplois concernés en vue d'affiner les correspondances entre les emplois et les mesures puis construire éventuellement une matrice exploitable.

Toutefois, il paraît nécessaire de consolider et de réaliser des mesures complémentaires avec des prélèvements de longues durées dans les entreprises utilisant les FCR notamment lors d'opérations d'installation, de maintenance, de rénovation, de retrait et d'élimination des déchets. Par ailleurs, ces conclusions soulignent que des populations

ont été exposées et que, même si les niveaux sont abaissés et que certains types d'expositions disparaissent en raison de la substitution des FCR, des pathologies peuvent éventuellement être susceptibles de se révéler ultérieurement, en raison du délai entre exposition et développement d'une pathologie décelable.

- En termes de prévention, ces données permettent avant tout de cibler les catégories de travaux pour lesquelles devront être menées, en priorité, des actions correctives : remplacement des FCR, modification des procédés...

Les résultats présents laissent tout de même penser, au vu de l'interprétation notamment réalisée pour EVALUTIL sur 3 séries de prélèvements, que la VME peut être rapidement dépassée dès lors qu'un pic d'exposition important est atteint sur une tâche ponctuelle, et que le niveau ambiant entraîne en sus une exposition continue. Ainsi, le pic d'exposition influence régulièrement le calcul de la VME sur 8 heures. La typologie des mesures évoque une localisation réduite sur un poste de travail précis en un temps restreint. Ce constat indique qu'une prévention ciblée peut permettre une maîtrise des risques pour les situations où la substitution n'est pas possible à l'heure actuelle. En effet, la nature ponctuelle et localisée du dépassement facilite la mise en place d'un assainissement industriel et le respect d'une VME contraignante. La nature des mesures métrologiques montre qu'il est techniquement plausible de descendre significativement les concentrations.

Le dépassement régulier dans les situations de travail actuelles de la valeur indicative souligne la nécessité de mettre en place une VME contraignante et non plus indicative.

En outre l'existence de pics d'exposition et la biopersistance avérée des FCR induisent à élaborer une VME sur une durée plus courte.

4.3.5 Evaluation de la prévalence de l'exposition professionnelle aux FCR

Les effectifs professionnels concernés

L'industrie productrice et de transformation emploie, selon l'ECFIA, 510 personnes en France dispersées au sein de 5 sites :

- Ambert (63) : 60 personnes ;
- Lillebonne (76) : 50 personnes ;
- Lorette (42) : 100 personnes ;
- Saint-Marcellin (42) : 150 personnes ;
- Wissembourg (67) : 150 personnes.

En 1995, l'Environmental Resources Management (ERM), à la demande de la DG111, estimait l'effectif français dans la production à 486 personnes, 343 au Royaume-Uni, 185 en Allemagne et 36 en Italie ; soit un effectif global de 1 050 personnes.

En 1995, le cabinet estimait que l'effectif européen impliqué dans les FCR s'élevait autour de 18 050 personnes, avec la sectorisation suivante :

Tableau N°XLVII : effectif impliquant les FCR en Europe (ERM, 1995)

Secteur industriel	Origines de l'estimation	Effectif total	Manipulation des FCR
Production primaire	Membres de l'ECFIA	750	Régulière
Industries de transformation	35 grandes entreprises (10 employés)	350	Régulière
	100 petites entreprises (5 employés)	500	
Distributeurs	50 entreprises (5 employés)	250	Non
Installateurs	150 entreprises (10 employés)	1 500	Occasionnelle
utilisateurs	700 grandes entreprises (10 employés)	700	Occasionnelle
	2800 petites entreprises (5 employés)	14 000	
Total		18 050	

A l'heure actuelle, l'ECFIA estime qu'une population de 4 000 personnes travaille dans les entreprises utilisant des FCR sur le territoire français. L'effectif global au niveau européen se situerait autour de 20 000 personnes. Actuellement, la production de FCR se destine à 99 % pour le domaine industriel.

A l'heure actuelle, le National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH) (2006) estime que 31 500 professionnels sont potentiellement exposés aux FCR aux Etats-Unis durant la production, la transformation et l'utilisation finale de ces fibres. L'institut évoque une population similaire en Europe.

Selon les résultats de l'étude CAREX (Carcinogen Exposure), le nombre de salariés potentiellement exposés aux FCR en Europe durant la période 1990-93 s'élevait à environ 60 000. En France, les estimations effectuées dans le cadre de l'étude CAREX indiquaient une population potentiellement exposée de 15 à 20 000 salariés. L'estimation de l'exposition professionnelle aux FCR et autres agents étudiés, de 1990 à 1993, pour les 15 pays de l'Union européenne, s'est effectuée en deux étapes. Les estimations sont d'abord générées automatiquement par CAREX, sur la base des données nationales sur la population active et des estimations de taux d'exposition dans deux pays de référence (Etats-Unis et Finlande). Puis, un réseau d'experts nationaux a évalué ces estimations en fonction de leurs similarités ou différences par rapport aux circonstances d'exposition perçues dans leurs propres pays.

Le tableau XLVIII décline les effectifs européens et français enregistrés par l'étude CAREX pour les différents secteurs susceptibles d'exposer ces employés aux FCR. L'ECFIA conteste les estimations proposées par l'étude notamment dans les secteurs nuancés en bleu.

Tableau N°XLVIII : effectif professionnel européen et français susceptible d'être exposé aux FCR (CAREX)

Secteur d'activité	Effectif européen exposé	Effectif français exposé
Agriculture et chasse	350	350
Fabrication de textiles	200	200
Fabrication de papier et produits papier	100	100
Industrie des produits chimiques	250	250
Industrie du caoutchouc	400	400
Industrie du plastique	600	600
Industrie de la poterie, la porcelaine et la faïence	11 318	1 204
Industrie du verre et des produits du verre	2 948	597
Industrie des produits minéraux non métalliques	8 851	1 303
Industrie du fer et de l'acier	6 472	350
Industrie des métaux non-ferreux	3 699	200
Industrie des produits métalliques	700	700
Industrie mécanique (exceptée électrique)	400	400
Industrie des équipements de transport	2 739	1 800
Industrie de la photographie et de l'optique	500	500
Electricité, gaz et vapeur	486	74
Construction	17 301	5 500
Vente en gros/au détail/restaurants/hôtels	1 700	1 700
Transport terrestre	300	300
Transport aérien	200	200
Services annexes au transport	150	150
Services sanitaires et assimilés	100	100
Instituts scientifiques et de recherche	50	50
Services médicaux/dentistes/santé/vétérinaires	450	450
Total	60 264	17 478

Les valeurs nuancées en bleu sont contestées par l'ECFIA (ECFIA, 2006b).

A leur connaissance, les FCR ne sont pas utilisées dans les industries nuancées par la couleur bleue. Ainsi, l'ECFIA écarte 21 501 personnes au niveau européen et 9 700 au niveau national.

D'autre part, selon l'ECFIA, le nombre de personnes exposées dans l'industrie de la fabrication de poteries et de porcelaine ne représente pas les 11 318 personnes indiquées. Ce nombre se situerait vraisemblablement autour de 500 personnes, voire moins. Au final, l'ECFIA présente un effectif de 27 945 personnes pour l'Europe. La France représente 20 % de ce chiffre soit une estimation de 5 589 personnes.

L'estimation avancée par l'association des producteurs de FCR se situe autour de 4 000 personnes pour la France (7 500 personnes régulièrement exposées aux AES et FCR) (ECFIA, 2005). La différence entre le chiffre de 5 589 et de 4 000 salariés s'explique probablement par la définition de l'effectif susceptible d'être exposé selon les secteurs d'activité. A titre d'exemple, la base de données CAREX considère, pour la fabrication d'équipements de transport, que l'effectif exposé, par rapport à la population globale de ce secteur, représente 2 739 personnes. L'ECFIA indique que cet effectif lui semble inférieur.

L'enquête SUMER 2002-2003, pilotée par le ministère du travail, est une enquête transversale proposant une évaluation des expositions professionnelles des salariés, de la durée de ces expositions et des protections collectives ou individuelles éventuellement mises en place. Le questionnaire, utilisé par le médecin du travail lors de l'audition du salarié, s'intéresse entre autre aux FCR.

La Direction de l'Animation de la Recherche, des Etudes et des Statistiques (Dares) établit le constat suivant. L'effectif potentiellement exposé représente 104 000 personnes soit 0,6 % de la population salariée (plus de 98 % d'hommes). 60 % de cet effectif reste exposé moins de 2 heures par semaine, 27,1 % entre 2 et 10 heures, 4,1 % entre 10 et 20 heures et 6,7 % plus de 20 heures. Les jeunes de moins de 25 ans représentent la population la plus exposée parmi cet effectif avec 1 % de leur catégorie d'âge.

Les ouvriers qualifiés et non qualifiés apparaissent les plus exposés et représentent respectivement 1,5 % et 1,1 % de leur catégorie socioprofessionnelle.

Commentaires du groupe de travail :

Les chiffres proposés par l'ECFIA ne sont pas documentés. Par exemple, L'ECFIA considère qu'aucun travailleur n'est exposé dans la construction. Or, des données présentées dans le rapport montrent que les travailleurs de la construction peuvent être exposés (par exemple, le tableau XVI précisant les applications FCR par secteur d'activité et les données extraites d'EVALUTIL ou de COLCHIC). CAREX estime à 5 500 les travailleurs de la construction exposés (sur environ 1 500 000 travailleurs employés dans ce secteur au cours de la période considérée) soit une proportion d'exposés d'environ 0,4 %.

Les experts du GT soulignent malheureusement le manque de données mais estiment, contrairement à l'ECFIA, que certains chiffres proposés par CAREX sont sous estimés notamment les effectifs de la sidérurgie.

Même si les dates d'études diffèrent d'une étude à l'autre, cela n'explique en aucun cas la variabilité des estimations obtenues. Au final, l'incertitude actuelle concernant les effectifs est grande.

Les données extraites des bases de données disponibles permettent d'avoir des estimations des niveaux d'exposition pour plusieurs secteurs d'activité de la production, de la transformation et de l'utilisation des FCR, dans différentes situations de travail. Elles ne permettent cependant pas de connaître la proportion d'exposés dans les secteurs concernés, ni la fréquence des situations de travail entraînant une exposition. Il n'est donc pas possible d'estimer à partir de ces données la prévalence d'exposition (proportion d'exposés) chez les travailleurs ou dans la population générale.

La plupart des études épidémiologiques visant à étudier les effets sur la santé de l'exposition aux FCR a été réalisée dans l'industrie de la production, et ne permettent pas non plus d'estimer la prévalence d'exposition aux FCR dans la population. Une estimation de cette prévalence ne peut être obtenue qu'à partir d'études en population générale.

Plusieurs études cas-témoins ont porté sur l'exposition professionnelle aux FMA. La proportion d'exposés chez les témoins de ces études peut donner une estimation de la prévalence d'exposition chez les travailleurs sur l'ensemble de la vie active. Cependant, la plupart de ces études ne distingue pas les différents types de FMA (Rödelsperger *et al.*, 2001 ; Pohlabeln *et al.*, 2000 ; Toren *et al.*, 1999 ; Bruske-Hohlfeld *et al.*, 2000), et les exposés sont vraisemblablement très majoritairement exposés aux laines minérales, beaucoup plus fréquemment utilisées que les FCR. Seules deux études publiées présentent des données spécifiques pour les FCR (Marchand *et al.*, 2000 ; Luce *et al.*, 2002). Par ailleurs, les données d'une étude cas-témoins en cours sur le mésothéliome ont également été utilisées.

Des études par croisement de fichiers ont également estimé la proportion d'exposés dans la population à partir de matrices emplois-expositions, par exemple en Finlande (Kauppinen *et al.*, 1998), mais là aussi les expositions aux FMA sont considérées dans leur ensemble, et ne permettent pas de distinguer les FCR.

Dans une étude de biométrie, les FCR ont été recherchées dans des liquides de lavages broncho-alvéolaires de 1800 patients (Dumortier *et al.*, 2001). La proportion de sujets pour lesquels des FCR ont été retrouvées peut également donner une estimation de la prévalence d'exposition.

Enfin, la base de données CAREX (Vincent *et al.*, 1999) et l'enquête Sumer 2003 (Guignon et Sandret, 2005) peuvent permettre d'estimer la proportion de travailleurs exposés aux FCR à une période donnée (1990-1993 pour CAREX et 2003 pour Sumer). Elles ne permettent pas en revanche d'estimer une prévalence d'exposition « vie entière », c'est-à-dire la proportion de travailleurs exposés au moins une fois dans leur vie aux FCR.

Aucune étude permettant d'estimer l'exposition extra-professionnelle de la population générale aux FCR n'a pu être identifiée.

Les données des études portant sur les expositions professionnelles sont résumées ci-dessous.

4.3.5.1 Etudes cas-témoins

Etude de Marchand *et al.* (2000)

Il s'agit d'une étude cas-témoins portant sur les cancers du larynx et de l'hypopharynx. L'étude ne porte que sur les hommes. Les cas ont été identifiés dans 15 hôpitaux de 6 villes françaises (Bordeaux, Caen, Lille, Nantes, Paris, Strasbourg) ; les témoins sont des patients atteints de cancer non respiratoire de 16 localisations différentes identifiés dans les mêmes hôpitaux que les cas. Il s'agit d'une étude en milieu hospitalier, les témoins ont été sélectionnés de façon à être représentatifs de la population source des cas. Cette population

n'est pas la population générale des régions concernées (le recrutement des cas n'étant pas exhaustif mais limité à certains services), mais elle n'en est vraisemblablement pas très différente. En particulier, la répartition des témoins par catégorie socioprofessionnelle est très proche de celle de la population de ces zones géographiques (Menvielle *et al.*, 2004).

Les cas et les témoins ont été interrogés en face à face par un enquêteur spécialisé, et l'histoire professionnelle complète a été recueillie. Les expositions aux FCR ont été évaluées à l'aide d'une matrice emplois-expositions, qui donne pour chaque emploi la probabilité (en 5 classes : 0, 1-10 % , 10-50 % , 50-90 % > 90 %) et le niveau d'exposition. Les emplois avant 1970 sont considérés comme non exposés.

Sur les 295 témoins de l'étude, 9 (soit 3,05 %) ont une probabilité non nulle d'exposition. Les probabilités et niveaux d'exposition pour ces 9 sujets ne sont pas détaillés.

Etude de Luce *et al.* (2002)

Cette étude est une analyse combinée de 12 études cas-témoins sur les cancers nasosinusiens, réalisée dans 7 pays. L'exposition professionnelle aux FCR a été évaluée par la même matrice emplois-expositions que celle utilisée dans l'étude de Marchand *et al.* Les études présentent certaines différences dans les méthodes de sélection des cas et des témoins et d'interview des sujets. Cependant, les témoins de ces 12 études peuvent être raisonnablement considérés comme représentant la population générale de pays industrialisés. La proportion de sujets exposés aux FCR est d'ailleurs proche de celle observée dans l'étude de Marchand *et al.* (2000) limitée à la France.

Sur les 2349 témoins masculins, 65 (soit 2,8 %) ont été exposés aux FCR au cours de leur vie active, quels que soient la probabilité et le niveau d'exposition. Chez les femmes, la proportion correspondante d'exposées est de 0,8 % (6/787). La répartition des exposés en fonction de la probabilité et du niveau d'exposition n'est pas indiquée.

Enquête cas-témoins sur le mésothéliome

Cette étude cas-témoins est réalisée dans le cadre du Programme National de Surveillance du Mésothéliome (PNSM) (Goldberg *et al.*, 2006). Les cas de mésothéliome sont identifiés dans 21 départements, les témoins (2 par cas) sont tirés au sort dans les listes électorales des mêmes départements. La population des 21 départements du PNSM est très proche de la population française pour les principales caractéristiques socio-économiques (catégorie socioprofessionnelle, secteurs d'activité). Les cas et les témoins sont interrogés avec un questionnaire professionnel détaillé, les expositions professionnelles, notamment aux FCR, sont évaluées à partir des questionnaires par des experts en hygiène industrielle. Les experts évaluent la probabilité d'exposition (possible, probable, certaine), l'intensité et la fréquence d'exposition. Sur les 765 témoins masculins pour lesquels l'histoire professionnelle a été actuellement expertisée, 9 (soit 1,2 %) ont été exposés aux FCR au cours de leur vie active. Seule une femme (sur les 174 témoins féminins) a été exposée pendant sa vie professionnelle. Parmi les 10 sujets exposés, l'exposition a été considérée comme possible pour 5 sujets, probable pour 3 et certaine pour 2. Le niveau d'exposition a été évalué comme inférieur à 0,1 f/ml pour 7 sujets, et compris entre 0,1 et 0,6 f/ml pour 3 sujets. La fréquence d'exposition était inférieure à 5 % du temps de travail pour 7 sujets, et comprise entre 5 et 30 % du temps pour 3 sujets.

4.3.5.2 Analyse de liquides de lavage broncho-alvéolaire

Dans l'étude publiée par Dumortier *et al.* en 2001, les FCR ont été recherchées dans des échantillons de Liquide de Lavage Bronchoalvéolaire (LLBA). A partir de LLBA prélevés chez 1800 sujets entre 1992-1997, les auteurs ont dénombré par microscopie électronique la

présence de corps « pseudo » asbestosiques formés sur des FCR ou de FCR nues chez 9 sujets (0,5 %) parmi les 1800.

Il reste cependant difficile d'extrapoler cette prévalence à une prévalence d'exposition vie entière sur une population active. En effet, il n'est pas précisé dans la publication l'origine de la population étudiée, c'est à dire des 1800 sujets pour lesquels des échantillons ont été obtenus.

4.3.5.3 CAREX

La base de données CAREX, évoquée précédemment dans cette partie, rassemble des informations sur l'exposition professionnelle à 139 cancérogènes avérés ou suspectés (dont les FCR) dans l'union européenne et fournit des estimations spécifiques pour la France pour la période 1990-1993 (Vincent *et al.*, 1999). Les données issues de CAREX pour la France estiment à 17 500 le nombre de travailleurs exposés aux FCR en 1990-1993, soit environ 0,1 % de la population active.

4.3.5.4 Sumer 2003

L'enquête Sumer 2003, également évoquée précédemment dans cette partie, couvre l'ensemble des salariés surveillés par la médecine du travail du régime général, de la Mutualité sociale agricole, des hôpitaux publics, d'EDF-GDF, de La Poste, de la SNCF et d'Air France, soit 80 % des salariés français. Au cours de l'enquête, 1 800 médecins enquêteurs ont cherché à identifier les produits chimiques auxquels 50 000 salariés étaient exposés lors de la semaine précédant leur visite médicale.

L'échantillon enquêté est ensuite redressé par pondération de façon à obtenir un échantillon représentatif de la population des salariés du champ de l'enquête. Les effectifs et les proportions d'exposés sont ensuite calculés pour la population des 17,5 millions de salariés du champ de l'enquête.

La proportion de salariés (hommes et femmes) exposés aux FCR en 2003 est de 0,6 % (Guignon et Sandret, 2005). Cette proportion est plus élevée chez les hommes (1 %). Le faible nombre d'exposées ne permet pas d'estimer la proportion correspondante chez les femmes avec une fiabilité suffisante. La durée hebdomadaire d'exposition est inférieure à 2 heures par semaine pour 60 % des exposés, les expositions fortes ne concernent que 10 % des exposés.

4.3.5.5 Synthèse et conclusion

Seules trois études cas-témoins ont permis d'estimer la prévalence d'exposition sur l'ensemble de la vie active. La proportion de témoins exposés aux FCR varie selon les enquêtes entre 1,4 % et 3 %, et est inférieure à 1 % dans la seule étude donnant une estimation pour les femmes. Les études dans lesquelles l'exposition est évaluée à l'aide d'une matrice surestiment cependant la prévalence d'exposition. En effet, la probabilité d'exposition n'est pas prise en compte. Des données non publiées de l'analyse combinée des études sur les cancers naso-sinusiens montrent que sur les 65 témoins masculins exposés aux FCR, 53 l'étaient avec une probabilité inférieure à 10 % et 12 avec une probabilité comprise entre 10 et 50 %. On peut estimer qu'en moyenne 5 % des sujets exposés avec une probabilité inférieure à 10 % (soit environ 3 sujets) sont effectivement exposés aux FCR, et qu'en moyenne 30 % des sujets exposés avec une probabilité comprise entre 10 et 50 % (soit environ 4 sujets) sont effectivement exposés aux FCR. La proportion réelle d'exposés chez les hommes ne serait alors que de 7/2349, soit 0,3 % (au lieu de 2,8 %). D'un autre côté, il s'agit d'enquêtes anciennes (les sujets ont été interrogés dans les années 80), concernant des sujets relativement âgés, ayant terminé leur carrière professionnelle au début des années 80. L'utilisation industrielle des FCR était limitée dans

cette période (la matrice considère d'ailleurs tous les emplois exercés avant 1970 comme non exposés), et la prévalence d'exposition vie entière est probablement plus importante pour la population actuelle. L'enquête cas-témoins sur le mésothéliome, plus récente, est probablement plus adaptée pour estimer la prévalence de l'exposition aux FCR, mais le faible nombre de sujets limite cependant la précision de cette estimation (l'intervalle de confiance à 95 % de la proportion d'exposés chez les hommes est 0,4 % -1,9 %).

Les prévalences d'exposition aux FCR estimées à partir de CAREX (0,1 %) et de Sumer (0,6 %) sont sensiblement différentes. Les estimations ne portent pas sur la même période (1990-1993 pour CAREX, 2003 pour Sumer), mais il est peu vraisemblable que la prévalence d'exposition ait aussi fortement augmenté en 10 ans. Les différences proviennent plus probablement de différences dans les méthodes d'estimation. L'enquête Sumer et les données de CAREX donnent une estimation de la prévalence d'exposition à un moment donné. Cette prévalence est par définition inférieure à la prévalence d'exposition « vie entière ». Dans des études récentes visant à estimer des fractions de risque attribuables à des expositions professionnelles (Nelson *et al.*, 2005 ; Steenland *et al.*, 2003), les auteurs multiplient par 4 les prévalences d'exposition instantanées pour obtenir des prévalences d'exposition vie entière. Ce facteur 4 est obtenu pour une période d'activité de 40 ans en considérant un turnover de 10 % par an, et un taux de mortalité annuel de 5/1000. Si l'on applique ce facteur 4 aux proportions d'exposés de CAREX et Sumer, on obtient des prévalences vie entière de 0,4 % et 2,4 % respectivement.

Les quelques données disponibles ne permettent de donner qu'un ordre de grandeur. On peut estimer que la prévalence de l'exposition professionnelle vie entière aux FCR est vraisemblablement inférieure à 2 %, et plus probablement de l'ordre de 1 %. Lorsque la matrice emplois-expositions en cours d'élaboration au Département santé travail de l'InVS (dans le cadre du programme MATGENE) sera disponible, il sera possible d'estimer avec plus de précision la proportion de travailleurs exposés, en fonction des niveaux d'exposition.

4.3.6 Evaluation de l'exposition non professionnelle de la population générale

Les données concernant l'exposition non professionnelle de la population générale restent anecdotiques et ne permettent en aucun cas d'initier une évaluation. De plus, les mesures réalisées dans l'environnement général sont souvent enregistrées sous l'intitulé générique de FMA sans distinction précise du type de fibres. Ces mesures correspondent à un mélange de FMA composé principalement de laines minérales.

Le manque de données ne signifie pas l'absence de FCR dans l'environnement général mais les niveaux d'exposition restent, à l'heure actuelle, indéfinissables de manière qualitative ou quantitative.

Par ailleurs, rien ne permet actuellement d'estimer la prévalence de l'exposition non professionnelle aux FCR dans la population générale.

Dans le cadre de la loi canadienne sur la protection de l'environnement, le gouvernement du Canada conjointement avec Environnement Canada et Santé Canada ont rédigé en 1993 un rapport d'évaluation sur les FMA inscrites sur la liste des substances d'intérêt prioritaire (Gouvernement du Canada *et al.*, 1993).

Les rapporteurs n'ont relevé aucune donnée sur les rejets de FMA au Canada, et les données provenant d'ailleurs étaient restreintes aux émissions de gaz de combustion des fabriques de laines isolantes et de FCR. Les FMA sont également rejetées dans l'air ambiant lors de la manipulation, l'utilisation (Marconi *et al.*, 1987) et l'élimination du produit (TIMA, 1992), mais aucune estimation quantitative n'était disponible concernant les rejets résultant de ces activités. Les déversements dans les effluents liquides des fabriques paraissent infimes étant donné le recyclage des eaux de procédé en général (Lethbridge, 1993; Folkard, 1993; Van Asseldonk, 1993; Eckert, 1993). Les concentrations de fibres totales

dans les gaz de combustion mesurées en 1991 par microscopie électronique à transmission sur 4 usines de production de FCR et sur 3 installations de traitement de FCR ont atteint jusqu'à 14,1 f/ml (TIMA, 1992). Malgré les concentrations plus élevées (jusqu'à 850 f/ml) mesurées pour une cinquième fabrique, les rapporteurs indiquent que les dispositifs antipollution à cet endroit ont depuis été améliorés (Maxim, 1993).

Les gaz de combustion auraient rejeté en moyenne près de 0,018 kg de fibres de toutes dimensions (mesures par microscopie électronique à transmission) par tonne de FCR fabriquée aux États-Unis en 1990 (TIMA, 1992). Sachant que de 500 à 2 000 tonnes de FCR ont été produites au Canada en 1991 (Camford Information Services, Inc., 1993), les rapporteurs ont estimé entre 2 et 36 kg la quantité de fibres de toutes dimensions rejetées de l'unique fabrique de FCR au Canada en 1991.

Peu de renseignements empiriques sur le devenir des FMA dans l'environnement sont publiés dans la littérature scientifique. Toutefois, d'après leurs propriétés physiques et chimiques, la plupart des FMA paraît assez stable et semble persister dans l'environnement ambiant.

Dès qu'elles sont rejetées par les gaz de combustion ou lors de la manipulation des produits, la plupart des FMA est susceptible de retomber naturellement sur le sol. Les particules fines de petit diamètre demeureront en suspension plus longtemps et pourront aussi être transportées à distance de leur point d'origine (Marconi *et al.*, 1987).

La sédimentation gravitationnelle et la dissolution semblent les principaux mécanismes d'élimination des FMA dans l'eau (OMS, 1988). La dissolution se fera plus vite en milieu acide que neutre et concernera principalement les FMA les plus fines et les moins résistantes par leur composition chimique. Les fibres en sédimentation s'accumuleront en un sédiment de fond. En raison de leur structure amorphe, l'abrasion au cours du transport par l'air ou dans l'eau les décomposera en fragments de plus en plus courts (TIMA, 1991).

Les données collectées concernant les concentrations de FMA dans les milieux environnementaux sont restreintes à quelques études en air intérieur et extérieur de bâtiments en Europe et aux États-Unis. Les rapporteurs ont également relevé des fibres de verre (sans toutefois quantifier les concentrations) dans les boues d'égouts municipaux de 5 grandes villes des États-Unis (Bishop *et al.*, 1985).

Des mesures, par microscopie électronique à transmission, de FCR de toutes dimensions dans l'air ambiant près des limites de plusieurs fabriques et usines de traitement et près d'une décharge sanitaire aux États-Unis en 1991 ont été réalisées (TIMA, 1992). Les concentrations arithmétiques moyennes de FCR (d'après 8 à 20 prélèvements) ont varié de 0,0013 à 0,0150 f/ml. La concentration la plus élevée mesurée près d'une fabrique s'élevait à 0,0479 f/ml.

Les diamètres des fibres mesurées s'échelonnaient typiquement autour de 0,5 µm (toutes définies par un diamètre inférieur à 3 µm), tandis que les longueurs étaient typiquement d'environ 10 µm (la plus longue était de 75 µm).

Les données relevées par les rapporteurs sur les concentrations de FCR dans l'environnement général sont limitées aux concentrations à proximité d'une source ponctuelle aux États-Unis. Toutefois, ces substances sont principalement utilisées dans des applications industrielles à haute température, et à l'exception possible des secteurs à proximité des sources, les rapporteurs suggéraient que l'exposition de la population générale semblait très faible.

D'après les données disponibles, les rapporteurs concluaient, étant donné le classement des FCR comme «probablement cancérigène pour l'humain», que cette substance était

susceptible de pénétrer dans l'environnement en quantités ou dans des conditions susceptibles de constituer un danger pour la vie ou la santé humaine au Canada.

Les FCR ont été évaluées et déclarées toxiques aux termes de la Loi canadienne sur la protection de l'environnement. Suite à ce rapport, une table de concertation a été créée visant à formuler des recommandations aux ministres sur la gestion de ces substances au Canada. Dans ce rapport, les membres de la table de concertation, comprenant entre autre des représentants de la production des FCR et d'Environnement Canada, ont étudié des facteurs sanitaires, ainsi que des facteurs scientifiques, techniques et socio-économiques en vue de formuler des recommandations portant sur les options de contrôle préférables devant prévenir ou minimiser l'exposition aux FCR et le rejet de ces substances dans l'environnement (Environnement Canada, 1994).

En réponse aux recommandations du rapport sur les options stratégiques de la gestion des FCR, Environnement Canada et les entreprises de fabrication et de transformation de FCR ont signé une entente sur la performance environnementale. Le but de l'entente est de recueillir des données actuelles sur les émissions afin de déterminer s'il faut des contrôles supplémentaires tout en confirmant l'engagement de l'industrie dans l'établissement et le maintien d'un programme d'intendance des produits.

4.4 Mécanismes et toxicité cellulaire

Un résumé des études toxicologiques concernant seulement les FCR a été inséré dans ce rapport car ce sont les seules fibres classées comme cancérigène de catégorie 2 par la Commission Européenne en 1997.

Plusieurs échantillons de FCR ont été testés chez l'animal, essentiellement à des fins de détermination du potentiel cancérigène. Certaines études ont montré un potentiel cancérigène de ces fibres, en réponse à une exposition par inhalation ou par injection intra-cavitaire, chez le hamster ou le rat. L'objet de ce chapitre n'est pas de détailler les différentes études mais de résumer les résultats obtenus et de mentionner certains points discutés lors de l'interprétation des résultats et par ailleurs analysés lors de différentes expertises (CIRC, 2002; Inserm, 1999).

Plusieurs études par inhalation ont montré la survenue de tumeurs pulmonaires chez l'animal (Davis *et al.*, 1984 ; Lee *et al.*, 1981 ; Mast *et al.*, 1995a et 1995b). Des études par inhalation, selon les conditions « nez seul », ont été effectuées chez le rat et le hamster. Dans les études effectuées chez le rat, les échantillons étaient constitués de fibres de kaolin (RCF1), de silice et d'alumine avec ajout de zircone (RCF2), de silice et d'alumine purifiées de haute pureté (RCF3) et de kaolin partiellement dévitrifié (RCF4). Tous les échantillons ont provoqué un excès de tumeurs pulmonaires et un ou plusieurs mésothéliomes (absence de mésothéliome chez les animaux contrôles) dans des groupes d'une centaine d'animaux (Mast *et al.*, 1995a et 1995b ; McConnell *et al.*, 1995). L'effet cancérigène était statistiquement significatif avec les 3 échantillons RCF1, RCF2 et RCF3 mais pas avec RCF4 (Rossiter & Chase, 1995). Chez le hamster, l'échantillon RCF1, le seul testé, a produit un taux élevé de mésothéliomes. Selon d'autres études, où les fibres étaient administrées par inoculation intra-cavitaire, une augmentation de la fréquence de tumeurs a été observée, allant de 0 à plus de 80 % selon la dose et le type de fibres inoculées. De l'ensemble de ces travaux, il n'est pas possible de définir un potentiel cancérigène selon le type d'échantillon (nombre d'études insuffisant pour un échantillon donné, échantillons divers tels que Fibex, Saffil[®], Fiberfrax[®] ou d'origine non précisée ; parfois diamètre des fibres trop grand, non adapté à l'étude expérimentale). Toutefois, au vu de l'ensemble des données positives, le CIRC a pu évaluer les FCR comme présentant une évidence suffisante de cancérigénicité en expérimentation animale.

Les données obtenues dans l'étude RCC (Research and Consulting Company) ont été discutées dans la littérature, à propos de la cancérigénicité de l'échantillon RCF1. Cet échantillon renferme en effet une proportion de particules non fibreuses plus importante qu'observé dans d'autres échantillons ; elle est estimée à 24 % en poids dans RCF1 (Bellmann *et al.*, 2001). La présence d'une forte proportion de ces particules non fibreuses a amené certains auteurs à proposer que l'effet observé était modulé par leur présence, laquelle, en raison d'un effet de surcharge pulmonaire, entravait la clairance des fibres. De ce fait, le pourcentage de tumeurs observé se trouvait surestimé (Brown *et al.*, 2002). Afin d'apporter des éléments de réponse à cette interrogation, une étude de l'effet comparatif des échantillons RCF1 et RCF1a (obtenu à partir de RCF1, mais renfermant 2 % de particules non fibreuses en poids) a été effectuée. Les concentrations respectives en particules non fibreuses, dans la chambre d'exposition étaient de 51 mg/m³ et 26 mg/m³. Dans ce travail, la concentration de l'aérosol en fibres d'une longueur supérieure à 20 µm était équivalente pour les 2 échantillons (130 f/ml), mais la concentration en fibres WHO restait supérieure pour l'échantillon RCF1 comparativement à RCF1a (679 ± 149 vs 481 ± 162). Les travaux effectués par Bellmann *et al.* (2001) ont révélé qu'après une période d'inhalation à court terme (3 semaines), suivie d'une période de récupération de 12 mois, la clairance, l'inflammation et la rétention des fibres étaient en effet moindres pour l'échantillon RCF1a. Cependant, le potentiel cancérigène de cet échantillon n'est pas, à notre connaissance,

publié. Hesterberg *et al.* (1998) mentionnent un effet positif de l'échantillon RCF1a en inhalation chronique.

Un second point faisant l'objet de discussions concerne la différence de réponse entre le rat et le hamster. Chez la première espèce, des tumeurs pulmonaires sont obtenues (13 % à la dose la plus élevée) mais peu de mésothéliomes (1,6 %). A l'inverse, aucun hamster n'a présenté de tumeur pulmonaire mais 41,2 % présentaient un mésothéliome. Afin de comprendre ces différents résultats, des études comparatives de la réponse de la plèvre de rat et de hamster aux fibres minérales ont été effectuées. Une première étude a montré une augmentation plus importante du taux de renouvellement des cellules mésothéliales chez le hamster, en réponse à une instillation intra trachéale de RCF1 (Rutten *et al.*, 1994). Ultérieurement, Gelzleichter *et al.* (1999) ont montré, dans une étude par inhalation, qu'un plus grand nombre de fibres de RCF1 était transloqué vers la plèvre, chez le hamster, avec en parallèle des réponses biologiques plus élevées pour cette espèce (inflammation, fibrose, renouvellement des cellules mésothéliales). Par ailleurs, davantage de fibres de longueur supérieure à 5 µm restaient retenues dans la plèvre de hamster, comparativement au rat, en dépit d'un dépôt pulmonaire équivalent. Cela suggère une dynamique différente de translocation des fibres entre les 2 espèces, conduisant à une charge en fibres supérieure chez le hamster comparativement au rat.

Les résultats obtenus au cours de l'étude conduite au centre RCC ont été exploités à des fins d'analyse quantitative du risque par modélisation à l'aide des données expérimentales disponibles. L'estimation en terme de MLE (Maximum Likelihood Estimate) de l'augmentation du risque de cancer associé à une exposition à 1 fibre/ml vie entière (aussi appelé « unit potency » ou « unit risk ») a été évaluée entre $1,4 \times 10^{-4}$ et $7,2 \times 10^{-4}$ selon le modèle utilisé (Maxim *et al.*, 2003). Des hypothèses ont également été formulées, concernant le mécanisme possible d'action des fibres. Utilisant un modèle d'expansion clonale en 2 étapes, initiation et promotion, il a été suggéré que le meilleur ajustement des données FCR positionnait les fibres en tant qu'initiateur (Moolgavkar *et al.*, 1999 et 2000).

Outre le potentiel cancérigène, l'effet fibrosant a été étudié dans le cadre de ces expérimentations animales. Les échantillons de FCR testés se sont révélés avoir un effet modéré, aussi bien au niveau pulmonaire que pleural. Les études à long terme suggèrent que les hamsters sont davantage prédisposés à la fibrose pleurale que les rats (Gelzleichter *et al.*, 1999 ; Everitt *et al.*, 1997).

L'étude des modes d'action a porté sur quelques études *in vivo* réalisées chez l'animal, par inhalation ou instillation intra trachéale ou sur cultures cellulaires. Chez l'animal, un effet inflammatoire a été observé au niveau pulmonaire. Outre les effets prolifératifs sur les cellules mésothéliales mentionnés ci-dessus, il a été par ailleurs montré, avec un échantillon de FCR (chimiquement équivalent à RCF3), que ces fibres étaient susceptibles de provoquer une stimulation de la prolifération cellulaire des cellules des bronchioles terminales (Brown *et al.*, 2002 ; Rutten *et al.*, 1994 ; Gelzleichter *et al.*, 1999). Les FCR ont une biopersistance évaluée par une demi-vie de 78 jours, selon la méthode d'inhalation pendant une période de 5 jours, chez le rat F344 (Mast *et al.*, 2000).

Différents systèmes de cellules en culture ont été employés. Les objectifs sont schématiquement, outre de déterminer la cytotoxicité, d'étudier la réponse des cellules au stress oxydant et d'évaluer un potentiel génotoxique ou transformant. De plus, étant donné la nature particulière des fibres, l'internalisation ou la phagocytose des fibres par les cellules est étudiée. Plusieurs résultats montrent que les FCR sont internalisées par les cellules de rongeurs en culture, ainsi que par les cellules mésothéliales humaines. Dans le domaine de la réponse au stress oxydant, la production d'espèces réactives dérivées de l'oxygène par les cellules était généralement faible. Concernant la génotoxicité, plusieurs types de résultats ont été obtenus : mise en évidence d'anomalies nucléaires dans des cellules CHO (Chinese Hamster Ovary) ; endommagement de l'ADN et formation d'anomalies chromosomiques,

structurales et numériques dans différents types cellulaires (CIRC, 2002 ; Inserm, 1999). Des cassures de chromosomes et une hyperploïdie ont été constatées dans des cultures de cellules du liquide amniotique humain exposées à un échantillon de fibres FCR (Dopp *et al.*, 1997). Toutefois, d'autres études se sont révélées négatives : absence de mutations dans un test sur cellules hybrides A_L ; absence de ségrégation anormale des chromosomes dans des cellules mésothéliales pleurales de rat (Okayasu *et al.*, 1999 ; Yegles *et al.*, 1995). Ce dernier travail portant sur la recherche d'anomalies de la mitose de CMPR exposées à différents types de fibres minérales naturelles ou synthétiques, incluant les FCR mentionnées ci-dessus. Dans cette étude, une relation entre l'activité de l'échantillon et le nombre de fibres « longues et fines » était mise en évidence. Les échantillons de FCR présentaient un nombre de fibres en deçà de la NOEL (Non Observable Effect Level), ce qui pourrait expliquer leur absence d'effet détectable. Le potentiel cancérigène de ces fibres est illustré par un résultat obtenu sur culture de cellules SHE (Syrian Hamster Embryo). Les échantillons RCF1, RCF3 et RCF4 ont provoqué une transformation des cellules (Elias *et al.*, 2002). Dans cet essai, l'échantillon RCF3 était le plus actif, suivi de RCF1 et RCF4 ; ce dernier étant peu actif.

Dans des études *in vitro* en milieu acellulaire, dont l'objectif est d'appréhender la capacité des fibres à produire des espèces réactives dérivées de l'oxygène, et à générer des cassures d'ADN, les FCR se sont généralement révélées peu actives.

En résumé, les FCR ont des effets qualitatifs sur cellules et chez l'animal en accord avec l'attribution d'un potentiel cancérigène à ces fibres. Le rôle respectif des mécanismes passant par la production d'espèces réactives dérivées de l'oxygène ou chromosomiques ne sont pas élucidés ; ils ne sont pas exclusifs et l'un et l'autre sont susceptibles de jouer un rôle associé au potentiel cancérigène de ces fibres. Les résultats obtenus sur cellules en culture ont souvent été discutés en fonction des caractéristiques dimensionnelles des fibres. La longueur des fibres semble être un paramètre important dont dépendent les effets toxiques, les échantillons présentant davantage de fibres longues étant les plus actifs.

4.5 Accords et publications récentes au niveau national, européen et international

4.5.1 Accord volontaire canadien sur les FCR

En 2002, un accord portant sur les performances environnementales des producteurs a été signé entre le ministère de l'environnement et les membres représentant les industries canadiennes de FCR. Les industriels participant à cet accord et le programme de contrôle volontaire associé regroupaient alors : Fibrecast Inc., Pyrotek Industries, Wolf Steel, Thermal Ceramics Inc., RHI Canada Inc., Global-GIX et CFM Majestic Inc.

Environment Canada et les industriels recueillirent ainsi les données d'émission et les concentrations ambiantes en atmosphère de travail des sites de production et de conversion des FCR ; l'objectif étant d'estimer les quantités émises annuellement et permettre d'améliorer l'évaluation du risque pour les professionnels et la population générale.

4.5.2 Accord volontaire entre l'US EPA et la Refractory Ceramic Fibres Coalition (RCFC)

Le 14 mai 1993, l'agence américaine de protection de l'environnement et les représentants de l'industrie des FCR sont parvenus à un accord incitant les trois principaux producteurs à engager une surveillance de l'atmosphère en FCR sur tous leurs sites et pour tout type d'activité.

Le programme développé de manière consensuelle avait pour ambition d'apprécier l'exposition professionnelle, notamment en analysant l'évolution des concentrations au cours du temps (au minimum 5 ans) et les divergences entre les diverses activités réalisées par les employés.

Le 21 mars 1994, l'US-EPA a publié une proposition intitulée « Significant New Use Rule » (SNUR) exigeant que l'agence soit prévenue 90 jours avant le commencement de la production, de l'importation ou de la transformation des FCR dans tout nouveau produit ou nouvelle application d'un produit existant. Cette règle n'a pas été encore entérinée. La notification exigée donnerait l'occasion à l'EPA d'évaluer l'utilisation attendue, les activités associées et les modalités de protection contre les risques qui pourraient résulter de l'exposition à ces nouvelles utilisations.

4.5.3 Accord entre l'Occupational Safety and Health Administration (OSHA) et la Refractory Ceramic Fibres Coalition (RCFC)

Le 11 février 2002, les deux protagonistes ont introduit après accord, un programme de protection des travailleurs intitulé « PSP2002 ». Ce programme des produits établit une valeur d'exposition professionnelle indicative et propose des lignes directrices concernant l'exposition des travailleurs permettant de contrôler au mieux le maniement des fibres et d'accroître la formation des professionnels.

La valeur limite est définie à 0,5 f/ml pour une exposition de 8 heures. Cette valeur résulte d'un consensus entre l'EPA et les données recueillies par la coalition. Ces données indiquent qu'il est généralement plausible de maintenir cette concentration par des contrôles pour toutes les opérations liées aux FCR.

4.5.4 Publication d'un rapport du National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH) sur l'exposition professionnelle aux FCR

Le rapport s'appuie sur une revue des données toxicologiques expérimentales et humaines relatives aux FCR et s'attache à décrire l'impact sanitaire d'une exposition professionnelle liée à la présence de ces fibres en suspension. Aux Etats-Unis, le NIOSH rapporte une

population de 31 500 personnes susceptibles d'être exposées aux FCR lors de la distribution, la manipulation, l'installation et l'élimination. Par ailleurs, plus de 800 personnes travaillent directement dans la production et la conversion de ces fibres.

Après évaluation, le NIOSH recommande une limite d'exposition de 0,5 f/ml pour une durée journalière de 10 heures durant 40 semaines. Ainsi, réduire l'exposition professionnelle atmosphérique à cette concentration limiterait, selon le NIOSH, le risque de cancer du poumon, l'irritation oculaire et respiratoire. Cette valeur semble techniquement possible à atteindre au regard des données d'exposition collectées auprès des producteurs et utilisateurs de FCR. Cependant, le NIOSH, en raison d'un risque résiduel de cancer à la valeur recommandée (cancer du poumon et mésothéliome pleural), incite à une réduction en dessous de 0,2 f/ml. Ainsi, l'Institut recommande de poursuivre les contrôles et de soutenir des programmes appropriés de protection respiratoire et de prévention. Il demande également que les utilisateurs et les professionnels soient plus informés sur le danger lié à une exposition aux FCR.

4.5.5 *Elaboration d'une charte des producteurs de FCR implantés en France*

La charte rédigée par l'ECFIA, sous l'égide de la Direction Générale des Entreprises, rappelle les engagements pris par les industries productrices de laines d'isolation haute température en France. Elle propose également d'initier de nouvelles actions et s'appuie sur l'ensemble des études réalisées à l'initiative des industries productrices de FCR, sur les programmes de « suivi des produits » et les programmes de recherche.

Les producteurs s'engagent sur la promotion liée à la substitution, le développement de l'information à l'usage des utilisateurs et des autorités sur les alternatives, l'évaluation des risques et les mesures de précaution à prendre lors de la mise en œuvre de ces fibres. Par ailleurs, les industriels souhaitent intensifier la surveillance chez les producteurs, les utilisateurs et continuer à développer des études toxicologiques, épidémiologiques et des programmes de recherche sur la substitution.

Enfin, l'ECFIA s'engage à poursuivre l'élaboration de guides de bonnes pratiques avec l'industrie utilisatrice en s'appuyant sur les documents existants :

- Sidérurgie (Problématique hygiène-sécurité-environnement des isolants thermiques dans le groupe Usinor) ;
- Industrie du verre (Maîtrise des expositions aux FCR lors de travaux de réfection des fours verriers. Saint-Gobain – Céramiques industrielles) ;
- Industrie de la fumisterie (Recommandations pour l'utilisation des FCR. SNECTI) ;
- Industrie des tuiles et briques (Guide pratique : maîtrise des expositions aux FCR lors des travaux de réfection de fours et wagons dans les tuileries et les briqueteries. Fédération Française des Tuiles et de Briques) ;
- Industrie de la maintenance des appareils de chauffage (En cours d'élaboration).

5 Les fibres de verre à usage spécial

5.1 Production et utilisation

5.1.1 Définition des fibres de verre à usage spécial

Les fibres de verre à usage spécial sont produites depuis les années 1940. La grande majorité des produits contenant ces fibres est destinée à un usage professionnel uniquement et n'est pas vendue auprès du grand public. Contrairement aux laines minérales d'isolation, les fibres de verre à usage spécial ne constituent qu'un très faible pourcentage du marché des fibres de verre artificielles, environ 1 % de la production annuelle des fibres de verre synthétiques. Les fibres de verre à usage spécial sont vendues par le producteur à d'autres fabricants qui les intègrent aux produits finaux (Consortium d'industriels, 2006).

De manière générale, les fibres de verre ont été développées au cours des années 1930 principalement pour l'isolation domestique. Les fibres de verre servent à contrôler les flux de chaleur, absorber les sons, filtrer les gaz et les liquides. Les fibres de verre se composent principalement d'oxydes d'aluminium et de silicium. Les propriétés finales dépendent de la composition et notamment du pourcentage des autres oxydes incluant les oxydes métalliques alcalins, les oxydes alcalino-terreux et les oxydes métalliques tels que le ZrO_2 et Fe_2O_3 . Le verre, à l'image des autres matériaux d'isolation, résiste excellemment au passage d'un courant électrique. Ainsi, le verre E ou « Electrical glass » (E-glass), défini comme un filament continu de verre, a été développé pour des applications d'isolation électrique (ATSDR, 2004). Il est majoritairement composé d'oxyde de bore et les oxydes alcalins de sodium et de potassium restent maintenus à de faibles taux afin de renforcer les propriétés d'isolation électrique (TIMA, 1991).

Par ailleurs, il existe d'autres types de verre caractérisés par de légères variations dans la composition modifiant de manière significative les propriétés optiques, électriques, chimiques et mécaniques. Le verre C ou « Chemical glass » (C-glass) résiste aux attaques chimiques notamment par l'acide hydrofluorique et l'acide phosphorique concentré. La résistance chimique est déterminée par les quantités relatives d'oxydes acides (SiO_2 , B_2O_3), d'oxydes basiques (CaO , MgO , Na_2O , K_2O) et d'oxydes amphotériques (Al_2O_3). Le verre S ou « high Strength glass » (S-glass) se compose principalement d'oxydes d'aluminium, de silicium et de magnésium et se limite à des applications spécifiques de haute technologie impliquant une forte résistance à la rupture. La résistance du verre S apparaît 30 à 40 % supérieure au verre E. Le verre AR ou « Alkali Resistant glass » (AR-glass) contient un pourcentage élevé d'oxydes de zirconium lui procurant une forte résistance aux composés acides et alcalins.

Ainsi, ces divers types de verre représentent la base des différentes compositions de fibres de verre incluant les filaments continus et les fibres de verre à usage spécial. Cependant, les compositions varient et sont ajustées par le producteur selon le type de fibre, le diamètre et les applications souhaitées.

Dans un rapport réalisé conjointement par the European Insulation Manufacturers Association (EURIMA), l'ECFIA et l'Association des Producteurs de Fibres de Verre Européens (APFE), les industriels distinguent la famille des fibres de verre à usage spécial en deux classes :

- Les fibres de verre à usage spécial « fines » appartiennent à la famille des FMA avec plus de 1 % de fibres brutes définies par un diamètre inférieur à 1 μm (intervalle de 0,05 – 3 μm). Elles se composent de plus de 2 % d'oxydes d'alcalins et d'alcalino-terreux ;

- Les fibres de verre à usage spécial « grossières » appartiennent également à la famille des FMA avec plus de 1 % de fibres brutes définies par un diamètre inférieur à 3 μm et moins de 1 % de fibres brutes définies par un diamètre supérieur à 1 μm (intervalle de 0,1 – 10 μm). Elles comportent un pourcentage pondéral d'oxydes alcalins et alcalino-terreux compris entre 2 et 18 % (EURIMA, ECFIA, APFE, 1991).

A noter que la dénomination « microfibre », fréquemment employée dans des publications ou articles, est une marque déposée par la société Johns-Manville. Les dénominations commerciales les plus connues concernant les types de fibres de verre à usage spécial sont les microfibrilles « glass 475 » et « E-glass ». D'autres types incluent les fibres de verre 753 dont l'usage en Europe semble avoir disparu (RPA, 2006).

5.1.2 Composition chimique et mode de fabrication

La chimie des fibres de verre à usage spécial est définie spécifiquement afin d'améliorer la capacité du verre à être fibré à des diamètres submicroniques et acquérir les propriétés de surface voulues à de tels diamètres. La plupart des types de verre pour fibres est composée d'un réseau de borosilicate (structure du verre composée de bore et de silice chimiquement liés). Les pourcentages d'alcalins restent relativement élevés (Consortium d'industriels, 2006).

Les fibres de verre à usage spécial présentent donc des compositions similaires aux laines minérales de verre et aux filaments continus, avec des diamètres généralement compris entre 0,05 μm et 3 μm . Le rapport de l'OMS intitulé « Biological effects of man-made mineral fibers » indique qu'entre 80 et 90 % des fibres de verre à usage spécial en suspension peuvent être respirables.

Le tableau XLIX présente les différentes compositions, proposées dans quelques publications, suivant le type de verre destiné à la production des fibres.

Tableau N°XLIX : composition chimique des fibres de verre à usage spécial (pourcentage pondéral)

Oxydes	753 ^{1,2}	M verre C 1	M verre C 2	Verre E ^{1,2}	Verre E ³	475 ^{1,2,3}	Standard borosilicate verre B ¹	Standard borosilicate verre B ²	363 ^{1,2}	Verre S ³	Verre AR ³	Silice ^{1,2}
SiO ₂	62-65	60-69	62-69	54-55	52-56	57-58	59-65	57-63	58-59	65	60,7	99,5-100
Al ₂ O ₃	3-5	3-6	1-6	14-15	12-16	5-6	3-7	3-7	5	25		
B ₂ O ₃	5-6	4-6	5-6	7-8	5-10	10-11	8-11	9-11	7-8			
K ₂ O	0-1	0,5-3	0-2	0-0,2	0-2	2-3	1-3,5	2-3	14-15		2	
Na ₂ O	14-16	8-12	11-16	0-0,6	0-2	10-11	8-11	9-11	7-8			0-0,5
MgO	2-3	2,5-4,5	2-3	0,3-3	0-5	0-0,5	0-2	0-0,5		10		
CaO	5-6	5-7	5-6	18-21	16-25	2-3	2-4	2-4	0-0,2			
BaO	0-0,2	0,2	0-0,2			5	2,5-5,5	1-6				
TiO ₂	0-0,1	0-0,1	0-0,1	0,5-0,6	0-1,5	0-0,1		0-0,1	8			
ZrO ₂									4		21,5	
Fe ₂ O ₃	0-0,1	0-0,2	0-0,1	0,2-0,4	0-0,8	0-0,1	0-0,1	0-0,1	0-0,1			
F ₂	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1		0-1	0,1	2			
ZnO						4	0-4,5	4				
Li ₂ O											1,3	

¹ Inserm, 1999² TIMA, 1991³ Navy Environmental Health Center, 1997

La fibre de verre à usage spécial de type E n'est plus importée, ni commercialisée sur le territoire européen depuis 2001 hormis quelques applications (Consortium d'industriels, 2006).

Le tableau XLIX souligne le manque de connaissances précises relatives aux compositions des fibres et indique clairement la diversité des formules retrouvées dans la littérature soulignant ainsi les éventuelles évolutions de la composition au cours des décennies ou l'opacité des données.

Les demandes formulées dans l'intitulé de la saisine orientaient prioritairement les investigations sur les fibres de verre à usage spécial de type E et 475. Les producteurs présentent ainsi dans le tableau L les compositions des fibres de type E et 475 correspondantes aux fibres commercialisées individuellement par chaque entreprise.

Tableau N°L : compositions commerciales des fibres de verre à usage spécial de type E et 475 (Consortium de producteurs de fibres de verre à usage spécial, 2006)

Oxydes (pourcentage pondéral)	JM 475	JM-E	Evanite M	Evanite B et Lauscha 475	Lauscha E-glass
Type	475	E	253	475	E
SiO ₂	57,6-59,0	54,5-55,5	65,8-71,2	56,4-60,4	50,0-56,0
Al ₂ O ₃	5,4-6,2	13,5-14,2	3,3-4,4	5,2-6,4	13,0-16,0
B ₂ O ₃	10,5-12,1	5,5-8,0	4,2-5,3	10-12	5,8-10,0
CaO	1,7-1,9	18,5-21,5	4,8-6,6	1,5-2,3	15,0-24,0
MgO	0,25-0,4	2,3-2,5	2,3-3,3	0,15-0,5	<5,5
BaO	4,6-5,4	< 0,01	0-0,2	4,5-5,5	--
ZnO	3,6-4,4	< 0,01	0-0,4	3,5-4,5	--
Na ₂ O	9,1-10,3	0,7-1,3	10,9-12,9	9,0-11,0	<0,6
K ₂ O	3-3,6	0,06-0,08	1,6-2,0	2,6-3,4	<0,4
F ₂	0,55-0,9	< 0,01-0,3	0,5-1,0	0,3-0,7	<1,0

Deux procédés de fabrication existent à l'heure actuelle afin de produire les fibres de verre à usage spécial, soit par filage ou « spinning » (méthode évoquée dans le chapitre relatif à la composition et au mode de fabrication des FCR), soit par atténuation de flamme. La première méthode est employée par les industries allemandes tandis que les producteurs américains exploitent la seconde.

Concernant la méthode par atténuation de flamme, la procédure s'articule en deux étapes. Dans un premier temps, le mélange est étiré à travers les buses afin de produire des fils de fibres. Ces fils sont à nouveau mélangés et effilés en fibres de diamètre réduit par l'intermédiaire d'un gaz enflammé projeté à haute température et disposé à angle droit de la fibre primaire. Les fibres sont ensuite propulsées par un souffle d'air puissant à travers un tube où un liant est parfois projeté (ATSDR, 2004). Les fibres sont ensuite réceptionnées dans un collecteur où elles s'enchevêtrent afin de constituer un mat destiné à la fabrication de multiples produits spécifiques dont les produits de filtration (CIRC, 2002).

La figure 31 illustre le procédé de fabrication par atténuation de flamme destiné à la production de fibres de verre à usage spécial.

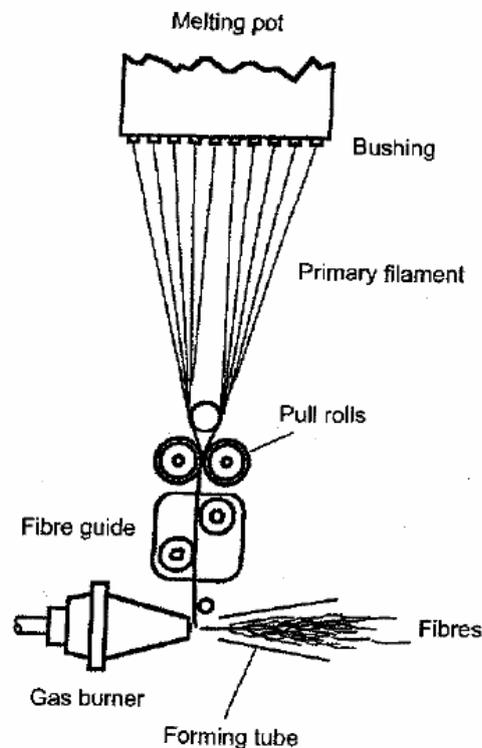


Figure N°31 : procédé de fabrication par atténuation de flamme (TIMA, 1991)

Les fibres de verre à usage spécial en vrac ne sont pas commercialisées à destination du grand public mais sont vendues à des utilisateurs industriels qui les transforment en non-tissé en vue de leur emploi dans des produits finaux.

Les fibres de verre à usage spécial diffèrent significativement des laines d'isolation. La composition de ces fibres est spécifiquement définie afin de produire des fibres de diamètre micronique et garantir les propriétés de surface souhaitées. Par conséquent, la production des fibres de verre à usage spécial s'avère plus coûteuse que celle des laines d'isolation (Consortium de producteurs de fibres de verre à usage spécial, 2006).

5.1.3 Propriétés physico-chimiques

Les fibres de verre à usage spécial, en raison des usages auxquels elles sont destinées, présentent des diamètres particulièrement faibles dont la valeur varie selon l'application souhaitée.

L'entreprise Johns Manville attribue fréquemment un code afin de nommer les types de fibres de verre à usage spécial proposées et déposées sous la mention commerciale « microfibre ». Le code se réfère au diamètre moyen de la fibre et ne dépend pas du type de verre utilisé. Ces nombres étaient, à l'origine, utilisés pour décrire l'indice d'égouttage des filtres en papier produits (TIMA, 1991). Les fibres de verre à usage spécial sont également catégorisées par des lettres définissant le diamètre moyen. Ainsi, les fibres commercialisées sont désignées par un numéro de code suivant les références: J-M ou E-F, ou bien selon le code NRL (Naval Research Laboratory) (Inserm, 1999).

Le tableau LI évoque les correspondances entre les lettres et les diamètres.

Tableau N°LI : correspondance entre les codes NRL et les diamètres des fibres de verre à usage spécial (TIMA, 1991)

Code NRL	B	A	AA	AAA	AAAA
Diamètre moyen des fibres (µm)	2,6-3,8	1,6-2,6	0,75-1,6	0,5-0,75	0,2-0,5

Il faut être attentif au fait que sous un même code (J-M ou E-F), les compositions chimiques des verres peuvent s'avérer différentes entraînant ainsi un risque de confusion pour l'interprétation des essais *in vivo* ou *in vitro* qui ont pu être réalisés avec ces diverses fibres (Inserm, 1999).

Tableau N°LII : correspondance entre le code JM, le diamètre des fibres et le type de verre utilisé (Inserm, 1999)

Code J-M	Type de verre	Diamètre des fibres (µm)
90	475	0,26
100	475	0,32
102	475, 753	0,40
104	475, 753, E	0,50
106	475, 753, E	0,65
206	475, 753	0,75
108A	475, 753	1,00
108B	475, 753, E	1,80
1 1 0	475, 753	2,70
BX	475, 753	2,90
210	475, 753	3,00
112	475	4,00
212	475	4,10
CX	475, 753	5,50

Tableau N°LIII : correspondance entre le code EF, le diamètre des fibres et le type de verre utilisé (Inserm, 1999)

Code EF	Type de verre	Diamètre des fibres (μm)
700	B	0,32
702	B	0,40
704	B	0,50
706	B, M	0,60
508, 708	M, B	0,80
509	B	1,60
510	B	2,30
410	M	2,50
610, 710	M, B	2,60
411	M	3,00
612	M	3,70
712	M, B	3,90
413	M	4,30
716	M, B	5,20
717	M, B	6,10
719	M, B	8,50

Même si les diamètres s'échelonnent entre 0,01 et 8,5 μm (E-F-719) selon les producteurs, l'essentiel des fibres employées et souhaitées présente un diamètre inférieur à 3 μm .

5.1.3.1 Analyse physico-chimique

Les fibres de verre à usage spécial se présentent sous une apparence fibreuse de couleur blanche et dépourvue d'odeur. Leur pouvoir de volatilisation et leur solubilité paraissent négligeables. Leur point de ramollissement se situe entre 600 et 800 °C et leur composition chimique leur assure une certaine stabilité. Toutefois, elles ne résistent pas à l'acide hydrofluorique et aux solutions concentrées d'hydroxyde de sodium. Les paramètres de point d'ignition, de masse moléculaire, de pression de vapeur, de coefficient de distribution, de viscosité restent inapplicables.

Le tableau LIV récapitule les principales propriétés physico-chimiques des différentes classes de fibres de verre à usage spécial.

Tableau N°LIV : principales propriétés physico-chimiques des différentes classes de fibres de verre à usage spécial (Inserm, 1999)

	Famille 753	Verre C	Verre E	475	Standard borosilicate Verre B	363	Silice
Point de ramollissement (° C)	675	670-700	850	650	650-800	650	
Indice de réfraction	1,51	1,51	1,55	1,53	1,53	1,55	1,46
Densité (g/cm ³)	2,5	2,5	2,6	2,4	2,4-2,6	2,5	2,2
Particules non fibreuses ou shot	Minimal	Minimal	Minimal	Minimal	Minimal	Minimal	Minimal
Température de dévitrification (° C)			800				1 000 ^a
Température maximale d'utilisation (°C)	500	500	600	500	500		1 100 ^a

^a variable avec la pureté.

L'ATSDR (2004) propose les points de ramollissements pour divers types de fibres de verre à usage spécial et indique pour le verre E une température comprise entre 835 et 860 °C, le verre S à 970 °C, le verre AR à 680 °C et la composition 475 à 650 °C.

5.1.4 Les additifs et liants

Les producteurs de fibres de verre à usage spécial soulignent que les fibres en sortie de production doivent présenter une pureté irréprochable et n'incluent donc ni liant, ni additif.

En revanche, les transformateurs en aval manipulant les fibres afin de produire des papiers, des filtres, des séparateurs de batteries incluent des liants afin d'assurer une cohésion et empêcher toute libération de fibres à partir des produits. De manière générale concernant les filtres, les fibres de verre à usage spécial sont intégrées dans une matrice et comprennent souvent des liants (Consortium d'industriels, 2006).

Les fibres employées comme isolants (thermique et acoustique) dans l'industrie aéronautique (fuselage, moteur) et aérospatiale (navette spatiale) sont ordinairement associées à de la silicone. Les fibres composées de borosilicates résistant aux acides servent à faire des parois de séparation pour les batteries. Dans le cas de leur utilisation en tant que filtre (air ou liquide), le contenu en résines ou en huile, en tant qu'agents liants est particulièrement spécifique (Inserm, 1999). Les résines peuvent se composer de sels d'acide polycarboxylique ou d'émulsions acryliques.

5.1.5 Les producteurs de fibres de verre à usage spécial

Les principaux producteurs de fibres de verre à usage spécial alimentant le marché européen incluent :

- Johns Manville ;
- Hollingsworth & Vose ;
- Evanite Fibre (filiale de Hollingsworth & Vose) ;
- UPF Corporation ;
- Lauscha Fiber International.

Les quatre premières entreprises mentionnées sont originaires des Etats-Unis avec des filiales en Europe. Il n'existe aucune entreprise française et aucun site de production sur le territoire national. Les deux sites européens se situent pour l'un en Belgique (Hollingsworth & Vose) et l'autre en Allemagne (Lauscha).

Les informations restent limitées sur l'importation et l'exportation des produits sur le territoire national et européen. Cependant, les producteurs indiquent que les importations chinoises apparaissent de plus en plus conséquentes.

Les producteurs indiquent que les fibres de verre E ne sont plus produites et utilisées en Europe depuis 2001. Il existe cependant quelques exceptions dont un filtre analytique de laboratoire spécifique utilisé en filtration humide. Les producteurs indiquent que l'utilisation actuelle en France pour le verre E s'élève à 20 kilogrammes par an. Les données pour le reste de l'Europe ne sont pas disponibles. Les producteurs suggèrent que les fibres de verre E utilisées restent inaccessibles étant donné que le produit est encapsulé dans une résine époxy afin de produire une carte de circuit imprimé représentant environ 0,0001 % de l'utilisation totale des fibres de verre à usage spécial.

Les industriels estiment que la production mondiale actuelle de fibres de verre à usage spécial s'élève à 30 000 tonnes par an.

Par ailleurs, les producteurs suggèrent, par estimation, l'utilisation de 7 000 tonnes destinées à l'Europe. Environ un tiers de ce total concerne la France, soit 2 200 tonnes par an. La grande majorité correspond à la fabrication de produits d'usage professionnel. Les producteurs estiment qu'environ 50 % de cette fabrication de produits finis sont utilisés en France et le reste exporté. Le total des ventes de produits de filtration contenant des fibres de verre à usage spécial s'élève à environ 600 millions d'euros. La production de fibres de verre à usage spécial reste confidentielle et représente moins de 1 % de la production annuelle de FMA.

Les données transmises par les douanes, concernant l'importation et l'exportation, ne permettent pas d'identifier distinctement les fibres de verre à usage spécial ou les produits contenant ces fibres étant donné la codification exploitée par les services de contrôle.

Lauscha et Hollingsworth & Vose (incluant Evanite) ont transmis leurs données annuelles d'importation française depuis le début des années 1990 en individualisant les types de verre. Malheureusement, Johns Manville n'ayant pas remis ces informations, il apparaît donc impossible d'agrèger dans ce rapport les résultats disponibles au risque de révéler des données de marché de nature confidentielle. Sur le plan qualitatif, Hollingsworth & Vose (incluant Evanite) indique l'absence actuelle et rétrospective d'importations françaises de fibres de verre à usage spécial de type E et 475 sous forme de vrac.

5.1.6 Les transformateurs de fibres de verre à usage spécial

Par ailleurs, il existe une multitude d'entreprises en aval fabriquant des équipements et des produits contenant des fibres de verre à usage spécial. Ces entreprises se répartissent notamment sur l'espace européen afin de proposer leurs produits sur le marché. La liste non exhaustive cite les principaux acteurs impliqués dans la fabrication de médias filtrants et de filtres :

- Hollingsworth & Vose ;
- Johns Manville ;
- Lydall Filtration ;
- Arjowiggins ;
- Camfil Farr ;
- Fabriano Filter Media ;
- Whatman.

Bernard Dumas, filiale d'Arjowiggins, et Lydall Filtration sont les deux producteurs de médias filtrants sur le territoire français. La première entreprise, contactée lors de cette étude, estime pour l'année 2005 qu'environ 7 à 10 000 tonnes de médias filtrants ont été produites au niveau mondial et entre 1 000 et 2 000 au niveau européen. La Chine a produit seulement entre 200 et 300 tonnes pour l'année 2005 et elle importe plus de 700 tonnes annuelles. Bernard Dumas souligne qu'une grande partie de sa production est exportée. Cette entreprise produit donc des médias filtrants constitués de fibres de verre à usage spécial de type 475 (dérivé du verre B) pour la filtration et de type 253 (dérivé du verre C) pour les séparateurs de batteries. La croissance paraît continue et devrait progresser selon Bernard Dumas. Les fibres de verre à usage spécial, envoyées par le producteur, sont mélangées avec de l'eau puis des liants principalement des résines acryliques avant d'être étendues sur un tapis (mécanisme analogue à la production de papier). Les bandes de médias sont ensuite coupées à la largeur souhaitée par le fabricant de filtres ou de séparateurs de batteries. Les déchets de production sont majoritairement recyclés lors de l'étape initiale de mélange humide.

Les fabricants de filtres dont Camfil Farr, auditionnés dans le cadre de la saisine, réceptionnent le média filtrant avant de le plisser ou de le manipuler puis l'inclure dans un cadre.

D'autres entreprises en aval manipulent les fibres de verre à usage spécial sous forme de papiers, filtres finis ou autres pour la fabrication de modules spécifiques destinés à l'isolation, la fabrication de batteries ou de sacs d'aspirateurs de type HEPA.

Nombre de ces entreprises détiennent un ou plusieurs sites de production sur le territoire français et européen et également des sites de distribution. Il est difficile d'estimer les effectifs professionnels concernés et de référencer tous les sites de production aval employant des fibres de verre à usage spécial sur le territoire national.

5.1.7 Les utilisateurs de fibres de verre à usage spécial

5.1.7.1 Les acteurs et les domaines d'applications

Les applications des fibres de verre à usage spécial correspondent à des domaines d'activité restreints et spécifiques. Ils se limitent principalement à l'isolation thermique et phonique, à titre d'exemple, dans les aéronefs et l'aérospatiale où les contraintes en terme de caractéristiques souhaitées, de volume ou de poids circonscrivent actuellement le choix aux fibres de verre à usage spécial ; à la filtration de l'air ou des liquides à haute ou très haute efficacité et enfin comme séparateurs de batteries.

Le tableau LV récapitule sommairement les principales applications en les accordant avec le type de fibres de verre à usage spécial approprié.

Tableau N°LV : principales applications des fibres de verre à usage spécial et correspondance avec le type de verre approprié (TIMA, 1991)

	Famille 753	Verre C	E	475	Standard borosilicate	363	Silice
Méthode de production							
Centrifugation	✓	✓					
Atténuation de flamme	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Enduits							
Huile	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Liants	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Applications majeures							
Isolation aérospatiale							✓
Isolation des aéronefs	✓	✓				✓	
Isolation	✓	✓					
Séparateur de batteries	✓	✓		✓	✓		
Filtration	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Haute température							✓

Ces données ne correspondent pas forcément aux tendances collectées par ailleurs lors des auditions d'industriels notamment l'usage du verre E dans les séparateurs d'un type de pile au lithium inexistant dans ce tableau.

L'expertise collective Inserm (1999) mentionne également certaines applications dans l'isolation de chambres de combustion, de lingotières, l'isolation cryogénique et les produits de bouchage (fourneaux de fonderie).

Ainsi, les acteurs susceptibles d'entrer au contact de ces fibres paraissent multiples et concernent les professionnels impliqués dans la production de produits de type filtres ou séparateurs de batteries, l'intervention sur des isolations thermiques et phoniques

notamment dans l'aérospatiale, l'intervention sur lingotières, les interventions sur séparateurs de batteries, les interventions sur filtres, la manutention et la distribution, le nettoyage, le travail au voisinage de postes polluants et l'utilisation de produits de bouchage.

Les applications concernent principalement le domaine professionnel et les producteurs de fibres de verre à usage spécial soulignent que les filtres, au cours de leur utilisation, se trouvent dans des structures fixes exigeant une stabilité et aucune variabilité.

Deux applications concernent la population générale qui, dans des conditions normales d'emploi, n'est pas susceptible d'approcher les fibres de verre à usage spécial. Les domaines concernent les fibres de type 475 utilisées pour les filtres secondaires des aspirateurs conçus pour filtrer les particules et éventuellement la filtration d'air dans la ventilation générale de certains immeubles résidentiels.

5.2 Description des applications

Les applications évoquées dans ce chapitre intéressent principalement les usages industriels liés à la filtration, l'isolation et comme séparateurs de batteries. Ces produits ne sont évidemment pas destinés à la vente au grand public.

Les fibres de verre à usage spécial, sous forme de nappes, tissus, entrent dans la composition de divers médias destinés à la filtration d'air et de liquides. Les diamètres moyens des fibres utilisées varient entre 0,1 et 12 μm et dépendent des particules filtrées et de l'efficacité souhaitée. Les paramètres déterminants sont la distribution des diamètres des fibres, la densité et l'épaisseur du média. La densité dépend également des liants inclus en fortes quantités et formant une résine dense et intègre avec les fibres.

Pour les filtrations grossières ou d'efficacité inférieure, comme la pré-filtration ou l'élimination de poussières dans les systèmes d'air forcé des bâtiments commerciaux ou résidentiels, les producteurs utilisent des fibres ayant un diamètre entre 4 et 12 μm . La surface des fibres est parfois recouverte d'huile ou de liants afin d'accroître la capture des particules.

Les filtres d'efficacité intermédiaire se caractérisent par des fibres définies par un diamètre entre 1 et 4 μm . Ces produits sont fréquemment fabriqués sous forme de sacs pour des opérations de filtration industrielle, des opérations de pré-filtration dans les produits HEPA ou dans les filtres primaires des systèmes centraux de chauffage et d'air conditionné. Les fines poussières, la plupart des pollens et certaines bactéries peuvent être effectivement retenus par ces filtres.

La filtration fine ou de très haute efficacité inclut l'élimination des particules de diamètres moyens inférieurs à 1 μm en diamètre. Ces applications spécifiques concernent l'élimination de fumées d'émanations industrielles ou des agents pathogènes microscopiques.

Enfin, une catégorie spécifique de médias filtrants à très haute efficacité inclut les filtres HEPA qui, principalement sous forme de papiers, sont employés dans les salles propres de l'industrie ou des hôpitaux et retiennent des particules de 0,025 μm de diamètre.

Les filtres de fibres de verre à usage spécial se destinent également à la filtration des particules dans les liquides, notamment dans les cartouches de filtres cylindriques. Les applications concernent l'essence, les jus et autres boissons, les solutions pharmaceutiques, chimiques, d'encre ou d'impression. L'intervalle des diamètres des fibres utilisées dans ces applications reste semblable à celui des fibres employées dans la filtration d'air et varie entre 0,75 μm et 6 μm selon les applications. Les médias destinés à la filtration liquide se définissent par une quantité de résine et de liants supérieure à la filtration d'air, impliquant par conséquent une rigidité accrue du média (TIMA, 1991).

5.2.1 Filtration d'air à haute efficacité

Le Centre Technique des Industries Aérauliques et Thermiques (CETIAT), auditionné dans le cadre de cette étude, indique que l'activité de filtration de l'air intéresse plusieurs secteurs : dépeussierage industriel, ventilation générale et conditionnement d'air (dans les bâtiments, voitures, avions, trains), incinérateurs, élimination des effluents gazeux quelle que soit leur nature (acide, chaud...), épurateurs d'air... La réglementation recommande pour la ventilation générale, un mélange d'air neuf (filtre G4 constitué de fibres en verre) et d'air recyclé (filtres F5 à F9 constitués de fibres de verre à usage spécial, ce sont les filtres haute efficacité et très haute efficacité).

Une cellule filtrante se compose d'un cadre ou d'une armature en acier galvanisé (ou inoxydable). Le lut est un produit placé à l'intérieur du cadre afin d'assurer l'étanchéité entre le médium filtrant et l'armature. La figure 32 illustre quelques géométries de filtres industriels à Très Haute Efficacité (THE).



Figure N°32 : exemples de géométries de filtres industriels à très haute efficacité (Bouilloux, 2006)

L'application majeure réside dans la ventilation générale des bâtiments (bureaux, écoles, aéroports, hôtels, grands magasins, résidences, centre de conférences) ou certains sites notamment les aéroports ou les animaleries. L'air extérieur apporté et circulant dans les bâtiments peut être inacceptable d'un point de vue sanitaire et ne pas présenter la propreté exigée. Des systèmes de filtres constitués de fibres de verre à usage spécial paraissent indispensables dans les circuits de ventilation du commerce afin de garantir la pureté de l'air, limiter le niveau de bruit et réduire la perte de pression. Les filtres contenant des éléments en fibres de verre à usage spécial satisfont à tous ces critères.

Les filtres constitués de fibres de verre à usage spécial respectent de nombreuses normes, notamment la norme EN779 :2002 (filtres à air pour les particules en ventilation générale), la norme ASHRAE Standard 52.2 et la norme ISO TC 205/SC. Les médias filtrants, utilisés dans les systèmes de chauffage, ventilation et air conditionné, peuvent se présenter sous forme de filtres, équipement d'assainissement de l'air, collecteurs de poussières ou d'équipements de ventilation.

La figure 33 évoque, à l'aide de puces, les emplacements potentiels des filtres constitués de fibres de verre à usage spécial dans la ventilation d'un bâtiment général.



Figure N°33 : illustration de la localisation éventuelle de filtres à haute efficacité dans la ventilation d'un bâtiment général (Camfil Farr, 2006)

L'Union syndicale des constructeurs de matériel aéraulique, thermique, thermodynamique et frigorifique (UNICLIMA) représente notamment les producteurs de filtres pour le traitement de l'air. Malheureusement, seul Camfil Farr, principal acteur mondial impliqué dans la filtration d'air, a collaboré à notre étude. Cette entreprise indique que la normalisation pour la filtration notamment en ventilation générale varie d'un pays à l'autre en Europe. Ainsi, l'Allemagne préconise des exigences en termes de filtration supérieures à celles de la France. Camfil Farr indique que l'évolution de la réglementation pourrait accroître le marché.

Pour les filtres à haute efficacité, le renouvellement de ces filtres est variable (annuel pour le tertiaire et hebdomadaire ou mensuel dans l'industrie) et, selon Camfil Farr, le type 475 reste la principale classe de fibres de verre à usage spécial utilisée dans la filtration à haute et très haute efficacité.

Les fibres de verre à usage spécial dans les filtres sont utilisées depuis des années, au moins 50 ans avec une utilisation intensive des médias synthétiques dans la filtration à haute efficacité depuis 25 à 30 ans. Le CETIAT indique une durée moyenne des filtres entre 6 mois et 1 an (principalement pour la ventilation générale mais cela dépend réellement de l'application, du niveau de pollution ou d'agression, du type de filtre (papier ou à pli), protégé par un autre filtre ou pas...). Lors de la maintenance, le personnel qualifié ne connaît pas avec précision la composition des filtres ni l'éventualité qu'ils puissent contenir des fibres de verre à usage spécial. Dans la ventilation générale, les opérations d'installation et de retrait des filtres sont effectuées sans aucune précaution particulière. L'éclatement du filtre est

possible notamment en ventilation générale où la maintenance est moins rigoureuse (détérioration du filtre THE) qui pourrait laisser échapper des fibres de verre à usage spécial dans l'atmosphère). Les fabricants des filtres à THE recommandent que les agents ne les touchent pas directement.

Le CETIAT évoque une utilisation atypique aux USA dans les bâtiments fédéraux afin de les protéger d'un risque de bio terrorisme.

5.2.2 Filtration d'air à ultra haute efficacité

Les faibles diamètres des fibres de verre à usage spécial permettent la production de médias filtrants répondant aux exigences des filtres Heating, Ventilation and Air Conditioning (HVAC), High Efficiency Particulate Air (HEPA)¹⁹ et Ultra-low Penetration Air (ULPA)²⁰.

La pureté et la résistance chimique de ces fibres limitent la croissance des bactéries, des moisissures et contribuent à prolonger leur durée de vie. Les médias filtrants contenant ces fibres peuvent être roulés, pliés, enveloppés, façonnés, cousus ou laminés pour d'autres substrats. Les applications restent multiples et sont succinctement décrites ci-dessous :

Filtration pour les hôpitaux

Les blocs opératoires sont équipés d'une ventilation d'air purifié par des filtres THE. La filtration à haute efficacité est essentielle pour réduire les risques de dissémination d'agents pathogènes par l'air.

La figure 34 indique, à l'aide de puces, les emplacements potentiels des filtres constitués de fibres de verre à usage spécial dans la filtration haute efficacité des hôpitaux.

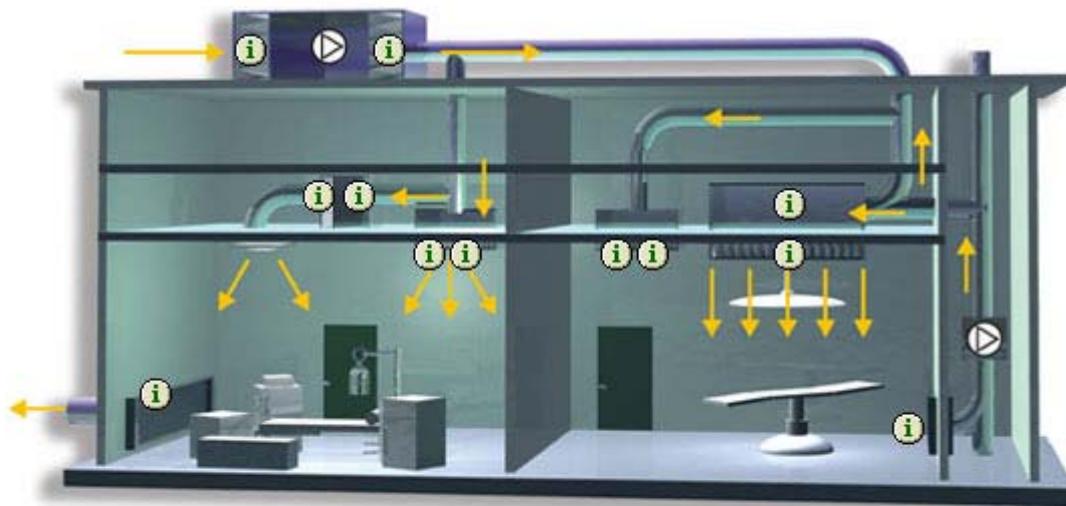


Figure N°34 : illustration de la localisation éventuelle de filtres à très haute efficacité pour la filtration des hôpitaux (Camfil Farr, 2006)

¹⁹ HEPA : filtre à particules à haute efficacité montrant une efficacité minimale de 99,97% lorsqu'il est testé avec un aérosol de 0,3 micromètre de diamètre.

²⁰ ULPA : l'élément de filtre ULPA ne fait pas référence à une dimension spécifique de particule. Si on part de la définition de l'élément, un filtre ULPA est un filtre dont l'efficacité minimale est égale à 99,999% pour les particules de la dimension la plus pénétrante à la vitesse spécifiée (MPPS). La dimension des particules les plus pénétrantes est, par définition, le diamètre des particules pour lequel la pénétration dans l'élément est la plus élevée.

Filtration des locaux au sein des installations nucléaires

La figure 35 évoque les emplacements potentiels de filtres constitués de fibres de verre à usage spécial dans la ventilation d'installations nucléaires.

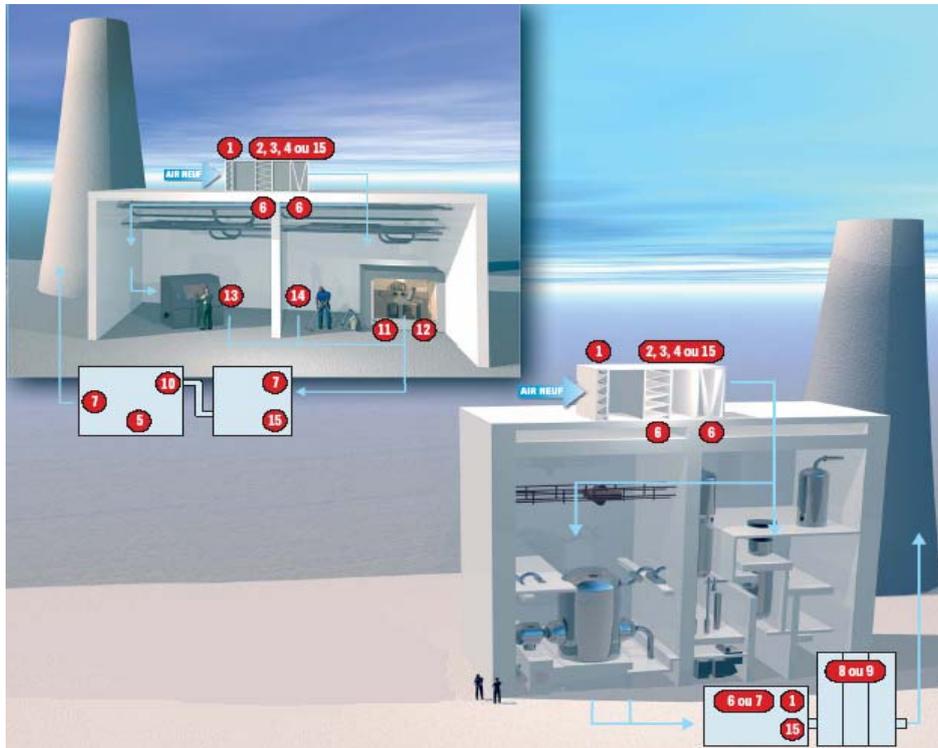


Figure N°35 : illustration de la localisation éventuelle de filtres à très haute efficacité au sein d'une installation nucléaire (Camfil Farr, 2006)

Des médias de filtration non tissés sont utilisés pour la filtration THE des particules radioactives. L'emploi dans les centrales nucléaires constitue la première application des fibres de verre à usage spécial dans la filtration à la fin des années 1950 avant de s'élargir à la ventilation générale et professionnelle. Ces filtres sont connus sous le nom de filtres HEPA, ULPA, EU 10 – 13, EN1822 et S3. Ces filtres assurent la capture dans les circuits de ventilation des radionucléides émis pendant la génération d'énergie nucléaire et empêchent leur dégagement dans l'environnement. Cette application requiert des niveaux élevés d'efficacité, de résistance à la température et au feu et seules des fibres de verre à usage spécial peuvent satisfaire aux conditions spécifiées par les organismes de sécurité.

L'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a été sollicité sur la question de la filtration dans les installations impliquant de la radioactivité.

La filtration de l'air dans l'industrie nucléaire doit répondre d'abord à des objectifs de protection des travailleurs et de l'environnement. Les secteurs concernés sont les centrales nucléaires, les laboratoires de recherche et les usines pour le cycle du combustible nucléaire.

Ces filtres sont utilisés pour la protection des travailleurs contre les rayonnements ionisants (contamination particulaire radioactive) : filtres à l'entrée et l'extraction d'air des boîtes à gants (séparateurs aérauliques), aspiration de l'air dans les locaux contaminés et la filtration de l'air à la sortie des locaux contaminés (l'implantation dépend de la contamination des locaux). La filtration concerne également la protection de l'environnement avec des filtres

localisés au niveau de l'extraction de l'air dans la ventilation des bâtiments et de l'ensemble des installations nucléaires (à tous les étages, ou niveaux de filtration).

Tous les filtres sont contrôlés annuellement et sont remplacés lorsqu'ils ne respectent pas leurs exigences initiales. Sur des installations anciennes, le changement de filtres s'effectue tous les 5 à 15 ans. Si on prend l'exemple d'une centrale nucléaire d'EDF qui doit comporter environ 150 filtres ; sur une moyenne de 10 ans, le renouvellement annuel concerne 10 % des filtres. On peut ainsi estimer qu'une centrale nucléaire change 15 filtres par an, en comptant le nombre de centrales (environ une soixantaine), cela fait 900 filtres changés annuellement.

Les filtres utilisés pour la protection des travailleurs sont accessibles en fonctionnement normal. Certains masques de protection susceptibles de contenir des fibres de verre à usage spécial sont manipulés normalement. Les filtres THE pour la filtration de l'air ne sont par contre manipulés que lorsqu'ils sont changés (maintenance...). Les intervenants ne portent une protection respiratoire que si les filtres sont contaminés par la radioactivité ou susceptibles de l'être.

EDF, consultée lors de cette étude, précise que le Pôle Toxicologie du Service Central d'Appui en Santé au Travail n'a eu à traiter aucune demande concernant les fibres de verre à usage spécial.

Filtration des salles propres au sein des laboratoires pharmaceutiques

Le développement et la production de médicaments s'effectuent dans un environnement protégé de toute contamination externe ou interne entre les processus. Cette protection est assurée par des filtres THE. Certains processus de stérilisation des dispositifs d'injection sont également protégés par des filtres THE. Seules les fibres de verre à usage spécial résistent aux températures élevées des tunnels de stérilisation.

La figure 36, à l'aide de puces, évoque la localisation éventuelle des filtres constitués de fibres de verre à usage spécial dans la filtration haute efficacité des salles propres.

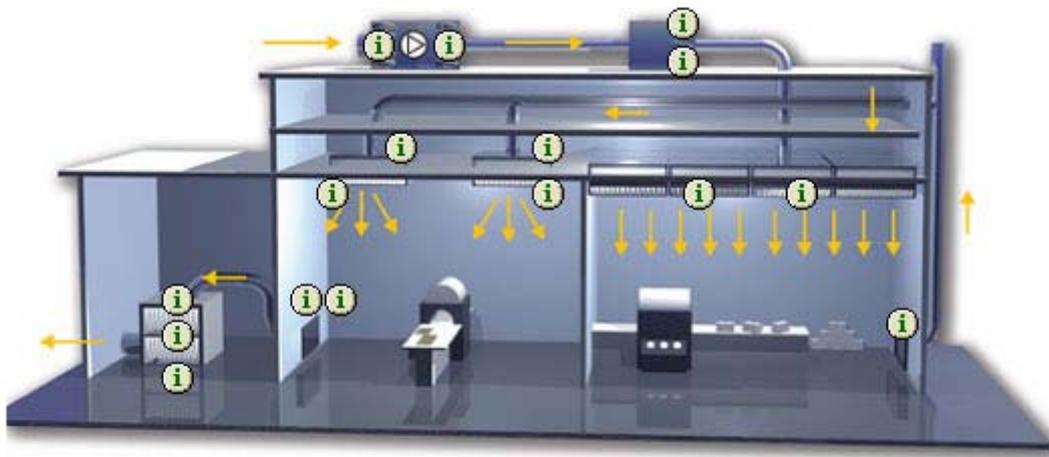


Figure N°36 : illustration de la localisation éventuelle de filtres à très haute efficacité pour la filtration des salles propres (Camfil Farr, 2006)

Filtration pour la recherche et la production en laboratoire

Les filtres à base de fibres de verre à usage spécial sont utilisés dans les laboratoires d'étude des virus (P3 et P4). Les filtres THE sont utilisés pour isoler les virus à l'intérieur des laboratoires et éviter leur dissémination. De plus, les filtres constitués de fibres de verre à usage spécial servent à la filtration quantitative en laboratoire, par exemple pour la surveillance de la pollution de l'air, pour le prélèvement d'échantillons d'air et pour l'analyse de la pollution de l'eau.

Filtration pour la protection du personnel militaire

Les militaires sont équipés sur le terrain de masques munis de filtres THE. Sans ces équipements, les soldats ne seraient pas protégés contre les agents particuliers utilisés au combat. A noter que les avions militaires contiennent également des filtres THE de recirculation d'air pour les compartiments.

Filtration pour les opérations agroalimentaires

Les salles propres de développement de produits agroalimentaires demandent un air ultra pur afin de satisfaire aux exigences sanitaires. Plusieurs barrières de filtration THE assurent l'absence de contamination par des agents extérieurs.

La figure 37 propose la localisation éventuelle de filtres constitués de fibres de verre à usage spécial lors d'opérations agroalimentaires.



Figure N°37 : illustration de la localisation éventuelle de filtres à très haute efficacité pour la filtration lors d'opérations agroalimentaires (Camfil Farr, 2006)

Filtration pour les salles blanches industrielles

La microélectronique, la photographie, l'aérospatiale ou les nanotechnologies sont, à titre d'exemple, des secteurs dans lesquels plusieurs barrières de filtration THE permettent d'éliminer toute contamination possible des processus de fabrication ultra propres qui pourrait contaminer et induire des défauts dans les produits finis.

La figure 38 indique l'emplacement éventuel des filtres THE dans une salle blanche industrielle.

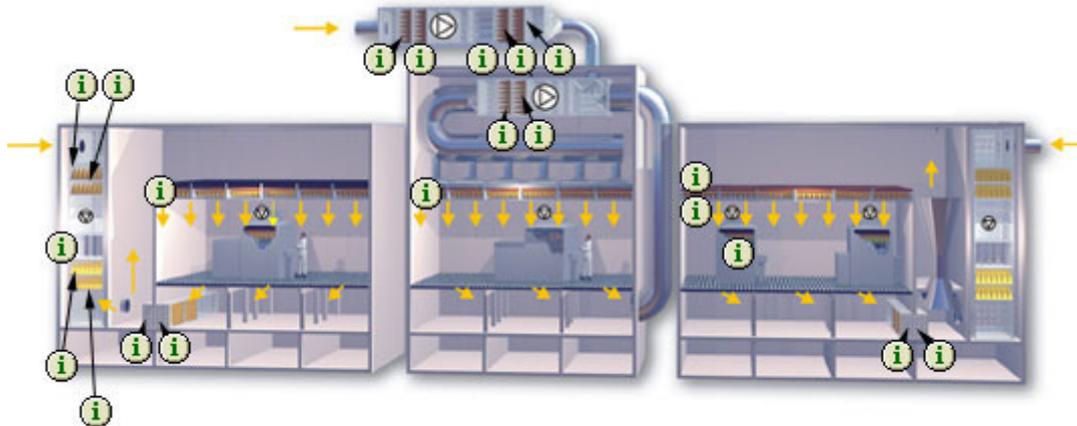


Figure N°38 : illustration de la localisation éventuelle de filtres à très haute efficacité pour la filtration des salles blanches industrielles (Camfil Farr, 2006)

Filtration pour les tunnels de peinture de l'industrie automobile

Après application de la peinture, les voitures et les camions doivent être séchés à haute température (250-300 °C). Des filtres constitués d'éléments contenant des fibres de verre à usage spécial procurent l'air pur nécessaire à cette application et, par conséquent, évitent des défauts de peinture en retenant toutes particules.

De même, la figure 39 présente la position éventuelle de ces filtres sur une chaîne d'assemblage automobile.

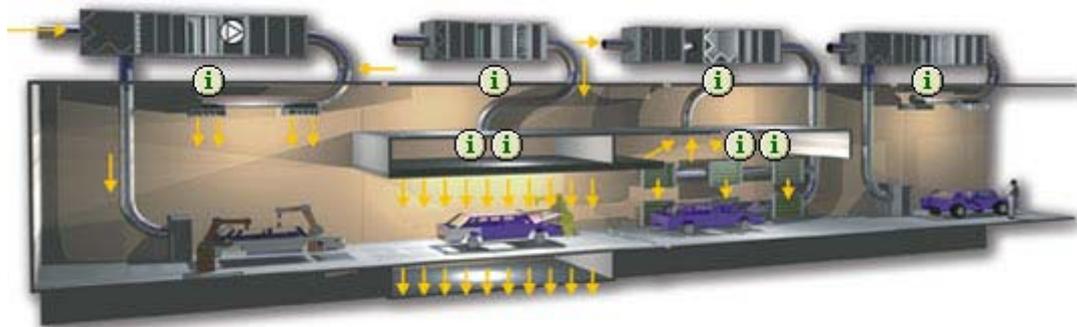


Figure N°39 : illustration de la localisation éventuelle de filtres à très haute efficacité pour la filtration des tunnels de peinture dans l'industrie automobile (Camfil Farr, 2006)

Autres applications

La figure 40 illustre la localisation des filtres à THE dans une turbine à gaz.

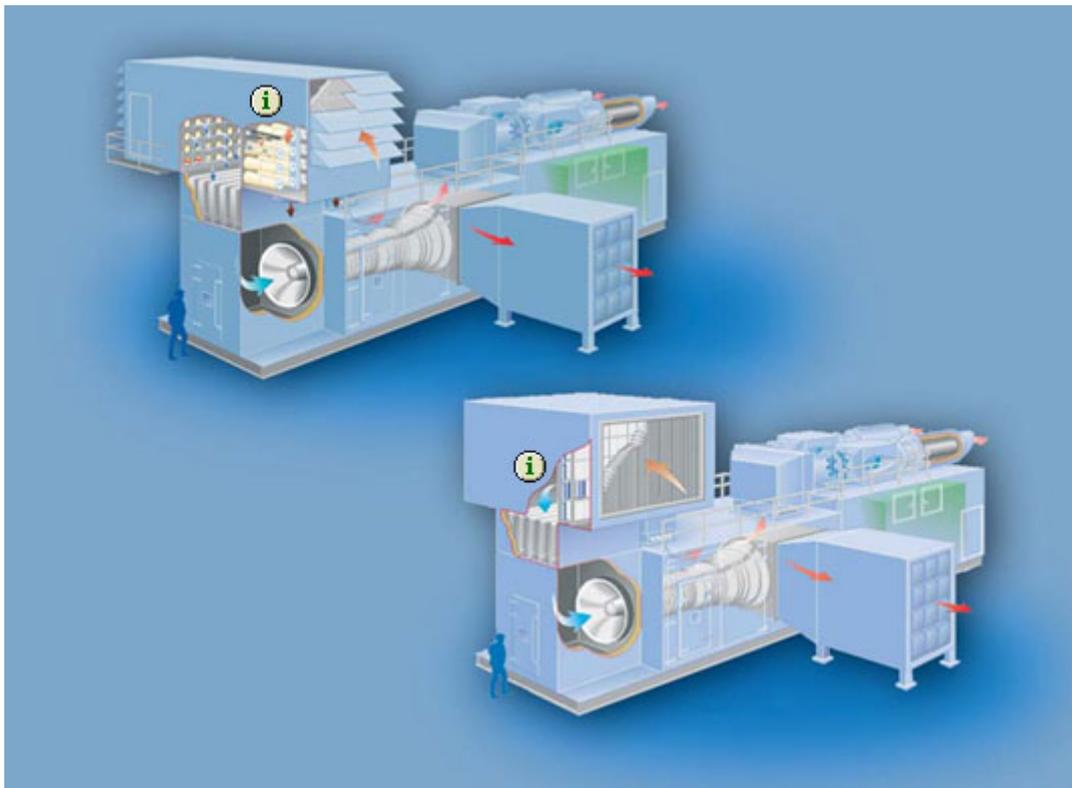


Figure N°40 : illustration de la localisation éventuelle de filtres à très haute efficacité dans une turbine à gaz (Camfil Farr, 2006)

Applications domestiques concernant les filtres pour aspirateurs et les épurateurs d'air

Les petits filtres secondaires spéciaux (High Efficiency Particulate Air - HEPA H13) inclus dans les aspirateurs et épurateurs d'air contiennent des éléments liés de fibres de verre à usage spécial. Les filtres à sac primaires de ces appareils ne disposent que d'un bas rendement de filtration des moisissures et particules fines. Les filtres secondaires à base de fibres de verre à usage spécial apparaissent essentiels pour réduire la remise en suspension de ces moisissures et fines particules susceptibles de contribuer aux problèmes respiratoires et à l'asthme. Le filtre secondaire associé au filtre primaire piège jusqu'à 99,95 % des poussières, allergènes, pollens et autres particules. Ces filtres contiennent des éléments traités avec des liants limitant ainsi le détachement de fibres respirables.

Camfil Farr confirme les applications citées précédemment et estime que les ventes annuelles et actuelles de filtres constituées de fibres de verre à usage spécial de type 475 s'élèvent entre 600 000 et 800 000 au niveau national.

Le renouvellement de ces filtres reste variable et le dernier filtre absolu à très haute efficacité constituant la dernière barrière peut rester en place entre 5 ou 10 ans pour des raisons de sécurité. Cependant, la filtration à très haute efficacité implique une succession de filtres de plus en plus efficaces et, dans ce cas, le taux de remplacement s'accroît inversement au niveau d'efficacité du filtre. Ainsi, les premiers filtres les moins efficaces sont les plus renouvelés.

Les utilisateurs des filtres à THE susceptibles de contenir des fibres de verre à usage spécial ignorent également la nature des fibres incluses dans leurs équipements. De même que sur le cadre de filtration, il y a peu d'information concernant la composition des filtres même si

sur les catalogues, certains vendeurs mettent en avant les excellentes aptitudes de filtration des fibres de verre à usage spécial.

5.2.3 Filtration liquide

La filtration liquide haute performance nécessite des médias filtrants résistants à la chaleur (les fibres organiques ne conviennent pas), flexibles et compressibles, notamment pour les applications :

Huile et carburant de véhicules roulants ou autres

Les fibres de verre à usage spécial entrent dans la composition des filtres coalesceurs destinés principalement à l'élimination de l'eau du carburant (séparation eau / huile) et la séparation de l'huile et/ou de l'eau de l'air comprimé (séparation gaz / liquide). Ces filtres techniques peuvent être utilisés dans la filtration de machines d'usinage, de rejet de pompe à vide ou dans la ventilation de carter d'huile sur les moteurs thermiques, les alternateurs, les compresseurs, les compresseurs / réfrigérateurs...

Les déshuileurs à filtre coalesceur permettent de réduire l'encrassement des filtres à air des moteurs diesel en retenant les vapeurs d'eau. Les éléments pliés constitutifs du filtre contiennent des fibres de verre à usage spécial sous forme de papier imprégné, dans certains cas, avec une résine phénolique afin de résister à la pression et les vibrations.

Industrie pharmaceutique et analyse chimique

Les fibres de verre à usage spécial connaissent de nombreuses applications dans l'analyse chimique notamment en raison de leur capacité à retenir de petites particules au sein d'un filtrat dense. Ces caractéristiques apparaissent indispensables pour les liquides concentrés et les substances gélatineuses. Ces médias filtrants peuvent servir de pré-filtre accompagnant une membrane filtrante notamment pour les filtrats problématiques comme le sérum.

D'autres applications concernent la filtration de fluides hydrauliques, dans l'agro-alimentaire et le traitement de purification de l'eau, l'analyse des eaux usées ou polluées, la filtration de protéines ou de solvants, l'analyse des eaux usées ou polluées, l'analyse expérimentale (comptage de cellules, échantillons de chromatographie, test radio-immunologique....).

5.2.4 Séparateur de batteries

Contrairement aux tendances évoquées lors des auditions, le rapport de TIMA (1991) indique que le marché principal des fibres de verre à usage spécial réside dans la production de médias séparateurs de batterie. Les fibres de verre choisies résistent à l'acide. Le média assure une séparation physique entre les plaques positives et négatives, filtre les impuretés et permet à l'électrolyte sous forme d'acide sulfurique de passer à travers le média afin de produire une charge électrique. Le CIRC (2002) suggère également que le marché principal des fibres de verre à usage spécial concerne les séparateurs dans les batteries. Le composant principal de ces médias est une fibre de verre borosilicate résistant à l'acide avec un diamètre moyen s'échelonnant entre 0,75 et 3 µm.

Les fibres de verre à usage spécial répondent positivement à toutes les spécifications requises. Elles jouent le rôle d'un matériel inerte assurant l'isolation des plaques de la batterie. Deuxièmement, le média à base de fibres de verre résiste à la décomposition pouvant être provoqué par l'acide et maintient leur intégrité. De plus, les fibres présentent une certaine souplesse capable d'absorber les contractions et expansions de volume issues du changement d'état lors de la réaction d'oxydoréduction. Enfin, étant donné leur faible diamètre, les fibres de verre à usage spécial filtrent et accumulent les particules. La présence de ce média empêche les particules d'oxydes de plomb de former, de manière

dendritique, un pont entre les deux plaques causant une défaillance de la batterie. Le filtre retient l'oxyde de plomb et prolonge ainsi le fonctionnement de la batterie (TIMA, 1991).

Il existe une multitude de types de batteries connues pour deux applications majeures dans le démarrage des véhicules et les batteries industrielles en traction manutention ou stationnaire. Les batteries se classent principalement en batteries dites 'ouvertes' et les batteries dites 'étanches'.

Les batteries 'ouvertes' contiennent de l'électrolyte liquide. L'électrolyte existe sous forme liquide ou en gel afin d'emprisonner les émissions gazeuses (principalement en cas de surcharge). Dans la batterie étanche, l'électrolyte est généralement gélifié (la batterie gel) ou absorbé en matière microporeuse (la batterie AGM, Absorbent Glass Mat).

Dans le cas d'une batterie ouverte il est normal qu'un bouillonnement apparaisse en fin de charge. Il s'agit de gaz hydrogène et oxygène qui se dégagent. Dans le cas des batteries étanches, l'oxygène gazeux se formant sur les plaques positives, se déplace vers les plaques négatives, où, après une réaction chimique complexe, il se combine à nouveau à l'hydrogène pour redevenir de l'eau. Il n'y a pratiquement pas de gaz qui s'échappe de la batterie sauf lorsque la tension et le courant de charge sont trop élevés. Le gaz s'échappe alors par une soupape de sécurité. C'est pourquoi les batteries étanches sont aussi appelées VRLA (Valve Regulated Lead Acid). Les batteries dites étanches ne le sont donc pas vraiment. Si, suite à une surcharge, il y a régulièrement du gaz qui s'échappe de la batterie étanche, l'électrolyte se dessèchera et la batterie deviendra inutilisable.

La technologie VRLA (Valve Regulated Lead Acid) supprime toute contrainte en matière d'entretien et tout risque de fuite d'acide ou de gaz. Les modèles disponibles sont de type AGM et Gel. Avec une résistance interne très faible, les batteries AGM conviennent particulièrement aux applications à forts courants de décharge sans présenter de fortes chutes de tension. Fabriquées selon les normes de qualité ISO 9002, ces batteries sont conformes aux spécifications CE et UL.

Pendant toute leur durée de vie, les batteries de traction VRLA, composées d'éléments ou sous forme de monoblocs, n'ont pas besoin d'être alimentées en eau et ne nécessitent, par conséquent, aucun entretien. Comparées aux batteries plomb ouvert, la production de gaz oxygène et hydrogène, en conditions normales d'utilisation, est très faible et ces gaz sont évacués à travers une soupape de non-retour empêchant l'air de pénétrer. Cette conception a pour objectif d'éliminer tout risque de fuite d'électrolyte acide au sein de l'aire de travail. De plus, aucun équipement de ventilation n'est nécessaire au sein de la zone de charge afin d'éviter l'accumulation de gaz hydrogène. Les techniques de charge étant plus efficaces, le coût en électricité des batteries de traction VRLA est habituellement moins élevé que celui des batteries traditionnelles plomb ouvert. En revanche, les batteries de traction VRLA requièrent des pièces, des matériaux et des traitements plus nombreux et plus coûteux. Pour une durée de vie d'un bon niveau, la charge optimisée fait appel à un courant de charge à commande électronique avec un contrôle d'algorithme plus complexe que pour les batteries plomb ouvert. Les coûts de fabrication des batteries de traction VRLA et de leurs chargeurs sont plus importants que ceux des produits plomb ouvert.

La batterie gélifiée (VRLA)

Ici, l'électrolyte est immobilisé sous forme de gel. Cette batterie est très connue sous le nom Sonnenschein Dryfit A200, Sportline ou Exide Prevalier. En effet, l'électrolyte, sous forme de gel, permet d'immobiliser les gaz produits (O_2 et H_2) afin de pouvoir les redissoudre au prochain cycle. Les batteries VRLA ont une résistance aux fuites exceptionnelle et peuvent être utilisées dans toutes les positions. Les batteries VRLA sont sans entretien à vie. Les batteries Gel ont en général une durée de vie plus longue et une meilleure capacité de cyclage que les batteries AGM.

La batterie AGM (VRLA)

Dans une batterie AGM, les porteurs de charge, les ions hydrogènes (H₂) et les ions sulfate (SO₄), se déplacent plus facilement entre les plaques que dans une batterie gel. C'est pourquoi une batterie AGM est plus adaptée pour fournir un courant très élevé de courte durée. AGM est l'abréviation de Absorbent Glass Mat. Dans ces batteries, l'électrolyte est absorbé par capillarité dans une natte en fibre de verre à usage spécial placée entre les plaques. Les batteries AGM sont plus aptes à fournir des courants très élevés pendant de courtes durées (démarrage) que les batteries Gel. La batterie AGM se définit par une faible résistance électrique interne. Ceci, associé à une migration rapide de l'acide, conduit la batterie à délivrer et absorber un taux d'ampères supérieur aux autres types de batteries.

Les cellules VRLA ont été introduites dans les années 1970. Dès lors, le concept de batteries VRLA a été développé au travers de nombreux produits notamment le marché des portables, de la mise en veille et les batteries automobiles plomb / acide (RPA, 2006). La membrane produite à partir de fibres de verre à usage spécial présentent de multiples avantages ; notamment une porosité élevée absorbant un large volume d'acide, un faible diamètre pour les pores, une résistance chimique élevée, une force de tension élevée, un faible contenu en métaux...

La composition des fibres présentes dans le séparateur est restée constante au cours des 25 dernières années. Dans la plupart des cas, le verre C ou 253 semble privilégié pour la production des fibres destinées à cet usage. En effet, un léger changement dans la composition influence de manière non négligeable la quantité perdue d'acide. Cependant, avec la multiplication des fabricants, la composition à partir du verre C n'est pas garantie, ceci conduisant, par voie de conséquence, à une diminution des performances de la batterie à long terme.

Les applications de batteries AGM constituées de fibres de verre à usage spécial incluent, entre autre :

- Les batteries en démarrage notamment pour les camions et les véhicules électriques ;
- Les batteries de lampe de poche ;
- Les batteries d'alimentation sans interruption pour les ordinateurs ;
- Les batteries de prothèse auditive ;
- Les batteries de mise en veille ou de niveau de chargement pour des applications électriques et téléphones ;
- Les batteries stationnaires employées pour une sauvegarde en cas de coupure secteur dans les systèmes de télécommunication, d'énergie électrique (centrales électriques, nucléaires, panneaux solaires et éoliennes), de source d'énergie ininterrompue, système de protection et de déclenchement incendie, de matériel militaire, de contrôle du réseau ferroviaire, d'équipement mobile de mesures, les centrales informatiques dans les salles de contrôle...

Franbat, syndicat français représentant les producteurs de batteries au plomb, souligne que ces batteries servent principalement d'équipement de secours dans les industries du tertiaire (banque,...), de la santé (salles de soin,...) ou de l'industrie (raffinerie). Les applications restent majoritairement industrielles ou professionnelles.

Concernant le marché des batteries automobiles (de loin, le segment commercial le plus important), la séparation à base de fibres de verre à usage spécial reste très limitée (au total, moins de 1 % des batteries automobiles), notamment en raison du coût (RPA, 2006).

Franbat indique que les fabricants de batteries AGM s'approvisionnent auprès des fabricants de médias de fibres de verre à usage spécial, reçoivent le séparateur qu'ils découpent éventuellement à la taille souhaitée et l'insèrent dans la batterie. Les quantités annuelles actuelles s'élèvent à 450 tonnes. Franbat souligne que les batteries stationnaires constituent 80 % des commandes réalisées auprès de leurs adhérents.

Piles et accumulateurs

Pour les autres types de batteries, le marché est divers et d'applications très spécifiques. Saft, entreprise spécialisée dans la fabrication des piles et accumulateurs de haute technologie pour applications industrielles spéciales, explique qu'elle met en œuvre douze technologies de piles et d'accumulateurs, chacune destinée à un segment particulier d'utilisation. L'une d'entre elles est la technologie des piles primaires au lithium (différentes des piles secondaires -ou accumulateurs rechargeables-), et plus particulièrement la sous-famille des Li-SOCl₂. Cette technologie particulière utilise les séparateurs à base de fibres de verre à usage spécial. Diverses compositions de verre sont utilisées ; les type 253, type E et type C. La masse du séparateur rapportée à la masse de la pile est usuellement inférieure à 1 %, avec des pics à 3 % pour certains modèles particuliers. Saft estime que les quantités de séparateurs utilisant ces fibres de verre spéciales restent faibles : quelques tonnes par an dont la moitié de type E. La tendance est en progression modérée et irrégulière.

Le marché paraît donc anecdotique pour cette application (quelques dizaines de tonnes en France en comparaison aux 30 000 tonnes pour les piles et accumulateurs grand public, et environ 170 000 tonnes pour les batteries industrielles et automobiles au plomb) et concerne :

- Des applications militaires (près de la moitié du segment) : systèmes de communication portatifs ; systèmes de vision nocturne ; systèmes de positionnement et de suivi de matériels militaires,
- Des applications de suivi d'équipements (asset tracking) : suivi de positionnement et de garantie de la sécurité des containers maritimes (fonctions d'enregistrement des ouvertures, des passages dans les portiques d'analyse et de détection de substances dangereuses...) ; suivi de la position de matériels ferroviaires, de flottes de camions, de véhicules de transport de fonds...
- Des applications de péage électronique : péage autoroutier par détection à distance pour flottes de camions,
- Les compteurs électroniques : compteurs eau, gaz, électricité...permettant la numérisation des informations et le relevé à distance.

Ces piles au lithium délivrent un petit courant pendant une période longue (parfois 10 ans). Les produits Saft ne sont pas mis en vente auprès du grand public, ils sont mis en œuvre dans des équipements utilisés et/ou entretenus par des professionnels ou des industriels. L'accessibilité est donc réduite voire nulle. Le produit est clos, serti et incorporé dans l'équipement.

Selon les industriels auditionnés, l'exposition aux fibres de verre à usage spécial lors de la production et le démantèlement des batteries au plomb reste limitée en raison des mesures de précaution et des prescriptions applicables aux poussières de plomb. Ainsi, les travailleurs semblent protéger par des équipements de protection initialement prévus pour le plomb mais limitant par conséquent l'accessibilité et l'exposition à ces fibres. Saft souligne que les piles au lithium de taille réduite ne sont pas ouvertes lors de leur élimination mais l'intégralité de la batterie est dirigée vers une filière où le produit fini est fondu.

Saft et Franbat soulignent que les importations et les exportations de piles et d'accumulateurs inclus dans des équipements complets (informatique...) sont importantes. A

titre d'exemple, les piles au lithium passent les frontières incorporées dans les équipements et ne sont pas identifiées comme telles par les services des douanes ou les statistiques du commerce international. Par conséquent, l'exposition sur le territoire peut être contrôlée mais des mesures limitant l'usage des fibres de verre à usage spécial doivent se prendre *a minima* au niveau européen car ces fibres sont diluées dans le produit fini et il apparaît complexe de contrôler la composition exacte de tous les constituants associés dans la structure du produit.

Nouvelles applications pour les produits contenant des fibres de verre à usage spécial

De nouveaux séparateurs VRLA sont mis au point en combinant les propriétés des fibres de verre à usage spécial avec la résistance physique de fibres synthétiques.

5.2.5 Renforcement pour les applications aéronautiques

Les fibres de verre à usage spécial sont utilisées pour le remplissage et le renforcement de l'isolation microporeuse nécessaire dans les enregistreurs de données de vol des avions, de l'isolation des moteurs et d'autres équipements sensibles à la chaleur, éventuellement les véhicules spatiaux ou les missiles.

Seuls deux adhérents du GIFAS ont répondu aux sollicitations de l'Afsset. Au vu des résultats, l'entreprise impliquée dans la propulsion et les équipements aéronautiques et spatiaux semble utiliser des fibres de verre à usage spécial mais les quantités et la localisation restent imprécises.

5.2.6 Isolation des avions

Des matelas et des feutres de fibres de verre à usage spécial sont utilisés afin d'isoler les conduits d'air chaud de moteurs d'avions commerciaux ou militaires ainsi que pour l'isolation thermique des fusées et des véhicules spatiaux.

Les fibres de verre à usage spécial employées dans l'isolation des avions et des véhicules spatiaux présentent une masse pondérale faible et une haute efficacité. Les matériaux se composent de fibres définies par un diamètre moyen s'échelonnant de 0,6 – 0,7 μm à 4 μm . La densité du produit varie entre 0,01 et 0,2 g/cm^3 . Dans les avions commerciaux, les fibres de verre à usage spécial sont employées principalement sous forme de nappes installées sur le cadre extérieur afin d'assurer l'isolation thermique primaire du fuselage et une barrière acoustique pour l'appareil. Ces nappes se composent typiquement de nappes de fibres définies par un diamètre entre 1 et 1,5 μm liées avec un polymère hydrophobe comme la silicone afin de limiter l'absorption et la rétention de moisissures issues de la condensation produite lors des changements d'altitude. Les fibres de verre à usage spécial peuvent également être utilisées en tant que formes moulées destinées à l'isolation thermique et acoustique à l'intérieur de la structure de l'appareil et dans des applications spécifiques ; notamment le système d'échappement. Aucune information n'est connue sur les méthodes d'installation (vissage, colle..), la maintenance de l'isolation et le démantèlement des avions.

Dans les véhicules spatiaux, des feutres et des nappes de fibres, définies par un diamètre moyen compris entre 1 et 1,5 μm et enrichis en silice, sont employés comme isolation et protection de surface pour les parties de l'appareil soumises à une température élevée lors de la réentrée dans l'atmosphère (TIMA, 1991).

5.2.7 *Autres applications*

D'autres applications anecdotiques ont été identifiées à travers la littérature ; notamment pour certains masques à usage personnel, des filtres destinés à des fours ou dans le renforcement des plastiques (moteur électrique). Les fibres peuvent être utilisées comme voile de revêtement dans les produits plastiques soumis à un environnement corrosif tel que les tuyaux, les réservoirs ou les cuves. De nouvelles applications semblent émerger dans les matériaux de friction, l'isolation cryogénique, les adhésifs ou les retardeurs de flamme (RPA, 2006). Cependant, il est difficile d'indiquer si ces applications se limitent au marché des Etats-Unis ou s'étendent à tous les continents.

Certains produits à base de fibres de verre à usage spécial, définies par des diamètres moyens inférieurs à 3 µm, sont utilisés sous forme de nappes dans des applications restreintes par l'espace et nécessitant une efficacité pour des températures relativement élevées. Ces produits contiennent des résines limitant leur dégradation à ces températures et la libération de fumées toxiques. Les applications concernent l'isolation cryogénique ou l'isolation électrique et acoustique dans certains appareils mécaniques industriels (TIMA, 1991).

Concernant les fibres de verre à usage spécial à ce jour, le CSHPF souligne, qu'à sa connaissance, aucune information ne laisse penser à l'utilisation de ces fibres dans la construction. Ce produit n'est pas explicitement repéré parmi les produits évalués par le CSTB (CSHPF, 2003).

5.2.7.1 Utilisation selon leur présentation

Les présentations des fibres de verre à usage spécial restent limitées et dépendent explicitement de leurs applications.

Concernant la fabrication de médias filtrants, dans la grande majorité des cas, les fibres de verre à usage spécial sont converties en feuilles ou en matelas non tissés par un processus de fabrication par voie humide. Les fibres sont ainsi entraînées dans l'eau en éliminant largement les émissions dans l'air. Des liants sont ajoutés à la plupart des produits afin d'assurer une cohésion entre les fibres et éviter leur détachement. De plus, les matelas ou feuilles destinés aux produits de filtration sont tenus par des cadres ou des structures assurant une utilisation prolongée. Les filtres de laboratoire font appel à des disques de fibres de verre de divers diamètres placés dans des boîtiers.

Les intervenants dans la fabrication, afin d'être sûrs que les niveaux d'exposition se situent en dessous des normes, portent des équipements personnels de protection (généralement des masques filtrants), mais ce point n'a pas pu être vérifié.

L'isolation des avions emploie des feutres ou matelas non tissés installés dans les moteurs avant leur scellement et leur montage sur l'appareil. Ces produits sont composés d'un matelas non tissé et d'un liant adhésif. Les fibres de verre à usage spécial sont maintenues en place dans cette matrice.

Enfin, concernant les séparateurs de batteries, les fibres de verre à usage spécial se présentent sous la forme d'une fine couche de mat assurant ainsi une séparation stricte entre les deux plaques.

5.2.8 Accessibilité et moyens de repérage de ces fibres

5.2.8.1 Accessibilité, comportement des produits en service et vieillissement des filtres

La production de fibres de verre à usage spécial ne concerne pas la France. Pour la fabrication des médias filtrants, Bernard Dumas indique que les deux étapes nécessitant des précautions sont la manipulation des fibres en vrac avant le mélange humide (travail dans un cuvier sous dépression) et la découpe finale dont les rebuts sont également aspirés par dépression.

Les producteurs de filtres ou de séparateurs de batteries manipulent les médias composés de fibres de verre à usage spécial maintenues par des liants. Ainsi, les médias filtrés sont manipulés sur les postes de plisseuse, d'assemblage et de dépose du joint.

Concernant les entreprises et les applications en aval, les producteurs assurent que tous les produits contenant des fibres de verre à usage spécial de type 475 sont liés par une matrice et incluent généralement des liants inhibant la libération de fibres. La diffusion des fibres de verre à usage spécial dans l'environnement est empêchée par le traitement intensif qu'elles ont déjà subi, par l'addition de liants et par la conception spécifique des filtres destinés à piéger les particules et les fibres. Les appareils de filtration sont soumis à des essais de qualification agressifs faisant appel à de l'air à grande vitesse pour éviter toute détérioration lors de l'utilisation. Par ailleurs, les fibres de type 475 utilisées pour les filtres secondaires des aspirateurs sont conçues pour filtrer les particules et les fibres, tenues dans des cadres pour accroître leur durabilité et contiennent des liants. Au fur et à mesure de leur accumulation sur les filtres, les particules de poussière s'incorporent à la matrice favorisant d'autant plus la cohésion entre les particules et les fibres.

De manière générale, il existe peu de données dans la littérature sur le vieillissement de ces produits notamment en cas de maintenance irrégulière dans les applications générales ou suite à une dégradation inopportune. Les filtres seraient ainsi susceptibles de libérer des fibres de verre à usage spécial dans la ventilation.

Certaines publications, incluant notamment des articles scientifiques (Esmen *et al*, 1980) ou techniques (Saether, 1992), ont démontré l'émission de fibres par les systèmes de ventilation comportant des filtres constitués de fibres de verre à usage spécial. Christensson et Krantz (1994) ont réalisé une étude relative à l'émission de fibres provenant de 9 filtres contenant des fibres de verre à usage spécial. Les résultats indiquent que les filtres fins libèrent de très faibles quantités de fibres de verre.

Les résultats sont détaillés dans le tableau LVI. Les fibres semblent, selon les auteurs, principalement libérées durant une période limitée après l'installation du filtre.

Tableau N°LVI : émission de fibres de verre à usage spécial provenant de divers types de filtres (Christensson et Krantz, 1994)

Nom commercial du filtre	Méthode de comptage	Durée du prélèvement (min)	Nombre d'échantillons	Concentration en fibres (f/ml)
HI-CAP 90/35	FAM	103	1	< 0,001
	MOCP	103	1	< 0,0015
Q-Pak 60	FAM	10	1	<0,01
	MOCP	10	1	<0,018
Q-Pak 90	FAM	112	1	<0,001
	MOCP	112	1	<0,0015
Opakfil 1511-12	FAM	100	1	<0,001
	MOCP	100	1	<0,0016
HI-FLO 40-50	FAM	100	1	<0,001
	MOCP	100	1	0,0020
HI FLO F65	FAM	100	1	< 0,001
	MOCP	100	1	< 0,0016
HI-FLO EU8/9 S	FAM	10	3	0,013 – 0,023
	MOCP	10	1	0,042
	FAM	102	1	< 0,001
	MOCP	102	1	0,0052
HI-FLO EU 8/9 C	FAM	10	2	0,015 – 0,021
	MOCP	10	1	0,052

Toutes les mesures ont été réalisées à partir de nouveaux filtres. Tous les résultats et le protocole de l'étude sont détaillés dans la publication.

Les publications mentionnées restent relativement anciennes et ne concernent pas les filtres de nouvelles générations. Cependant, ces résultats indiquent que ces filtres étaient susceptibles de libérer des fibres et, par voie de conséquence, de provoquer une exposition de l'installateur et des personnes à proximité. Les nouveaux filtres notamment testés par Camfil Farr, indiquent des résultats négatifs pour les produits récents. Les autres filtres sont susceptibles de libérer des concentrations de fibres inférieures à 0,002 f/ml.

Concernant les piles au lithium, Saft indique que ces technologies de piles sont localisées au sein d'un godet en acier serti. Aucune maintenance n'est nécessaire (ni possible). L'accès aux fibres est rigoureusement impossible pour le grand public. En production, il n'y a pas de manipulation de séparateurs en fibres de verre à usage spécial par les agents lors des opérations de montage des piles. La seule exposition d'opérateurs aux séparateurs se fait lors du chargement des approvisionnements en séparateurs dans les machines bobineuses (structure de piles bobine) ou spiraleuses (structure de pile spirale). Les machines fonctionnent en mode automatique. Les spiraleuses sont cartérisées avec aspiration. Les bobineuses font actuellement l'objet d'une étude d'investissement pour cartérisation et aspiration.

5.2.8.2 Les moyens de repérage et d'identification des fibres de verre à usage spécial

Les producteurs déclarent qu'aucun code ou marquage visuel n'est disponible pour la personne manipulant ces fibres (production et isolation des aéronefs) ou les filtres et séparateurs de batteries constitués à partir de ces fibres. L'information est générée à travers les fiches de données de sécurité proposées par les producteurs ou les transformateurs en aval pour les matériaux mis en vente à destination des professionnels mais ne concernent pas les articles ou équipement contenant des fibres de verre à usage spécial. Par ailleurs, les professionnels assurant la maintenance de ces filtres spécifiques connaissent surtout les dangers liés aux substances retenues par ces filtres.

Concernant l'isolation ou les autres applications, il n'existe aucun moyen spécifique d'identifier les fibres de verre à usage spécial sous forme de nappes ou de feutres hormis les moyens évoqués précédemment dans le chapitre consacré au repérage des FCR, à savoir :

- Le traçage des filtres utilisés ou du type d'isolation dans un contexte industriel. Par conséquent, la formation et l'information des professionnels paraissent à nouveau capitales. Il n'existe pas de code ou de marquage spécifique indiquant clairement la présence de fibres de verre à usage spécial. Le professionnel doit se référer à la fiche de données de sécurité lorsqu'elle est disponible. Par ailleurs, le consommateur qui éventre un sac d'aspirateur de type HEPA par inadvertance est susceptible de se trouver au contact avec le filtre secondaire constitué de fibres de verre à usage spécial sans aucune information.
- La nature de l'application pour une filtration à haute ou très haute efficacité ou pour certains séparateurs de batteries limite le nombre de choix possibles et oriente les investigations vers une liste restreinte de matériaux dont les fibres de verre à usage spécial
- Enfin, les fibres de verre à usage spécial peuvent être identifiées des autres fibres par analyse physico-chimique (microscopie électronique à transmission, spectroscopie à dispersion d'énergie de rayons X,²¹ et diffraction électronique²²). Ces essais nécessitent qu'un échantillon soit prélevé et envoyé à un laboratoire pour analyse.

5.2.9 *Prise en charge et traitement des déchets contenant des fibres de verre à usage spécial*

Les producteurs de fibres de verre à usage spécial déclarent que la personne manipulant le filtre lors de l'installation, la maintenance ou le retrait n'est pas en contact avec l'élément filtrant placé dans un boîtier et maintenu par des liants. Les articles, dans leur grande majorité, sont utilisés pour des applications industrielles. Les producteurs rappellent que la gestion des déchets de fibres de verre à usage spécial ou de produits contenant des fibres de verre à usage spécial est régie par des règles nationales, régionales et locales strictes applicables aux déchets. Les utilisateurs finaux de produits contenant des fibres de verre à usage spécial sont ainsi invités à consulter les autorités locales pour s'assurer du traitement adéquat de leurs déchets. Ces derniers sont régis par la décision de la Commission 2000/532/CE indiquant leur classification et leur gestion au niveau de l'Union Européenne. Les instructions de mise en décharge sont précisées par ailleurs sur les étiquettes des produits et/ou dans leurs fiches de données et de sécurité (Consortium d'industriels, 2006).

²¹ Les fibres ont des "empreintes" caractéristiques permettant de les distinguer.

²² On utilise la diffraction électronique pour faire la distinction entre les fibres amorphes et les fibres cristallines.

Le traitement des déchets résulte principalement de l'application du produit contenant ces fibres. En effet, l'application conditionne le devenir des fibres, notamment pour les filtres. A titre d'exemple, les filtres à très haute efficacité utilisés dans les laboratoires et destinés à retenir des virus hautement pathogènes nécessitent un traitement spécifique d'élimination. Les producteurs de fibres de verre à usage spécial indiquent que les matières retenues conditionnent, plus que la nature du filtre, le traitement et l'élimination de ces matériaux.

Les filtres assurant la capture des radioéléments obéissent à la réglementation en vigueur. Une catégorie de filtres à usage spécial contenant des radioéléments à vie courte peuvent être stockés en surface après enfutage et compactage. L'IRSN signale que les déchets de faible et moyenne activité à vie courte incluant les blouses, les outils, les filtres... proviennent principalement de l'industrie nucléaire (EDF, Cogéma, CEA) mais aussi de plus de mille petits producteurs comme des laboratoires de recherche, des universités et des hôpitaux qui utilisent la radioactivité. Ils sont stockés en surface au centre de stockage situé dans l'Aube, qui a pris le relais du centre de stockage de la Manche en 1992, aujourd'hui en phase de surveillance.

Les séparateurs de batteries constitués de fibres de verre à usage spécial connaissent un traitement spécifique en raison de la nature des constituants inclus dans une batterie.

Concernant les piles et accumulateurs, Saft explique que les rebuts de fabrication usine sont traités par un procédé d'incinération dans la filière des déchets industriels spéciaux. La température d'incinération (>1100°C) suggère que les fibres de verre voient leurs propriétés altérées. Saft indique que ces fibres finissent enchâssées dans les mâchefers ou prises dans les systèmes de quench et dans les filtres à manche destinés à capter les poussières. Ces mâchefers et les poussières captées sont enfouies en CET, après stabilisation.

Pour ce qui concerne les piles mises sur le marché et arrivant en fin de vie, en application du décret de 1999, ces piles, comme toutes les autres piles et accumulateurs, font l'objet en fin de vie d'une collecte séparée des autres déchets. Elles font alors l'objet d'un recyclage en mélange avec les piles primaires grand public, dans un processus pyrométallurgique visant à recycler les fractions métalliques de ces piles. La température atteinte dans ce type de process est de 1500°C, détruisant ainsi la majorité des fibres de verre, et emprisonnant la matière dégradée dans le laitier. Celui-ci fait l'objet d'un enfouissement en CET.

Les seuls articles grand public sont les filtres secondaires HEPA contenus dans les aspirateurs. Les producteurs déclarent que la matrice maintenue par des liants et placée dans un cadre est incluse dans le filtre primaire. L'ensemble est éliminé par la filière de déchets ménagers.

Aucune information notamment pour des applications autres concernant l'isolation des aéronefs par des nappes ou des feutres n'est disponible en l'absence de réponse des industriels du secteur.

5.3 Produits de substitution

Les producteurs de fibres de verre à usage spécial indiquent qu'ils investissent dans la recherche et le développement de fibres plus biosolubles répondant aux exigences requises dans ces applications technologiques spécifiques. Cependant, à l'heure actuelle, les producteurs suggèrent qu'aucune alternative ne répond aux exigences de rétention et de filtration requises dans ces applications à haute efficacité.

RPA (2006) a toutefois identifié dans la littérature quelques informations concernant des alternatives potentielles. De manière analogue aux FCR, une revue approfondie de la toxicité des alternatives proposées est nécessaire afin de garantir l'absence de toxicité.

5.3.1 Alternatives pour la filtration d'air

Selon la Société de Filtration Allemande, les fibres polymériques dans certaines applications et éventuellement les fibres métalliques peuvent se présenter comme des alternatives. Cependant, l'applicabilité reste à être confirmée.

Une entreprise suggère que les fibres organiques synthétiques de polyéthylène (PE), de polypropylène (PP) et de téflon peuvent se présenter comme des alternatives plausibles dans les médias filtrants utilisés dans les systèmes de chauffage, ventilation et air conditionné avec une durée de vie limitée entre 1 et 3 ans. Techniquement, les performances de ces fibres restent inférieures à celles des fibres de verre à usage spécial, en termes d'efficacité de filtration, bien que leur résistance mécanique soit meilleure.

Les filtres constitués de fibres synthétiques concernent 50 % des filtres à haute efficacité mais à peine 3 à 5 % de filtres pour la filtration THE. L'essor de nouveaux filtres dans la THE est important, principalement au Japon avec l'emploi de nanofibres de téflon (coût élevé en comparaison aux fibres de verre à usage spécial).

La substitution des filtres THE par des média-filtrants recouverts d'un voile de nanofibres a été mise en place dans certains cas mais cela suppose une adaptation de la norme. En effet, le centre de gravité correspondant à la taille de la particule la plus pénétrante s'est déplacé vers les faibles valeurs et les tests de normalisation nécessitent des ajustements afin de comparer les propriétés des filtres à base de fibres de verre ou synthétiques.

Cependant les filtres haute efficacité en fibres de verre à usage spécial semblent garder leur attractivité car ils ont de meilleures propriétés filtrantes, des propriétés de résistance mécanique et au feu et un panel étendu de dimension proposée.

D'après les producteurs, ces nouveaux matériaux présentent un inconvénient majeur pour la filtration à haute efficacité : ils sont rapidement inopérants. Les filtres synthétiques se présentent comme des médias chargés dont l'efficacité initiale diminue assez vite au cours du temps par perte de charge.

Ces alternatives sous forme de polymères, initialement limitées à une filtration primaire, connaissent de plus en plus d'applications dans divers procédés de filtration. Les industriels indiquent, avec l'introduction croissante des nanotechnologies, que ces polymères seront sollicités en conséquence.

Leur toxicité semble inférieure mais sur le plan environnemental, ces fibres sont des dérivés du pétrole.

Une étude de Hesterberg *et al.* (1998) visait à évaluer la toxicité pulmonaire de fibres de polypropylène chez le rat Fisher 344 après 90 jours d'inhalation. Les fibres étudiées avaient un diamètre géométrique moyen de 1,6 μm (46 % < 1 μm) et une longueur géométrique moyenne de 30,3 μm . Les lésions pulmonaires induites chez le rat 90 jours après l'inhalation de fibres de PP ont été comparées à celles induites par l'inhalation de FCR. Les fibres de PP ont produit une augmentation dose-dépendante de la cellularité, mais minime ou limitée et réversible pour les faibles doses (Bignon *et al.*, 2000).

De plus, pour les filtres faisant appel à des nanofibres, la toxicité des éventuelles nanoparticules libérées reste à l'heure actuelle non caractérisée et nécessite des études expérimentales complémentaires.

5.3.2 Alternatives pour la filtration liquide

Les filtres constitués de microfibrilles de Quartz sont souvent utilisés au côté de filtres constitués de fibres de verre à usage spécial. Les filtres à base de microfibrilles de quartz résistent à des températures s'élevant entre 900 et 950 °C, présentent quelques traces

d'impuretés métalliques et se définissent par une excellente stabilité dimensionnelle. Ils peuvent être utilisés pour l'analyse des gaz acides chauffés à haute température.

Les filtres à base de verre et de quartz conviennent pour la mesure et l'analyse de polluants aériens et aqueux, en général comme membrane de préfiltration, et pour la clarification de solutions tampons ou de réactifs, notamment en spectrophotométrie. Les filtres sont disponibles sous forme de disques, timbres ou papiers.

5.3.3 Alternatives pour les séparateurs de batteries

En préambule, il semble nécessaire d'attirer l'attention du lecteur sur la composition des fibres de verre à usage spécial entrant dans la composition des séparateurs de batteries. Au vu des données collectées, les fibres de verre à usage spécial de type 475 ne semblent pas privilégiées dans ces applications contrairement au verre C ou 253 (déclaré moins dangereux sur le plan sanitaire).

Les tendances indiquent que les séparateurs constitués de fibres de verre à usage spécial semblent connaître une utilisation croissante. En effet, le rapport coût / bénéfice reste actuellement à l'avantage de ce type de fibres.

Certaines applications comme le traitement au plasma, la sulfonation ou la greffe d'acide acrylique restent au stade exploratoire. Certains polymères, appropriés pour ces applications, ont une densité proche de 1 et, par conséquent, occupent un espace 2,5 fois supérieur au volume des fibres de verre à usage spécial.

Batterie gel VRLA

Le taux de transfert de l'oxygène à travers l'électrolyte liquide reste faible et, par conséquent, l'acide sulfurique doit être immobilisé dans une structure pourvue d'un pourcentage de volume libre pour le transport des gaz. Deux techniques évoquées précédemment sont disponibles actuellement afin d'immobiliser l'électrolyte :

- L'absorption de l'acide sur un feutre de fibres de verre à usage spécial (batterie AGM) saturé à moins de 100 % pour permettre un transfert de l'oxygène ;
- La formation d'un gel en dispersant 5 à 8 % de silice avec l'acide afin de former un réseau susceptible de se fissurer sous l'action d'une sécheresse partielle pour créer un transfert de gaz.

Dans les deux configurations, le séparateur apparaît l'interface sensible du système. La batterie équipée du gel paraît plus performante pour les cycles longs en raison d'une affinité accrue avec l'acide et, par conséquent, accroît la protection des plaques. D'un autre côté, les batteries de type AGM restent privilégiées pour des applications impliquant un courant ou une énergie élevée et des conditions de températures basses (RPA, 2006).

L'association European Storage Battery Manufacturers (Eurobat), auditionnée par RPA, suggère, qu'à l'heure actuelle, aucune alternative ne répond aux performances proposées par les batteries de type AGM. Les batteries équipées d'un gel peuvent, selon Eurobat, être considérées comme un substitut potentiel mais présentent néanmoins des caractéristiques techniques inférieures. Le gel apparaît un substitut crédible dans quelques applications mais ne produit pas l'énergie requise à long terme pour les applications sensibles de mise en veille ou de sauvegarde. En terme d'usage, la technologie gel a diminué depuis 20 ans au profit de la technologie basée sur les fibres de verre à usage spécial.

Franbat souligne que la technologie exploitant le gel de silice se limite pour des batteries de petite capacité et pour le secours ou pour les batteries de capacité supérieure lorsque la fibre de verre à usage spécial ne peut être utilisée avec les plaques positives tubulaires. Franbat indique qu'il n'existe pas d'alternatives pour les fibres de verre à usage spécial employées dans les batteries à plaques positives planes.

Piles et accumulateurs

Pour Saft, dans la gamme spécifique des batteries au lithium, seules les fibres de verre à usage spécial résistent à la composition de l'électrolyte de manière durable. Les séparateurs à base de polymères sont dégradés par les caractéristiques chimiques de l'électrolyte. La résistance du séparateur à l'électrolyte est d'autant plus délicate que ces deux constituants sont en contact pendant une longue durée de vie ; en effet, les piles primaires au lithium de cette famille sont utilisées essentiellement en applications longue durée (parfois au delà de 15 ans).

Ces piles au lithium présentent les caractéristiques particulières suivantes, manquantes dans les autres technologies de piles :

- Capacité à fournir un courant faible pendant une longue durée, parfois au-delà de 15 ans et capacité à fournir pendant un court laps de temps une forte puissance (ces deux caractéristiques sont généralement peu compatibles),
- Bonne tenue au stockage sans perte d'énergie pendant une longue durée,
- Tension nominale élevée (3,7V) en comparaison avec les autres technologies (environ 1,2V), ce qui permet d'éviter la mise en série de plusieurs éléments pour atteindre la tension de service de l'équipement, et donc de gagner en poids et en volume.

Selon Saft, les caractéristiques spécifiques fournies par ces piles ne peuvent donc pas être correctement assurées par d'autres technologies.

5.3.4 Nouvelles approches

Séparateur polymère microporeux

RPA a identifié un nouveau matériau microporeux constitué de polymères dénommé Amersorb et développé par Amer-Sil SA. Ce séparateur paraît adapté pour les batteries de type AGM en raison de ses propriétés de compression.

Séparateur de polymère et de silice précipitée

Des recherches récentes ont suggéré que de nouveaux séparateurs plissés, composés de silice précipitée et de polymère pur, pourraient être utilisés dans des batteries industrielles plomb / acide. La composition chimique, dépourvue d'additifs, d'huile minérale ou de résine, préserve la pureté chimique du produit.

Ces séparateurs ont pu être testés dans les applications suivantes :

- Les batteries de traction ouvertes utilisées notamment dans les véhicules électriques légers ;
- Les batteries de traction gel récemment développées ;
- Les batteries à usage intensif exploitées dans les appareils monoblocs des trains.

Les experts auditionnés indiquent que les prochaines batteries VRLA gel résulteront d'une hybridation entre les performances proposées par le système gel et la technique AGM. Les batteries de type AGM constituées d'un séparateur en fibres de verre à usage spécial semblent devenir la technologie dominante.

Les séparateurs hybrides combinant les fibres de verre à usage spécial et les fibres organiques synthétiques restent, selon les fabricants de séparateurs de fibres de verre à usage spécial, une évolution probable dans le domaine.

5.3.5 Ampleur de la substitution

Les producteurs soulignent, contrairement aux FCR, l'absence d'alternatives respectant les mêmes caractéristiques et performances que les fibres de verre à usage spécial tant dans l'aérospatiale (capacité d'isolation excellente et faible poids) que dans la filtration à très haute efficacité et comme séparateurs de batteries. Les données restent donc limitées et la tendance relative à l'utilisation des fibres de verre à usage spécial n'est certes pas à la décroissance.

Toutefois, certaines publications suggèrent l'apparition d'autres matériaux pour certaines applications notamment les filtres à haute efficacité avec des parts de marché croissantes au cours des années.

Selon une publication de producteurs de filtres Russel McLeod et Anderson (2003), l'usage des médias synthétiques dans les filtres à manches s'est considérablement accru au cours de ces dernières années. Les auteurs estiment que le marché britannique et européen des médias synthétiques dans les filtres à manches représente presque la moitié du marché. Les filtres à manches sont employés dans le traitement de l'apport des bâtiments en air frais ou en recirculation. Les raisons de cette mutation paraissent multiples et concernent notamment la mise au point au niveau industriel des procédés de fabrication des médias synthétiques, la suspicion d'effets sanitaires relatifs aux fibres de verre à usage spécial et la réduction des fournisseurs de fibres.

Les performances des médias à base de fibres de verre sont bien documentées et démontrent leur efficacité grâce au maillage très fin qui permet de retenir les particules en les agrégeant et, par conséquent, en augmentant de manière parallèle le seuil de rétention. Les fibres synthétiques sont chargées et attirent ainsi les particules. Les médias synthétiques démontrent ainsi une efficacité similaire aux médias à base de fibres de verre. Cependant, l'efficacité diminue en raison d'une atténuation de l'effet de charge au cours du temps suite à l'agrégation des particules sur le filtre. La chute de pression varie d'un produit à un autre et les performances des filtres synthétiques s'avèrent inférieures en raison d'un diamètre supérieur facilitant le passage de l'air.

Les fibres synthétiques se caractérisent par des diamètres s'échelonnant entre 3 et 4 μm , largement supérieurs au diamètre des fibres de verre à usage spécial.

Les filtres à manches synthétiques se caractérisent néanmoins par une résistance physique en raison du faible diamètre des fibres de verre à usage spécial. L'entreprise Mc Leod Russel indique que cette résistance inférieure des filtres à manches constitués de fibres de verre à usage spécial provoque la libération de fibres, notamment suite à l'installation ou suite à des cycles répétés de mise en circulation de l'air et d'arrêt. Les filtres à manches synthétiques se définissent par un coût de production inférieur.

Vaughn et Ramachandran (2002) comparent les médias fibreux non tissés et notamment les filtres produits à partir de fibres de verre à usage spécial ou de fibres synthétiques telles que les fibres de polyester, d'acrylique ou de polyamide. Les auteurs indiquent que les filtres à très haute efficacité sont produits principalement à partir de fibres de verre à usage spécial et plus récemment, l'introduction de fibres plastiques (principalement des fibres de polypropylène) associées à une charge électrostatique. Les tests répondant aux procédures européennes et ASHRAE semblent indiquer une efficacité comparable. Cependant, ces tests de faible durée ne prédisent pas, selon l'auteur, les performances du filtre lors d'une utilisation complète pendant un cycle long. Les médias synthétiques semblent perdre leur efficacité au cours de leur utilisation.

En définitive, les applications de filtration à très haute efficacité et de séparateurs de batteries restent à l'heure actuelle non substituables pour des raisons de performance. En l'absence de données et de réponses de la part des industriels de l'aéronautique et de l'aérospatiale, il est difficile de se prononcer sur d'éventuelles alternatives.

5.4 Evaluation de l'exposition de la population générale et des travailleurs aux fibres de verre à usage spécial

Selon les producteurs, lors de la fabrication des fibres, les concentrations moyennes d'exposition à ces fibres de type 475 sont de l'ordre de 0,6 fibres/cm³ se situant ainsi au dessous de la limite d'exposition admise de 1 fibre/cm³. Cependant ces informations n'ont pas pu être vérifiées. Les concentrations d'exposition chez les fabricants et les installateurs sont plus faibles. Les non-tissés fabriqués à partir de ces fibres sont renforcés par l'addition de liants polymères qui forment une matrice et réduisent le détachement de fibres de verre à usage spécial. Au vu des auditions, les entreprises impliquées dans la production de médias filtrants, Camfil Farr (production de filtres) et Saft (fabrication de piles au lithium) réalisent des mesures destinées à évaluer les niveaux d'exposition aux divers postes de travail.

5.4.1 La base de données EVALUTIL relative à l'évaluation des expositions professionnelles aux fibres d'amiante et aux FMA

Les données restent anecdotiques et la base EVALUTIL recense actuellement 5 documents décrivant des expositions aux fibres de verre à usage spécial (microfibres®) incluant 2 documents provenant de prélèvements de la Cram Ile-de-France, 2 documents provenant d'un article de Corn et Sansone (1974) et 1 document provenant d'un article de Jaffrey (1990).

Concernant la Cram Ile-de-France, il s'agit de mesures d'exposition lors du calorifugeage, avec du papier de fibre de verre à usage spécial, de récipients de cryoconservation en 2001, puis en 2002 après installation d'un captage des émissions. Les résultats soulignent une diminution sensible des expositions grâce à la mise en place d'un captage à la source avec des valeurs pour 2001 de 0,9 f/ml et 0,67 f/ml en MOCP (1 f/ml en MEBA) puis de 0,048 (0,015 à 0,08) f/ml et 0,21 f/ml en MOCP (0,09 f/ml et 0,21 f/ml en MEBA) pour 2002.

Concernant l'étude de Corn et Sansone (1974), les mesures (MOCP) de concentrations en fibres dans l'air dans 3 usines (A, B, C) de production/transformation de fibres de verre (laines, filaments continus, microfibres) sont présentées dans le tableau LVII.

Tableau N°LVII : mesures de concentrations en fibres dans l'air (Corn et Sansone, 1974)

L < 5µm	0,03 f/ml et 0,06 (0,04 à 0,09) f/ml	Prélèvements effectués dans la zone de production de nappes de microfibres de verre
L > 5µm	0,01 f/ml et 0,11 (0,08 à 0,17) f/ml	
L < 5µm	0,1 f/ml (0,05 à 0,19) f/ml	Prélèvements effectués dans la zone de production de matériaux à haute capacité d'isolation à partir de microfibres de verre (certainement de l'usinage)
L > 5µm	0,064 f/ml (0,11 à 1,23) f/ml	

Enfin, l'article de Jaffrey (1990) évoque des concentrations en FMA dans l'air au cours de l'installation de ces matériaux sous diverses formes (nappes, flocons, broyats) dans des greniers (100 mm d'épaisseur en moyenne). Seuls les prélèvements effectués au cours de l'installation ont été retenus.

Les mesures de concentrations en fibres dans l'air au cours de la pose de nappes de *fibres fines de verre* dans les combles ($\varnothing < 3 \mu\text{m}$ et $5 < L < 100 \mu\text{m}$) s'élevaient en individuel à 1,76 f/ml et < 0,001 f/ml en atmosphère ambiante. Ce dernier document semble contestable en raison de l'usage atypique en isolation des combles et, par conséquent, une possible confusion dans le vocabulaire et le type de fibres utilisées.

5.4.2 La base de données COLCHIC

L'exploitation de la base de données COLCHIC a permis d'identifier cinq interventions réalisées entre 2001 et 2006 dans trois établissements utilisant des fibres de verre à usage spécial. Durant ces interventions, 52 mesures de concentration en fibres dans l'air des lieux de travail ont été réalisées par prélèvement individuel (37) ou d'ambiance (15).

La description des activités de ces établissements et le nombre de mesures disponibles figurent dans le tableau LVIII et les statistiques concernant les résultats sont présentées dans le tableau LIX.

Tableau N°LVIII : description des établissements ayant fait l'objet de mesures d'exposition aux fibres de verre à usage spécial

Type d'activité/ établissement	Type de fibre utilisée	Année	Nb mesures	Commentaires
Etablissement 1 Isolation de récipients cryogéniques	Papier Lytherm®	2001	8	Évaluation initiale
		2002	3	Évaluation après modification
Etablissement 2 Fabrication de modules de filtration	Microfibre de verre	2001	13	Évaluation initiale
		2004	8	Évaluation après modification
Etablissement 3 Fabrication de modules d'isolation pour l'aérospatiale	Microlite®AA	2006	20	Évaluation après modification

Tableau N°LIX : résultats des mesures de concentration (en fibres/ml) en fibres de verre à usage spécial dans l'air des lieux de travail

Type de Prélèvement	Nombre de résultats	Durée des prélèvements en min	Moyenne	Moyenne Géométrique	Médiane	Etendue	Centiles		
							25	75	90
Ambiance	15	31-248	0,28	0,15	0,29	0,01-0,9	0,07	0,44	0,51
Individuel	5*	2-19	11,83	2,67	7,2	0,09-36	0,3	20,6	36
	32	67-217	0,49	0,25	0,24	0,03-2,39	0,04	0,53	1,58

* mesures effectuées uniquement dans l'établissement 1 lors de l'évaluation initiale en 2001.

Le faible nombre de résultats archivés dans la base de données COLCHIC est l'indicateur possible d'une faible utilisation des fibres à usage spécial.

Les mesures réalisées dans l'établissement assurant l'isolation de récipients cryogéniques, à l'époque sans précautions particulières, mettent en évidence des expositions ponctuelles, mais fréquentes très élevées pouvant atteindre plusieurs dizaines de fibres par centimètre cube d'air.

La mise en place de dispositifs de captage permet de réduire l'exposition à des niveaux se situant en moyenne entre 0,1 et 0,21 f/cm³ pour les trois établissements visités.

5.4.3 Evaluation de la prévalence de l'exposition professionnelle aux fibres de verre à usage spécial

Comme indiqué dans le paragraphe portant sur l'évaluation de l'exposition aux fibres de céramique réfractaires, la plupart des études épidémiologiques portant sur les FMA ne distingue pas les différents types de fibres. Les seules études présentant des données pour les fibres de verre à usage spécial sont les mêmes que celles qui présentaient des données sur les FCR (Marchand *et al.*, 2000 ; Luce *et al.*, 2002). Dans ces deux études, les expositions ont été évaluées par la même matrice emplois-expositions, qui donne pour chaque emploi la probabilité d'exposition en 4 classes : 0, 1-10 %, 10-50 %, 50-90 % et > 90 %.

Dans l'étude de Marchand *et al.* (2000), sur les 295 témoins de l'étude, 9 (soit 3,05 %) ont une probabilité non nulle d'exposition. Les probabilités d'exposition pour ces 9 sujets ne sont pas détaillées.

Dans l'étude de Luce *et al.* (2002), sur les 2 349 témoins masculins, 35 (soit 1,5 %) ont été exposés aux fibres de verre à usage spécial au cours de leur vie active, quelle que soit la probabilité d'exposition. Chez les femmes, la proportion correspondante d'exposées est de 0,6 % (5/787). La répartition des exposés en fonction de la probabilité d'exposition n'est pas indiquée. Cependant, des données non publiées montrent que sur les 35 témoins masculins exposés, 29 l'étaient avec une probabilité inférieure à 10 % et 6 avec une probabilité comprise entre 10 et 50 %. Si l'on estime qu'en moyenne 5 % (respectivement 30 %) des sujets exposés avec une probabilité inférieure à 10 % (resp. entre 10 et 50 %) sont effectivement exposés, alors la proportion réelle d'exposés chez les hommes n'est que de 0,1 %.

La base de données CAREX et l'enquête Sumer 2003 ne comportent pas de données spécifiques sur les fibres de verre à usage spécial.

5.4.4 Evaluation de l'exposition non professionnelle de la population générale

Les données concernant l'exposition non professionnelle de la population générale restent anecdotiques et ne permettent en aucun cas d'initier une évaluation.

Le manque de données ne signifie pas l'absence de fibres de verre à usage spécial dans l'environnement général mais les niveaux d'exposition restent, à l'heure actuelle, indéfinissables de manière qualitative ou quantitative.

Par ailleurs, rien ne permet actuellement d'estimer la prévalence de l'exposition non professionnelle aux fibres de verre à usage spécial dans la population générale.

Dans le cadre de la loi canadienne sur la protection de l'environnement, le gouvernement du Canada conjointement avec Environnement Canada et Santé Canada ont rédigé en 1993 un rapport d'évaluation sur les FMA inscrites sur la liste des substances d'intérêt prioritaire (Gouvernement du Canada *et al.*, 1993).

Les rapporteurs n'ont relevé aucune donnée sur les concentrations de fibres de verre à usage spécial auxquelles est exposée la population générale au Canada ou dans d'autres pays. Toutefois, bien qu'un pourcentage élevé de ces fibres soit inhalable en raison de leur diamètre nominal relativement faible, et étant donné que les fibres de verre à usage spécial ne sont pas produites au Canada et qu'elles se destinent principalement dans des applications spécialisées, comme des filtres à haute efficacité ou comme isolant d'aéronefs et de véhicules spatiaux, les rapporteurs suggèrent que les concentrations dans l'environnement général soient très faibles. Les rapporteurs soulignaient l'absence d'effets

nocifs lors d'études épidémiologiques restreintes réalisées sur des populations exposées à des concentrations plus élevées que celles susceptibles d'être retrouvées dans l'environnement général (malgré le manque de données quantitatives sur ce dernier point) ou lors d'études toxicologiques sur des animaux exposés à des concentrations beaucoup plus élevées.

Par conséquent, les rapporteurs concluaient que les fibres de verre à usage spécial ne pénètrent pas dans l'environnement en quantités ou dans des conditions susceptibles de constituer un danger au Canada pour la vie ou la santé humaine.

Commentaires du groupe de travail :

Il existe un manque réel de données relatives aux fibres de verre à usage spécial, voire parfois une certaine opacité. En effet, il existe une grande diversité de compositions chimiques dont les intervalles de compositions, pour un même type de fibres, varient d'un producteur à l'autre. Par ailleurs, une fibre vendue sous une dénomination commerciale peut être produite à partir de fibres de verre à usage spécial de type différent et l'acquéreur connaît rarement le type utilisé (par exemple J-M 104 à partir de verre de type 475, 753 ou E). Ce constat induit, outre les confusions pour caractériser les produits, des difficultés au niveau des études expérimentales où seule la référence-produit est définie mais nullement la composition ou le type de verre. Les données restent parcellaires concernant l'historique et les tendances de production européenne ou internationale, d'importation et d'exportation françaises. Les informations sur l'exposition à ces fibres en population générale et professionnelle - l'accès à des données sur une exposition par type de fibres étant illusoire à l'heure actuelle -, les applications - notamment le lien entre ces dernières et le type de verre utilisé -, l'accessibilité et le vieillissement des produits en contenant sont lacunaires.

Enfin, les données collectées et existantes concernent principalement les fibres de verre à usage spécial de type E et 475 mais cette famille inclut une grande diversité de type de fibres dont le manque de caractérisation est flagrant aussi bien au niveau de leur éventuel potentiel toxique que de tous les points évoqués ci-dessus.

5.5 Mécanismes et toxicité cellulaire des fibres de verre à usage spécial

A titre indicatif, seul le court paragraphe relatif au résumé des données concernant l'évaluation des fibres de verre à usage spécial, présent dans la monographie du CIRC (2001), a été inclus dans ce chapitre. Le manque de données toxicologiques sur les fibres de verre à usage spécial, la diversité de ces fibres, le manque de clarté dans la composition chimique exacte du produit testé dans les rares études disponibles ne permettent pas de faire une évaluation du potentiel toxicologique des fibres de verre à usage spécial, qu'elles soient de type E ou 475.

Résumé des données rapportées par le CIRC

Un certain nombre d'études sur des fibres de verre à usage spécial par inhalation chronique a été conduit chez les rats, les hamsters et les cochons d'Inde. Ces premières études par inhalation n'ont démontré aucune augmentation significative de tumeurs pulmonaires ou de mésothéliomes. Dans certaines de ces études, l'amiante, utilisé comme contrôle, n'avait pas induit de tumeurs. Ceci peut probablement s'expliquer par l'utilisation de fibres courtes dans les aérosols.

Des études plus récentes sur les fibres de verre à usage spécial, utilisant de meilleures méthodes de préparation et de délivrance, ont donné des résultats indiquant une augmentation significative de tumeurs pulmonaires et de mésothéliomes chez le rat (fibres

de verre à usage spécial de type E) et d'un mésothéliome chez le hamster (fibres de verre à usage spécial de type 475).

Plusieurs études par voie intra-péritonéale de fibres de verre à usage spécial ont été conduites. La plupart d'entre elles examinait le potentiel d'induction de tumeurs de deux compositions de fibres de verre à usage spécial (principalement de types E et 475), après injection ou implantation chirurgicale de ces fibres à haute dose (environ 10^9 fibres) dans la cavité péritonéale du rat. Toutes ces études rapportaient une augmentation des tumeurs péritonéales.

Les fibres de verre à usage spécial ont été testées par instillation intra-trachéale à travers deux essais chez le rat et deux chez le hamster. Une augmentation significative de tumeurs pulmonaires a été observée dans l'une des études chez le rat ainsi que des augmentations de tumeurs pulmonaires et de mésothéliomes, dans l'une des études chez le hamster. Les deux autres études n'ont montré aucune augmentation de chaque type de tumeurs.

5.6 Accord au niveau national

La charte établie par les fabricants, sous l'égide de la Direction Générale des Entreprises, présente une évaluation exhaustive des procédures, en accord avec la réglementation française, mises en œuvre et suivies par l'industrie au cours des années passées afin d'assurer la protection et la sécurité des travailleurs, du public et de l'environnement. Les entreprises signataires de cette charte incluant les producteurs, des fabricants de médias filtrants et de filtres rappellent leurs engagements afin de continuer à développer les moyens propres à protéger les personnes et en particulier le travailleur pour les usages professionnels à mesure du développement des connaissances scientifiques.

6 La législation actuelle

6.1 Classification internationale des FMA

Le tableau LX présente la classification des FMA siliceuses en tenant compte de leur cancérogénicité, leur fibrogénicité et leur cytotoxicité. Cette classification a été établie par des organisations internationales, communautaires et nationales.

Tableau N°LX : classification des FMA

Agence	Laine de verre	Laine de roche	Laine de laitier	Fibre de verre à usage spécial de type E et 475	FCR	Filament continu de verre
CIRC (1988)	Groupe 2B «Agent peut-être cancérogène pour l'homme»					Groupe 3 «Agent inclassable quant à sa cancérogénicité pour l'homme»
CIRC (2001)	Groupe 3 «Agent inclassable quant à sa cancérogénicité pour l'homme»		Groupe 2B « Agent peut-être cancérogène pour l'homme»			Groupe 3 «Agent inclassable quant à sa cancérogénicité pour l'homme»
EPA (IRIS) 1997)	Pas de classification				Groupe B2 « cancérogène probable pour l'homme »	Pas de classification
NTP (1994)	Peut raisonnablement être anticipé comme cancérogène	Pas de classification			Peut raisonnablement être anticipé comme cancérogène	Pas de classification
ACGIH (1997)	Groupe A3 « cancérogène animal »				Groupe A2 « cancérogène suspecté chez l'homme »	Groupe A4 « pas classifiable comme cancérogène humain »
Commission européenne (1997)	Cancérogène de catégorie 3 sauf exonération				Cancérogène de catégorie 2	Pas de classification

L'INRS avait constitué un dossier, visant à recommander auprès de l'Union Européenne, le classement en catégorie 2 des fibres de verre à usage spécial de type E et Glass 475 (également appelées microfibrilles, mais il s'agit d'un nom commercial). Ce dossier a été finalisé en janvier 2005.

A la suite d'une réunion européenne du comité technique classification/étiquetage (TC C&L) en octobre 2006, une majorité d'états membres a confirmé sa préférence pour la création de deux entrées séparées pour les deux types de fibres de verre à usage spécial concernés avec un classement de la fibre E (peu utilisée en Europe depuis 2001) en catégorie 2 (R49) et de la fibre 475 en catégorie 3 (R40). Cette position se base principalement sur l'absence d'observations pathologiques (fibrose ou tumeurs) dans le poumon lors d'études exploitables par inhalation. Cette décision est maintenant actée au niveau européen et la prochaine étape concerne la définition précise des voies d'entrée pour ces deux types de fibres à savoir la composition retenue et les dimensions.

Commentaires du groupe de travail :

Il y a de fait peu d'études par inhalation, vie entière, des animaux. Cependant, des modifications pulmonaires et pleurales (inflammation, fibrose interstitielle, dépôt de collagène au niveau de la plèvre, hyperplasie et hypertrophie mésothéliale et un mésothéliome) ont pourtant été mentionnées par Hesterberg *et al.* (1997) 12 mois après exposition par inhalation « nose only » de hamsters à des fibres MMVF33. L'analyse morphologique des fibres montre peu de modifications après rétention dans le poumon (Hesterberg *et al.*, 1998). Cullen *et al.* (1997) ont trouvé un excès non significatif de tumeurs pulmonaires chez des rats exposés par inhalation à des fibres 104/475 et 8 mésothéliomes (33 %) après injection intrapéritonéale de 10^9 fibres WHO (pas de valeur donnée pour les contrôles) (ces données sont les mêmes que celles antérieurement produites par Davis *et al.*, 1996). Ces résultats nuancent l'interprétation mentionnée ci-dessus.

6.2 Législation européenne

En préambule, le présent chapitre n'a pas vocation d'exposer exhaustivement toute la réglementation relative aux FMA mais présente les textes majeurs ayant un impact de l'exposition potentielle des professionnels et de la population générale.

La directive 97/69/CE de la Commission du 5 décembre 1997 portant vingt-troisième adaptation au progrès technique de la directive 67/548/CEE du Conseil concernant le rapprochement des dispositions législatives, réglementaires et administratives relatives à la classification, l'emballage et l'étiquetage des substances dangereuses (JO du 13 décembre 1997, page 19-24) introduit la classification et l'étiquetage des FMA dans l'annexe I de la directive 67/548/CEE. Cette annexe définit une liste de substances dangereuses avec des spécifications de classification et d'étiquetage à l'égard de chaque substance ou groupe de substances.

Le tableau décline la réglementation en termes de classification, d'étiquetage et d'exemption. Ainsi, les laines minérales et les fibres de verre à usage spécial suivent les prescriptions liées à leur classification en classe 3. Les FCR se classent comme cancérigène de catégorie 2 avec une réglementation plus stricte. Les filaments continus sont à l'heure actuelle exempts de classification.

Substance	Classification	Etiquetage	Note
Laines minérales, à l'exception de celles nommément désignées dans cette annexe; [Fibres (de silicates) vitreuses artificielles à orientation aléatoire, dont le pourcentage pondéral d'oxydes alcalins et d'oxydes alcalino-terreux ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO}+\text{MgO}+\text{BaO}$) est supérieur à 18 %]	Cancérigène catégorie 3	Pictogramme « croix de Saint André » R 40 : possibilité d'effets irréversibles R 38 : irritant pour la peau S : (2-)36/37	A, Q, R
FCR à l'exception de celles nommément désignées dans cette annexe; [Fibres (de silicates) vitreuses artificielles à orientation aléatoire, dont le pourcentage pondéral d'oxydes alcalins et d'oxydes alcalino-terreux ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO}+\text{MgO}+\text{BaO}$) est inférieur ou égal à 18 %]	Cancérigène catégorie 2	Pictogramme « tête de mort » R 49 : peut causer le cancer par inhalation R 38 : irritant pour la peau S : 53-45	A, R

«Note A:

Le nom de la substance doit figurer sur l'étiquette sous l'une des dénominations qui figurent à l'annexe I [article 23 paragraphe 2 point a)]. Dans l'annexe I, il est parfois fait usage d'une dénomination générale du type "Composés de . . ." ou "Sels de . . .". Dans ce cas, le fabricant ou toute autre personne qui met une telle substance sur le marché est tenu de préciser sur l'étiquette le nom exact, considérant qu'il doit être tenu compte du chapitre intitulé "Nomenclature" de l'avant-propos. Exemple: pour BeCl₂: chlorure de béryllium.»

Les notes Q et R expliquent les modalités d'exemption de la classification cancérogène. Par conséquent, les FMA répondant favorablement aux prescriptions demandées par ces notes sont exemptes de classement et de la réglementation associée.

«Note Q:

La classification comme cancérogène ne doit pas s'appliquer s'il peut être établi que la substance remplit l'une des conditions suivantes:

- *un essai de biopersistance à court terme par inhalation a montré que les fibres d'une longueur supérieure à 20 µm ont une demi-vie pondérée inférieure à dix jours ou*
- *un essai de biopersistance à court terme par instillation intratrachéale a montré que les fibres d'une longueur supérieure à 20 µm ont une demi-vie pondérée inférieure à quarante jours, ou*
- *un essai intrapéritonéal approprié n'a montré aucune évidence d'excès de cancérogénicité, ou*
- *un essai à long terme par inhalation approprié a conduit à une absence d'effets pathogènes significatifs ou de modifications néoplasiques ».*

« Note R:

La classification comme cancérogène ne doit pas s'appliquer aux fibres dont le diamètre moyen géométrique pondéré par la longueur, moins deux erreurs types, est supérieur à 6 µm.»

L'index KNB ou pourcentage d'oxydes alcalins et d'oxydes alcalino-terreux reste un index chimique empirique qui, lors de la rédaction de cette directive, a suscité de vives critiques. Ainsi, l'indice KNB, proposé par EURIMA, défini comme un critère de prédiction de la solubilité du verre, repose sur le pourcentage pondéral en alcalins et alcalino-terreux²³. Ce critère n'est pas considéré comme satisfaisant par la communauté scientifique, mais l'expertise collective Inserm concluait à partir des données disponibles en 1997 « *qu'il n'existe pas de prédicateur généralisé de la solubilité des verres assez simple pour être appliqué sans ambiguïté et suffisamment fiable pour avoir une valeur réglementaire* ».

L'arrêté du 28 août 1998 modifie l'arrêté du 20 avril 1994 relatif à la déclaration, la classification, l'emballage et l'étiquetage des substances et transpose la directive (CE) 97/69 de la Commission du 5 décembre 1997 portant vingt-troisième adaptation au progrès technique de la directive (CEE) 67/548 modifiée. L'arrêté précise en outre qu'un dossier technique doit être constitué et déposé auprès d'un organisme agréé (INRS). Cette disposition ne concerne toutefois que les substances mises sur le marché après 1981. Des déclarations sont également prévues lorsque la production atteint certaines quantités (par an et par fabricant ou en quantité totale mise sur le marché).

²³ Na₂O+K₂O+CaO+MgO+BaO

Les préparations contenant des fibres relèvent de la réglementation relative à la classification, l'emballage et l'étiquetage des préparations dangereuses définies par l'arrêté du 21 février 1990. Cela implique :

- un étiquetage « cancérigène de catégorie 2 » pour les préparations comprenant plus de 0,1 % en poids de fibres céramiques ;
- un étiquetage avec la phrase R 40 (cancérigène de catégorie 3) pour les préparations comprenant plus de 1 % de laines minérales ;
- un étiquetage avec la phrase R 38 pour les préparations contenant plus de 20 % de laines minérales et exonérées de classification cancérigène de catégorie 3.

La mise sur le marché des fibres en vrac (assimilées réglementairement à des « substances ») ou des préparations en contenant, doit être accompagnée d'une fiche de données de sécurité adressée à l'utilisateur professionnel, dès lors qu'elles sont classées dangereuses selon les modalités définies ci-dessus. La distinction délicate entre une préparation solide, soumise à l'obligation d'étiquetage et de fiche de données de sécurité, et un « article » contenant des fibres fait l'objet de discussions au niveau communautaire européen. La proposition actuellement à l'étude consiste à assimiler à une substance ou à une préparation tout article dont l'utilisation normale peut être source de diffusion de substances dangereuses. Dans l'attente d'une décision communautaire harmonisée, cette position de précaution est celle retenue par la France.

Par ailleurs, la directive n° 96/61/CE du Conseil du 24 septembre 1996 relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution (JOCE n° L 257 du 10 octobre 1996) a pour objet la prévention et la réduction intégrées des pollutions en provenance des activités figurant à l'annexe I. Elle prévoit notamment les mesures visant à éviter et, lorsque cela s'avère impossible, à réduire les émissions des activités susvisées dans l'air, l'eau et le sol, y compris les mesures concernant les déchets, afin d'atteindre un niveau élevé de protection de l'environnement considéré dans son ensemble.

Les catégories d'activités industrielles visées à l'article premier incluent, entre autre, les points suivants :

- Point 3.3. Installations destinées à la fabrication du verre, y compris celles destinées à la production de fibres de verre avec une capacité de fusion supérieure à 20 tonnes par jour ;
- 3.4. Installations destinées à la fusion de matières minérales, y compris celles destinées à la production de fibres minérales avec une capacité de fusion supérieure à 20 tonnes par jour.

La directive 2002/96/CE du parlement européen et du Conseil, datée du 27 janvier 2003 et relative aux déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE), concerne la prévention en ce qui concerne les DEEE et, en outre, leur réutilisation, leur recyclage et les autres formes de valorisation de ces déchets de manière à réduire les quantités à éliminer. Elle vise aussi à améliorer les performances environnementales de tous les opérateurs concernés au cours du cycle de vie des équipements électriques et électroniques, tels que les producteurs, les distributeurs, les consommateurs, et en particulier les opérateurs directement concernés par le traitement des déchets. L'annexe II de la directive explicite le traitement sélectif des matières et composants des DEEE conformément à l'article 6, paragraphe 1. Un paragraphe intéresse entre autre les composants contenant des FCR tels que décrits dans la directive 97/69/CE de la Commission du 5 décembre 1997. Il stipule qu'au minimum les substances, préparations et composants contenant ces fibres doivent être retirés de tout déchet d'équipements électriques et électroniques en faisant l'objet d'une collecte sélective.

6.3 Législation nationale

6.3.1 La population générale

La directive 2001/41 du parlement et du conseil du 19 juin 2001, portant vingt-et-unième modification de la directive 76/769/CEE du Conseil, concernant le rapprochement des dispositions législatives, réglementaires et administratives des États membres relatives à la limitation de la mise sur le marché et de l'emploi de certaines substances et préparations dangereuses, en ce qui concerne les substances classées cancérigènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction (JO du 18 juillet 2001, page 36-37), inclut les FMA classées cancérigènes catégorie 2 par la directive 97/69/CE au point 29 de l'appendice de l'annexe I inscrite dans la directive 76/769/CE.

Le point 29 stipule que les substances qui apparaissent à l'annexe I de la directive 67/548/CEE, classées cancérigènes catégorie 1 ou 2 et étiquetées comme « toxique » avec la phrase de risque R 45 « peut causer le cancer » ou la phrase de risque R 49 « peut causer le cancer par inhalation », ne peuvent être utilisées dans des substances ou préparations destinées à la vente vers le grand public si la concentration s'avère égale ou supérieure à :

- la concentration spécifiée dans l'annexe I de la directive 67/548/CEE, ou
- la concentration spécifiée au point 6, tableau VI, de la partie B de l'annexe II de la directive 1999/45/CE du parlement et du conseil européen. Ce tableau, amendé récemment par la directive de la commission 2006/8/CE, stipule que les concentrations concernant les cancérigènes de catégorie 2 ne doivent pas excéder 0,1 %.

L'arrêté du 3 janvier 2003 modifiant l'arrêté du 7 août 1997 modifié relatif aux limitations de mise sur le marché et d'emploi de certains produits contenant des substances dangereuses transpose cette directive dans le droit national.

Pour information, il existe un arrêté daté du 12 mars 2003 qui fixe les prescriptions applicables aux établissements dans lesquels sont exercées des activités de fabrication et de travail du verre ou de fabrication de FMA soumises à autorisation préfectorale au titre des rubriques n°2315 (laine de verre dans le textile), 2530 (travail du verre) et 2531 (céramique et réfractaire) de la nomenclature des installations classées pour l'environnement (ICPE). Cet arrêté impose des normes drastiques concernant les rejets atmosphériques en matière de traitement et de valeurs limites d'émission ; il en est de même pour les rejets dans l'eau, les odeurs, le bruit, le traitement des déchets...

L'exploitant doit, au préalable, élaborer une évaluation détaillée des risques pour définir l'impact sanitaire sur la population bordant l'usine. L'arrêté mentionne, par exemple, dans l'article 5 des dispositions générales, que l'exploitant adopte les dispositions suivantes pour prévenir les envols de poussières et matières diverses :

- les voies de circulation et aires de stationnement des véhicules sont aménagées et convenablement nettoyées ;
- les véhicules sortant de l'établissement n'entraînent pas de dépôt de poussières ou de boue sur les voies de circulation. Pour cela, des dispositions telles que le lavage des roues des véhicules sont prévues ;
- des écrans de végétation sont mis en place le cas échéant...

Toutes ces mesures contribuent à limiter les rejets dans l'environnement et à protéger la population.

6.3.2 Les professionnels

L'exposition majeure aux FMA concerne les professionnels. En effet, ils sont au contact direct avec les fibres et, par conséquent, soumis à une réglementation rigoureuse. La circulaire DRT 99/10 explicite les conséquences de la classification en termes d'application et de contrôle de la réglementation relative à la prévention des risques chimiques et cancérigènes sur les lieux de travail.

Il est logique de retenir comme indispensable la fourniture d'une information sur les dangers (notamment sous forme d'un étiquetage ou d'une fiche de données de sécurité) pour tout produit susceptible de générer des substances dangereuses (par exemple des fibres) lors de son utilisation professionnelle. En effet, une information sur les dangers de ce type de produit est, en tout état de cause, indispensable au chef d'entreprise pour effectuer l'évaluation des risques et pour mettre en œuvre les moyens de protection effective qui s'imposent en conséquence.

La classification, établie par la directive 97/69/CE, entraîne l'application de dispositions réglementaires en matière de prévention dans l'entreprise. Dès lors qu'elles sont classées dangereuses, l'utilisation ou la fabrication de ces fibres implique l'application de la réglementation relative au risque chimique (pour l'ensemble des laines minérales). Dès lors qu'elles sont classées cancérigènes de catégorie 1 ou 2, l'utilisation ou la fabrication de ces fibres implique l'application de la réglementation relative au risque cancérigène.

Ces substances étant classées dangereuses, elles doivent faire l'objet, outre l'étiquetage, de fiches de données de sécurité (article R. 231-53 du code du Travail, arrêté du 5 janvier 1993 et circulaire DRT 94/14 du 22 novembre 1994). Ces fiches de données de sécurité permettent, après évaluation des risques par l'employeur, la rédaction d'une notice disponible aux postes de travail concernés, destinée à informer les travailleurs sur les risques liés à l'inhalation de ces fibres (article R. 231-54-5 du code du Travail).

L'employeur doit mettre en œuvre les moyens de protection adéquats, en accordant la priorité aux moyens de protection collective (aspiration à la source) par rapport aux moyens de protection individuelle.

D'autre part, lors de l'évaluation des risques, fonction des modalités d'utilisation de ces fibres – génératrices ou non d'un empoussièrement – le chef d'entreprise peut être amené à déterminer les niveaux d'exposition des salariés, et à vérifier qu'ils respectent bien les valeurs limites d'exposition professionnelle indicatives, fixées par la circulaire du 19 juillet 1982 modifiée (modification du 12 janvier 1995).

Le décret 2003-1254 du 23 décembre 2003 relatif à la prévention du risque chimique modifie le Code du Travail. Il définit notamment de nouvelles règles générales de prévention, rénove certaines dispositions concernant l'exposition aux Cancérigènes, Mutagènes, Reprotoxiques (CMR). Il s'intéresse particulièrement et modifie les dispositions du Code du Travail relatives à la prévention du risque chimique. Les mesures générales de prévention prévues reposent sur la réaffirmation du principe de prévention imposant la suppression ou la réduction au minimum du risque. Le nouveau décret énumère les informations à prendre en compte pour procéder à l'évaluation des risques. Il détaille les informations que doivent recevoir les salariés et le Comité d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail, prévoit leur accès aux fiches de données de sécurité et leur formation. Lorsque les résultats de l'évaluation révèlent un risque (sauf si celui-ci est faible et que les mesures générales de prévention sont suffisantes), les nouvelles prescriptions à mettre en œuvre portent sur les mesures de concentration des agents chimiques et le respect des valeurs limites d'exposition professionnelle indicatives qui seront fixées par arrêté. Pour les situations d'urgence, le décret impose l'installation de systèmes d'alarme et de communication, des mesures de protection et détaille les informations à transmettre aux services d'intervention internes ou externes. En matière de surveillance médicale, le médecin du travail doit tenir compte des

valeurs limites biologiques fixées par la réglementation. Si une valeur limite biologique est susceptible d'être dépassée, il en informe le salarié concerné. En cas de dépassement, il en informe l'employeur sous une forme non nominative afin que ce dernier applique les mesures de prévention (communication INRS).

L'employeur doit, en outre, intégrer la directive 89/391/CEE du 12 juin 1989 concernant la mise en œuvre de mesures visant à promouvoir l'amélioration de la sécurité et de la santé des travailleurs au travail (transposée en droit français par la Loi n° 91-1414 du 31 décembre 1991) et la directive 98/24/CE du 7 avril 1998 concernant la protection de la santé et de la sécurité des travailleurs contre les risques liés à l'utilisation d'agents chimiques sur le lieu de travail.

Les valeurs limites d'exposition professionnelle concernant les FMA restent indicatives et ont été fixées par des circulaires non publiées au journal officiel.

- Circulaire DRT n°95-4 du 12 janvier 1995 modifiant et complétant la circulaire du 19 juillet 1982 modifiée relative aux valeurs admises pour les concentrations de certaines substances dangereuses dans l'atmosphère des lieux de travail avec les valeurs suivantes :
 - FCR : 1 fibre/ml (réduit à **0.6 fibre/ml** depuis le 1^{er} janvier 1997);
 - laines de roche: 1,5 fibre/ml (réduit à **1 fibre/ml** depuis le 1^{er} janvier 1997); et,
 - laines de verre: 1,5 fibre/ml (réduit à **1 fibre/ml** depuis le 1^{er} janvier 1997);
- Circulaire DRT n°8 du 21 août 1996 modifiant et complétant la circulaire du 19 juillet 1982 modifiée relative aux valeurs admises pour les concentrations de certaines substances dangereuses dans l'atmosphère des lieux de travail avec la valeur suivante :
 - Laine de laitier: **1 fibre/ml** (applicable depuis le 1^{er} janvier 1997).
- Circulaire n°99/10 du 13 août 1999 concernant les dispositions réglementaires applicables aux FMA confirme les limites établies précédemment (0.6 fibre/ml pour les FCR et 1 fibre/ml pour les laines minérales et fibres de verre à usage spécial).

6.3.2.1 Pour les fibres céramiques

Ces fibres étant classées comme cancérigènes de catégorie 2, les règles énoncées dans le décret n°2001-97 du 1^{er} février 2001 (articles R. 231-56 et suivants du code du Travail) établissant les règles particulières de prévention des risques pour les agents cancérigènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction et modifiant le code du travail s'appliquent. L'employeur porte une lourde responsabilité car il est tenu, au regard de l'article R. 231-56-1 pour toute activité susceptible de présenter un risque d'exposition à des agents cancérigènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction, d'évaluer la nature, le degré et la durée de l'exposition des travailleurs afin de pouvoir apprécier tout risque concernant leur sécurité ou leur santé et de définir les mesures de prévention à prendre. La mesure de prévention prioritaire est la substitution des FCR par des matériaux moins dangereux ou des procédés évitant leur mise en œuvre. En effet, l'article 231-56-2 stipule que l'employeur est tenu de réduire l'utilisation d'un agent cancérigène, mutagène ou toxique pour la reproduction sur le lieu de travail lorsqu'elle est susceptible de conduire à une exposition, notamment en le remplaçant, dans la mesure où cela est techniquement possible, par une substance, une préparation ou un procédé qui, dans ses conditions d'emploi, n'est pas ou est moins dangereux pour la santé ou la sécurité des travailleurs. Les fibres de substitution sont essentiellement les laines d'isolation haute température. Les FCR ne doivent être utilisées que lorsqu'elles sont techniquement indispensables, c'est à dire au-delà de 1100°C en continu.

Depuis juin 2000, le secteur de la construction en Allemagne a passé un accord de branche portant sur l'usage des FMA classées comme étant cancérigènes selon la législation allemande. La production, la commercialisation et l'usage des matériaux d'isolation

contenant des fibres minérales suspectées d'être cancérigènes sont interdits en Allemagne. Toutefois, dans les cas où des isolants utiles pour les résistances aux très hautes températures (surtout les fibres de verre et les FCR) sont nécessaires, la restriction ne s'applique pas.

L'INRS reprend dans un tableau synthétique issu de la fiche ED109 les dispositions du décret du 1^{er} février 2001 en les adaptant pour les FCR.

D'autres textes plus généraux complètent les dispositions relatives à la protection du salarié :

- l'ordonnance n° 2001-173 du 22 février 2001 relative à la transposition de la directive 92/85/CEE du Conseil du 19 octobre 1992 concernant la mise en œuvre des mesures visant à promouvoir l'amélioration de la sécurité et de la santé des travailleuses enceintes, accouchées ou allaitantes au travail ;
- le décret 97-331 du 10 avril 1997 relatif à la protection de certains travailleurs exposés à l'inhalation de poussières siliceuses sur les lieux de travail ;
- l'arrêté du 10 avril 1997 relatif au contrôle de l'exposition des travailleurs exposés aux poussières de silice cristalline assure la protection des salariés.

L'encadrement législatif se poursuit après la période d'activité du salarié notamment par l'arrêté du 28 février 1995 pris en application de l'article D. 461-25 du code de la sécurité sociale qui fixe le modèle type d'attestation d'exposition et les modalités d'examen médical dans le cadre du suivi post-professionnel des salariés ayant été exposés à des agents ou procédés cancérigènes.

6.3.2.2 Pour les laines minérales

Il s'agit des laines de verre, de roche ou de laitier, qui répondent aux critères de composition chimique définis par l'arrêté du 28 août 1998, transposant la directive européenne 97/69/CE du 5 décembre 1997. Il en existe de nombreuses variétés, de compositions chimiques et de tailles différentes.

Ces laines minérales sont classées, de façon globale et sauf exception, comme cancérigènes de catégorie 3 (cancérogénicité non prouvée, ce qui est traduit par la phrase R 40 : « risque d'effets irréversibles ») et comme irritantes pour la peau. En effet, la directive européenne prévoit une possibilité d'exonération de classification, en ce qui concerne le danger cancérigène, à la condition expresse que des tests de cancérogénicité ou de biopersistance aient donné des résultats favorables, pour un type de laines minérales donné. Les fabricants et importateurs de ce type de fibre peuvent donc, sous leur responsabilité, appliquer un étiquetage ne comprenant pas la phrase de risque R 40.

Les laines minérales relèvent de l'application des articles R. 231-54 et suivants du Code du travail relatifs à la prévention du risque chimique. De même que pour les substances cancérigènes, l'article R231-54 prévoit que la prévention du risque chimique est fondée sur la limitation de l'utilisation des substances ou des préparations chimiques dangereuses, sur celle du nombre de travailleurs exposés à leur action et sur la mise en place de mesures préventives collectives ou, à défaut, individuelles, adaptées aux risques encourus.

L'article R231-54-1 précise que pour toute activité susceptible de présenter un risque d'exposition à des substances ou à des préparations chimiques dangereuses au sens de l'article R.231-51, le chef d'établissement doit procéder, conformément aux dispositions du III de l'article L.230-2 du présent code, à l'évaluation des risques encourus pour la santé et la sécurité des travailleurs. Cette évaluation est renouvelée périodiquement et à l'occasion de toute modification des conditions pouvant affecter la santé et la sécurité ; elle doit porter sur les niveaux d'exposition collectifs et individuels et indiquer les méthodes envisagées pour les réduire.

Le tableau LXI résume les réglementations applicables aux fibres en vrac et aux préparations en contenant dans les concentrations définies par l'arrêté du 21 février 1990 modifié définissant les critères de classification et les conditions d'étiquetage et d'emballage des préparations dangereuses.

Tableau N°LXI : réglementation française applicable aux FMA

En résumé	Etiquetage des substances		Règles de prévention	Valeur moyenne d'exposition sur 8 heures
	pictogramme	Phrases de risque		
Fibres céramiques	Classification : Cancérogène cat. 2 Tête de mort	R 49 : peut causer le cancer par inhalation R 38 : irritant pour la peau	Fiches de données de sécurité (FDS) Risques chimiques Risques cancérogènes R. 231-56 et s.	0,6 fibre/ml
Laines minérales	Classification : Cancérogène cat. 3 et irritant Croix de Saint-André	R 40 : possibilité d'effets irréversibles R 38 : irritant pour la peau	Fiches de données de sécurité (FDS) Risques chimiques R 231-54 et s. du code du Travail	1 fibre/ml
Laines minérales exonérées de la classification cancérogène cat. 3	Irritant Croix de Saint-André	R 38 : irritant pour la peau	Fiches de données de sécurité (FDS) Risques chimiques R 231-54 et s. du code du Travail	1 fibre/ml

6.4 Evolutions possibles de la réglementation

- **Projet d'interdiction proposé par la République Fédérale d'Allemagne**

L'Allemagne a déposé fin 2004 auprès de la Commission Européenne un projet de décret visant à interdire la fabrication et la commercialisation des fibres minérales céramiques, dont le pourcentage pondéral en alcalins et alcalino-terreux est inférieur à 18 %, ainsi que les produits contenant plus de 0,1 % en masse de ces fibres, notamment les isolants dans la construction des bâtiments, dans les appareils électroménagers et dans les appareils de chauffage et les composants dans les garnitures de friction des véhicules légers.

La Commission a répondu que la commercialisation de ces fibres à destination du grand public est déjà limitée par la directive 2001/41/CE, en raison de leur classification en catégorie 2 des substances cancérigènes. La Commission souligne également la contradiction du décret avec des directives concernant les équipements électriques et les machines. Enfin, elle estime qu'il n'existe pas de preuves suffisantes des risques pour le consommateur et/ou les travailleurs de la branche construction et que les directives existantes (notamment la 2004/37/CE) définissent les exigences minimales relatives à la protection des salariés contre le danger de substances cancérigènes et mutagènes au travail.

Il est à noter que la France prévoit une réglementation ayant le même objectif dans le cadre du plan « fibres ».

- **Projet de décret abaissant et rendant contraignante la valeur limite d'exposition professionnelle française aux FCR**

Le conseil supérieur de la prévention des risques professionnels (commission des risques chimiques, biologiques et des ambiances physiques) a proposé de fixer des valeurs limites d'exposition professionnelle contraignantes pour, d'une part, certaines substances figurant dans l'arrêté du 30 juin 2004 établissant des valeurs limites d'exposition professionnelle indicatives et, d'autre part, les FCR. Au delà du caractère opposable, le conseil souhaite abaisser la valeur en se basant sur l'effet critique plaques pleurales chez l'homme. Il propose ainsi, dans un premier temps, de fixer le niveau de la VLEP à 0,1 f/ml. Une période transitoire permettant l'adaptation des entreprises concernées est prévue, la valeur applicable sera de 0,5 f/ml.

Le tableau LXII présente les valeurs limites d'exposition professionnelles dans les pays adhérents à l'union européenne et certains pays extérieurs. Le tableau associe également certains textes réglementaires concernant les FMA.

Tableau N°LXII : résumé des informations disponibles sur les valeurs limites d'exposition professionnelle nationales pour les FMA (RPA, 2006)

État	Laine de verre (fibres/ml)	Laines de roche (fibres/ml)	Laines de laitier (fibres/ml)	FCR (fibres/ml)	Fibres de verre à usage spécial (fibres/ml)	Filaments de verre continus (fibres/ml)	Poussières respirables (mg/m ³)	Notes et remarques
Europe								
France (I)	1	1	1	0,6	1			Cf paragraphe précédent
Autriche (C)	0,5 (ou 2 pour une durée inférieure à 15 mn)							<p>« Grenzwerteverordnung 2003 » (BGB1 II 2004/119)</p> <ul style="list-style-type: none"> Austrian chemikalienverbots-Verodung 2003 (ordonnance d'interdiction et de restriction de certaines substances dangereuses, préparations et produits) ArbeitnehmerInnenschutzgesetz BGB1 I 450/1994 (loi sur la sécurité et la santé des travailleurs autrichiens)
Belgique(C)	1						10	<p>Arrêté royal du 11 mars 2002 relatif à la protection de la santé et de la sécurité des travailleurs contre les risques liés à des agents chimiques sur le lieu de travail (MB 14/03/2002, Ed 2 ; erratum M.B. 26/06/2002, Ed 2)</p>
Chypre	Pas de limites							
République tchèque (C)	1 (ou 4 mg/m ³)							<p>Règlement 178/2001 du 6 juin 2001 relatif à la santé des travailleurs</p> <ul style="list-style-type: none"> Décret 221/2004 d'application de la directive 2001/41/CE Amendement par les décrets 180/2003 (30/05/2003), 275/2004 (30/05/2004) et 698/2004 (22/12/2004)
Danemark	1							

État	Laine de verre (fibres/ml)	Laines de roche (fibres/ml)	Laines de laitier (fibres/ml)	FCR (fibres/ml)	Fibres de verre à usage spécial (fibres/ml)	Filaments de verre continus (fibres/ml)	Poussières respirables (mg/m ³)	Notes et remarques	
(C)									
Finlande				1					
Allemagne	0,5 (0,25 non professionnelle)							Technical Rule for Hazardous Substance (TRGS) 900 <ul style="list-style-type: none"> Chemikalien-Verbotsverordnung du 13/06/03 (dernier amendement le 21/06/05) Point 22 de l'annexe 4 du „German Gefahrstoffverordnung“ du 23/12/04 TRGS 521 „Faserstäube“ 	
Grèce	Pas de limites								
Hongrie (C)	1							Décret 25/2000 du ministère de la santé et du ministère des affaires sociales et familiales	
Irlande (I)	1	1	1		1	1	5		
Italie (I)	1							5	circulaire 15 mars 2000 Nr. 4
Pays-Bas (C)	2	2	2	0,5	2				
Pologne	2	2	2	Poussières de FCR 2 mg/m ³ FCR respirables 1 fibre/ml Poussières de FCR et d'amiante 1 mg/m ³ FCR et amiante respirables 1	2	2	4		

État	Laine de verre (fibres/ml)	Laines de roche (fibres/ml)	Laines de laitier (fibres/ml)	FCR (fibres/ml)	Fibres de verre à usage spécial (fibres/ml)	Filaments de verre continus (fibres/ml)	Poussières respirables (mg/m ³)	Notes et remarques
				fibre/ml				
Portugal	1						4	
République slovaque (C)	2 (ou 4 mg/m ³)							Règlement 45/2002 du 16/01/02 relatif à la protection de la santé des travailleurs vis-à-vis des facteurs chimiques <ul style="list-style-type: none"> Décret 67/2002 du ministère de l'économie (amendement par les décrets 180/2003 (30/05/03), 275/2004 (30/05/04) et 698/2004 (22/12/04))
Espagne (I)	1	1	1	0,5	0,5			OM 11.09.98-BOE Nr. 223-17/09/98
Suède (C)	1	1	1	0,2	0,2	1		AFS 2005 :17 disposition relative aux valeurs limites d'exposition professionnelle et des mesures contre les contaminants aériens <ul style="list-style-type: none"> KIFS 2005 :7 disposition sur la classification et la mise sur le marché des produits chimiques AFS 2004 :1 disposition sur le maniemnt et les conditions de travail liés aux FMA
Royaume-Uni (C)	2 (ou 5 mg/m ³ de poussières totales)			1 (ou 5 mg/m ³ de poussières totales)		2 (ou 5 mg/m ³ de poussières totales)		HSE EH40
Autres états								
Australie (C)	0,5							<ul style="list-style-type: none"> National standard for Synthetic Mineral Fibres [NOHSC :1004(1990)] National Code of Practice for the Safe Use of Synthetic Mineral Fibres [NOHSC:2006(1990)]
Canada (Quebec)	2	1	1	1	10 mg/m ³			

État	Laine de verre (fibres/ml)	Laines de roche (fibres/ml)	Laines de laitier (fibres/ml)	FCR (fibres/ml)	Fibres de verre à usage spécial (fibres/ml)	Filaments de verre continus (fibres/ml)	Poussières respirables (mg/m ³)	Notes et remarques	
Canada (Ontario)	1	1	1	0,5	1			Ontario Regulation 607/05	
Canada (Alberta)				0,5					
Hong Kong (C)	1	1	1	0,5	1	1 (ou 5 mg/m ³)			
Japon (I)	1	1	1			1			
Nouvelle-Zélande (I)	1						5	Health and Safety in Employment Act 1992	
Norvège (Projet)	0,5			0,1	0,1			Direktoratet for Arbeidstilsynet 2005	
Afrique du Sud	1								
Suisse (C)	0,25								
(I) : Valeur indicative (C) : Valeur contraignante									

Tableau N°LXIII : valeurs limites d'exposition professionnelle pour les FMA aux Etats-Unis (OSHA, 2006)

Agence	Substance	Valeur limite d'exposition professionnelle indicative	Remarque
Occupational Safety and Health Administration (Permissible Exposure Limit-TWA)	Poussière industrielle inerte ou nuisible	Fraction respirable : 5 mg/m ³ Poussières totales : 15 mg/m ³	Actuellement, les fibres minérales sont uniquement régulées comme des poussières nuisibles
	Fibres de verre issues des chantiers navals	Fraction respirable : 5 mg/m ³ Poussières totales : 15 mg/m ³	
	Laines minérales issues des chantiers navals	Fraction respirable : 5 mg/m ³ Poussières totales : 15 mg/m ³	
American Conference of Governmental Industrial Hygienists (Threshold Limit Value-TWA)	Filaments de verre continus	1 fibre/ml	
	Filaments de verre continus	5 mg/m ³	
	Laine de verre	1 fibre/ml	
	Laine de roche	1 fibre/ml	
	Laine de laitier	1 fibre/ml	
	Fibre de verre à usage spécial	1 fibre/ml	
	FCR	0,2 fibre/ml	
National Institute of Occupational Safety and Health (Recommended Exposure Limit-TWA)	Poussières de fibres de verre	Poussières totales : 5 mg/m ³ Fibres avec un diamètre égal ou inférieur à 3,5 µm et une longueur égale ou supérieure à 10 µm : 3 fibre/ml	Proposition de 1977
Health and Safety Partnership Programme (Voluntary Exposure Limit-TWA)	FMA	1 fibre/ml	
National Academy of Sciences (Recommended Exposure Level-TWA)	FMA	1 fibre/ml	
State of California (Established Permissible Exposure Limit –TWA)	FMA	1 fibre/ml	

7 Conclusion

Ce rapport constitue, pour les fibres céramiques réfractaires (FCR) et les fibres de verre à usage spécial de type E et de type 475 jugées prioritaires au vu de leur classement international en tant que cancérigène possible²⁴, une synthèse des données publiées dans la littérature et collectées auprès des principaux producteurs, transformateurs et utilisateurs de FMA. La rédaction s'est donc appliquée, en l'état actuel des connaissances, à répondre aux interrogations formulées par la saisine concernant notamment les aspects techniques liés aux caractéristiques et aux usages de ces fibres mais aussi l'évaluation de l'exposition de la population générale et professionnelle.

Les fibres céramiques réfractaires

La production française et européenne, initiée à la fin des années 1960, a été caractérisée par une progression constante jusque dans les années 1990 et marquée par deux périodes d'augmentation, l'une consécutive aux chocs pétroliers de 1973 et 1978 et l'autre au début des années 1990 où certaines entreprises ont anticipé l'interdiction de l'amiante. L'augmentation du coût de l'énergie avait conduit à un renforcement de l'isolation destiné à limiter les dépenses. Ces fibres, initialement utilisées pour l'isolation thermique hautes températures dans le secteur industriel, ont connu une extension de leurs applications dans les années 1980 et 1990 dans des domaines variés tels que la protection incendie, l'automobile et l'électroménager (représentant 20 % des tonnages pour l'Europe en 1994 pour cette dernière utilisation). La classification des FCR en tant que substance cancérigène possible dès 1988 par le CIRC, leur coût et l'apparition d'alternatives ont provoqué une baisse continue de la production depuis l'année 1993 en recentrant dès lors l'usage de ces fibres au secteur industriel de l'isolation à hautes températures. Le rapport reflète ainsi l'historique de leur emploi en indiquant notamment l'évolution des applications depuis les années 1990.

A l'heure actuelle, les FCR sont employées essentiellement pour des applications professionnelles dans l'isolation et le calorifugeage d'équipements au sein de divers secteurs de l'industrie lourde (principalement les fours dans le secteur des métaux ferreux et non ferreux, du verre, de la céramique, de la chimie, de la pétrochimie...), mais également en quantité moindre dans d'autres secteurs d'activité (transport ferroviaire, automobile...). Un état des lieux exhaustif et rétrospectif reste néanmoins plus difficile à établir.

En population générale, les FCR restent très peu accessibles en conditions normales d'utilisation des articles qui en contiennent. Les FCR peuvent être en accès direct lors de la production, de la transformation et pour certaines applications de l'industrie aval (écran thermique, couvercle de poche, chenal de coulée...). Cependant, pour ces mêmes industries, certaines applications nécessitent que les fibres soient encoffrées (ex. certains fours actuels) et, par conséquent, non directement accessibles.

Les utilisateurs de FCR sollicités indiquent que l'exposition aux fibres concerne principalement les maçons-fumistes et les personnes en charge, parfois au quotidien, de l'entretien et de l'échange de certains matériaux en FCR (joints d'adhésion, rembourrage des fissures, ...). Tous les industriels consultés considèrent que les opérations d'installation, de rénovation, de maintenance et de démantèlement sont les plus exposantes. Ils indiquent que ces opérations sont en général réalisées par des prestataires extérieurs. Les diverses formes de FCR (nappes, modules, vrac, tresses...) ne présentent aucun marquage visuel et le prestataire s'appuie généralement sur la connaissance des plans et son expérience pour initier les travaux. Les auditions réalisées reflètent une variabilité flagrante entre certaines entreprises coutumières de l'usage des FCR et du

²⁴ Classement CIRC : groupe 2B pour les FCR et les fibres de verre à usage spécial de type E et 475

Classement de l'Union Européenne : catégorie 2 pour les FCR et les fibres de verre à usage spécial de type E et catégorie 3 pour les fibres de verre à usage spécial de type 475

calorifugeage en secteur industriel qui mentionnent appliquer les procédures de prévention nécessaires et les prestataires de maintenance générale qui ont peu d'informations sur les matériaux manipulés susceptibles de contenir ces fibres.

Concernant le traitement des déchets, la situation est contrastée. Dans l'industrie de production et de transformation, les rebuts sont essentiellement recyclés et le reste est clairement identifié puis stocké en décharge. En revanche, la situation apparaît plus préoccupante pour les industries utilisatrices et pour les entreprises de maintenance, de réfection et de démantèlement. Par ailleurs, à l'intérieur d'un même secteur d'activité, les informations collectées révèlent, selon l'entreprise, une variabilité conséquente des procédures de traitement des déchets. Les quantités de déchets de FCR identifiées par les exploitants de CET de classe I (décharges pour déchets dangereux) paraissent largement inférieures à ce qui peut être attendu au regard des données de production et d'utilisation sur le territoire français. Les tonnages relevés ne reflètent pas tous les secteurs industriels les employant. Ceci indique que des déchets de FCR sont vraisemblablement en quantités notables stockés ou traités dans d'autres sites que les CET de classe I.

Le comportement et l'évolution des FCR au cours du vieillissement et de leur utilisation restent, à l'heure actuelle, insuffisamment caractérisés. Certes, les FCR se modifient et se dévitrifient au contact de températures élevées engendrant ainsi des produits de dégradation, notamment certaines formes de silice cristalline (classées cancérogènes de groupe 1 par le CIRC). Cependant, les données restent lacunaires pour caractériser la capacité d'émission de fibres émises par les formes ou matériaux contenant des FCR au cours d'une dégradation ou suite au vieillissement naturel ou accéléré sous des contraintes thermiques et physiques.

Les alternatives aux FCR paraissent dans certains cas exister mais aucun procédé unique ne peut substituer ces fibres. Par conséquent, la substitution, mesure prioritaire au vu de la réglementation, doit s'opérer au cas par cas en tenant compte des contraintes et des limites proposées par ces alternatives. L'introduction croissante des laines d'isolation haute température à faible biopersistance (laines AES de 1^{ère} et 2^{ème} génération) depuis les années 1980 a permis la substitution des FCR pour des applications thermiques n'excédant pas 1 200 °C ; principalement dans le domaine domestique mais aussi pour certains usages industriels. Ces fibres, manufacturées par les producteurs de FCR, paraissent à l'heure actuelle l'alternative technique la plus appropriée lorsque leurs spécifications le leur permettent.

En revanche, pour les applications dont les températures d'emploi sont supérieures à 1 200°C, la substitution apparaît plus problématique. Les fibres polycristallines et les matières réfractaires conventionnelles peuvent éventuellement se révéler être des substituts. En effet, les fibres polycristallines présentent des caractéristiques techniques souvent supérieures à celles des FCR (notamment la tenue thermique) mais restent désavantagées par leur fragilité, leur coût élevé et la faible capacité de leur production. Par ailleurs, la toxicité de ces fibres reste insuffisamment connue et le CIRC les a évaluées dans la même catégorie que les FCR. Les briques réfractaires sont moins coûteuses mais présentent des caractéristiques techniques largement inférieures à celles des FCR. De plus, la formation de silice cristalline pénalise en partie ce choix. Ainsi, certaines contraintes mécaniques ou thermiques limitent la substitution des FCR, notamment dans les hauts fourneaux. Au vu des résultats collectés, la situation reste contrastée d'un site à l'autre et le degré de substitution même pour des activités qui semblent analogues n'est pas identique. Certains sites ont presque totalement banni les FCR, d'autres initient cette réflexion ou se heurtent à des contraintes thermiques ou mécaniques.

A l'heure actuelle, la substitution totale des FCR paraît difficile et requiert une analyse technique individuelle de la part de l'utilisateur. Certains industriels assurent que la substitution totale est possible mais nécessite une modification de la conception des infrastructures et du procédé susceptible d'entraîner une productivité inférieure, des coûts et une pollution par le CO₂ supérieurs.

Les données concernant la prévalence et les niveaux d'exposition de la population générale restent anecdotiques et ne permettent en aucun cas d'initier une évaluation. Le manque de données ne signifie pas l'absence de FCR dans l'environnement général.

L'estimation des niveaux d'exposition professionnelle aux FCR proposée dans ce rapport s'appuie sur la littérature mais exploite surtout les trois bases de données métrologiques actuellement disponibles et intitulées CARE, COLCHIC et EVALUTIL. Ainsi, il est intéressant de constater que les tendances globales résultantes restent les mêmes, à savoir:

- Une forte variabilité des expositions d'une catégorie d'activité ou d'industrie à l'autre, et au sein d'une même catégorie d'activité ou d'industrie ;
- Des expositions importantes observées dans les activités de finition et de transformation, et celles d'élimination (également définies par le terme de retrait ou d'enlèvement) ;
- Une évolution de l'exposition globalement en légère décroissance au cours du temps.

La prévalence de l'exposition professionnelle aux FCR est difficilement quantifiable étant donné l'incertitude sur les effectifs susceptibles d'être exposés. Les quelques données disponibles actuellement ne permettent de donner qu'un ordre de grandeur : on peut estimer que la prévalence de l'exposition professionnelle vie entière aux FCR est vraisemblablement inférieure à 2 %, et plus probablement de l'ordre de 1 %.

Les fibres de verre à usage spécial de type E et de type 475

Les fibres de verre à usage spécial présentent diverses compositions incluant notamment le type E et le type 475. Elles sont produites depuis les années 1940. La composition détaillée de ces fibres est difficile d'accès et il est possible de retrouver sous la même dénomination commerciale deux fibres présentant des différences notables de composition. La grande majorité des produits contenant ces fibres est destinée à un usage professionnel uniquement et n'est pas vendue auprès du grand public. Contrairement aux laines minérales d'isolation, les fibres de verre à usage spécial ne constituent qu'un très faible pourcentage du marché des fibres de verre artificielles, environ 1 % de la production annuelle des fibres de verre synthétiques. La fibre de verre à usage spécial de type E n'est plus importée, ni commercialisée sur le territoire européen depuis 2001 à l'exception de quelques applications. L'importation et l'utilisation des autres types de fibres paraît néanmoins croissante (notamment le type 475).

Les applications des fibres de verre à usage spécial correspondent à des domaines d'activité restreints et spécifiques. Ils se limitent principalement à l'isolation thermique et phonique dans les aéronefs et l'aérospatiale où les contraintes en terme de caractéristiques souhaitées, de volume ou de poids circonscrivent actuellement le choix à ces fibres; à la filtration de l'air ou des liquides à haute efficacité (principalement de type 475 pour la ventilation générale des bâtiments) ou très haute efficacité (principalement de type 475 pour les hôpitaux, la microélectronique, les installations nucléaires...), et enfin comme séparateurs de batteries au plomb (principalement de type 253) ou d'une technologie de piles primaires au lithium (principalement de type E, 253 ou C). Deux applications en population générale concernent respectivement les filtres secondaires HEPA dans les aspirateurs et la filtration à haute efficacité de l'air dans les bâtiments résidentiels.

Les situations d'exposition professionnelle concernent les ouvriers de l'industrie de la production (inexistante en France), l'utilisation pour l'isolation des aéronefs et la fabrication de médias filtrants, de filtres et de séparateurs de batterie. Il n'existe aucun étiquetage spécifique des articles qui contiennent ce type de fibres. Les précautions de manipulation par les professionnels en charge de la maintenance et du traitement des déchets résultent avant tout des conditions d'usage plus que du danger potentiel représenté par ces fibres elles-mêmes. A titre d'exemple, les filtres à très haute efficacité utilisés dans les laboratoires et destinés à retenir des virus hautement pathogènes nécessitent un traitement spécifique d'élimination, du fait du risque biologique.

Les industriels assurent que ces fibres sont en principe inaccessibles pour la population générale en conditions normales d'utilisation des articles qui en contiennent. Toutefois concernant les filtres utilisés pour la filtration d'air, il existe très peu de données sur leur potentiel à émettre des fibres dans le circuit de ventilation des bâtiments tertiaires et résidentiels.

A l'heure actuelle, aucune alternative ne semble égaler les performances des fibres de verre à usage spécial dans le domaine de la filtration de l'air à très haute efficacité et comme séparateurs

d'un type de pile au lithium et de certaines batteries au plomb. En revanche, pour la filtration à haute efficacité, les filtres à base de fibres polymères représentent actuellement 50 % du marché mais nécessitent une maintenance plus régulière.

Les données sur les fibres de verre à usage spécial issues des publications et collectées auprès des industriels sont qualitatives et parcellaires.

Les données concernant aussi bien l'exposition professionnelle que celle de la population générale restent anecdotiques et ne permettent en aucun cas d'initier une évaluation. Toutefois, les rares données disponibles rapportent des niveaux d'exposition importants lors de certaines utilisations professionnelles. La prévalence de l'exposition professionnelle et non professionnelle aux fibres de verre à usage spécial paraît difficilement quantifiable.

8 Synthèse

La saisine et son traitement

L'amélioration des connaissances concernant les fibres minérales artificielles siliceuses (FMA), leurs applications et l'exposition des populations est une préoccupation soulignée dès février 2004 dans les recommandations du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF). Cette préoccupation a depuis été inscrite dans de nombreux plans gouvernementaux notamment le Plan National Santé Environnement (actions 18 et 23) et le Plan Santé au Travail (fiche 4.9).

Un plan d'actions interministériel, piloté par le ministère de la Santé, a été mis au point et décline les recommandations issues de cet avis. C'est dans ce contexte que l'Afsset a reçu une saisine de ses trois ministères de tutelle (Direction Générale de la Santé, Direction des Etudes Economiques et de l'Evaluation Environnementale et Direction des Relations au Travail), afin de réaliser une étude de filière et procéder à une évaluation de l'exposition actuelle et passée de la population générale et professionnelle aux FMA siliceuses. Une attention particulière devait être accordée à l'historique de leur emploi, leur accessibilité, leur devenir après usage et leur évolution avec le vieillissement de l'ouvrage. L'étude devait également rassembler les connaissances concernant les produits ou procédés de substitution non dangereux ou moins dangereux en indiquant la fréquence d'utilisation de ces alternatives.

Pour répondre à la saisine, l'agence a mis en place un groupe de travail *ad hoc* rattaché au Comité d'Experts Spécialisés (CES) « air ». Le traitement de cette saisine, en accord avec les priorités ministérielles, concerne en premier lieu les FCR et les fibres de verre à usage spécial de type E et de type 475 jugées prioritaires au vu de leur classement international en tant que cancérigène possible²⁵. L'instruction de cette saisine s'articule en deux axes :

- la partie technique relative à l'utilisation et aux applications passées et actuelles a été instruite par l'agence. Elle a réalisé ainsi des investigations approfondies en auditionnant notamment les industriels concernés afin de collecter les données. Au vu du taux de participation modéré des industriels, les données collectées ne se prétendent pas exhaustives et restent essentiellement qualitatives. L'instruction a débuté par les producteurs de FMA puis s'est poursuivie par les transformateurs et les utilisateurs de ces fibres. Par ailleurs, l'agence s'est appuyée sur la littérature et a initié des contacts auprès de nombreux interlocuteurs susceptibles de détenir des données pertinentes au sein des ministères et de son réseau de partenaires.
- le groupe de travail a animé et orienté l'étude réalisée par l'Afsset. Les experts ont interprété, commenté les résultats obtenus et apporté un regard critique sur l'expertise technique produite. Par ailleurs, le groupe de travail a synthétisé, en l'état actuel des connaissances, les éléments disponibles en matière d'évaluation de l'exposition de la population générale et professionnelle à ces fibres en s'appuyant sur les mesures publiées dans la littérature scientifique ou extraites d'un certain nombre de bases de données.

En parallèle, l'agence a mandaté un cabinet anglais nommé Risk & Policy Analyst (RPA) afin de recueillir, au niveau européen, des données concernant les usages actuels et passés en analysant les tendances divergentes éventuelles. Ce cabinet a réalisé également une revue comparative de la législation en vigueur dans les états membres de l'Union Européenne.

²⁵ Classement CIRC : groupe 2B pour les FCR et les fibres de verre à usage spécial de type E et 475

Classement de l'Union Européenne : catégorie 2 pour les FCR et les fibres de verre à usage spécial de type E et catégorie 3 pour les fibres de verre à usage spécial de type 475

Généralités sur les FMA

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) définit une fibre comme étant « *toute particule solide, naturelle ou artificielle, allongée à bords parallèles ayant une longueur supérieure à 5 µm, un diamètre inférieur à 3 µm et un rapport longueur / diamètre supérieur à 3* ». Les fibres constituent de manière générale une grande famille subdivisée en une multitude de sous familles selon leur nature physico-chimique et leur origine.

Les FMA siliceuses vitreuses sont produites à partir de roche, de laitier, de verre ou d'argile. Elles ne se divisent pas longitudinalement en fibrilles de faible diamètre comme c'est le cas pour l'amiante, mais peuvent se briser de manière transversale en segments de longueur réduite. Elles sont utilisées principalement pour contrôler les pertes de chaleur, absorber l'énergie acoustique, filtrer les impuretés dans les gaz et les liquides, renforcer d'autres matériaux ou contrôler la condensation.

Selon leurs caractéristiques physico-chimiques, plusieurs types de FMA peuvent être distingués :

- les fibres céramiques réfractaires (FCR) ;
- les fibres de verre à usage spécial ;
- les filaments continus de verre ;
- les laines minérales d'isolation : les laines de verre, les laines de laitier et les laines de roche. Ces dernières représentent 80 % de la production européenne.

Il existe différentes manières de classer les fibres en s'appuyant sur leur origine, leur structure (amorphe ou cristalline), leur composition chimique, leur morphologie, leurs applications ou leurs méthodes de fabrication. Ainsi, la littérature propose des typologies divergentes selon la méthode d'approche choisie (Inserm, CIRC, OMS...). Il apparaît dès lors difficile d'arrêter un consensus et les approches aboutissent parfois à une incompréhension entre les intervenants suivant leur spécialité.

Quatre techniques dont chacune a ses limites sont utilisées pour mesurer l'exposition aux fibres dans l'air. La méthode du filtre à membrane analysée par *Microscopie Optique à Contraste de Phase (MOCP)* est une technique de référence internationale grâce à laquelle a été produite la majorité des données en milieu de travail. Mais le comptage des fibres est réalisé en ignorant leur nature et les fibres les plus fines et les plus courtes ne sont pas détectées.

La *Microscopie Optique à Lumière Polarisée (MOLP)* permet de discriminer les fibres selon leurs caractères morphologiques et optiques (isotropie, indice de réfraction) et ainsi de séparer les fibres cristallines anisotropes de celles ayant une structure amorphe, vitreuse. On dispose ainsi d'un moyen d'identification partielle des FMA.

La *Microscopie Electronique à Balayage Analytique (MEBA)* et la *Microscopie Electronique à Transmission Analytique (META)* permettent une identification chimique et un comptage spécifique des fibres. Cependant ces techniques sont plus lourdes et plus coûteuses et elles ont des sensibilités analytiques moins bonnes que la MOLP.

Les fibres céramiques réfractaires

Les FCR se différencient des autres isolants hautes températures essentiellement par leurs caractéristiques thermiques ; notamment leur résistance aux températures extrêmement élevées (entre 1 000 et 1 400 °C), leur faible conductivité, leur faible capacité calorifique et leur bonne aptitude au façonnage. Elles se présentent sous forme de laine (et non pas sous forme de filament continu) et sont à base d'oxydes (plutôt que de fluorures ou de carbures par exemple). Les FCR sont parmi les FMA les moins solubles dans le milieu biologique, elles sont dites biopersistantes.

Les FCR sont produites par fusion d'une combinaison d'alumine (Al_2O_3) et de silice (SiO_2) dans des proportions à peu près équivalentes, ou par fusion d'un mélange d'argile de type kaolinite. Elles contiennent entre 47-54 % de silice et 35-51 % d'alumine. Les producteurs français privilégient la méthode de fabrication par centrifugation d'un mélange obtenu par fusion d'une combinaison haute pureté d'alumine et de silice. Les deux méthodes de préparation évoquées

précédemment représentent de manière écrasante les FCR produites et vendues depuis leur introduction dans les années 1960. Au début des années 1980, la zircone a été introduite en substitut d'une partie de l'alumine à hauteur de 15 % de pourcentage pondéral pour les FCR résistant à de hautes températures. En effet, l'addition d'oxyde de zirconium et de chrome stabilise la cristobalite (produit de dégradation) et retarde ainsi l'entrée en phase liquide. Ces trois compositions définissent les FCR sur le marché depuis leur introduction.

Les additifs permettent donc de modifier les propriétés des fibres, notamment physiques, en accroissant leur caractère réfractaire. Les liants et lubrifiants, calcinés lors de la fabrication, sont destinés à maintenir une cohésion des formes de FCR. Certains liants sont utilisés principalement en aval pour la fabrication de joints ou de papiers à base de FCR.

Les producteurs

La production de FCR en Europe a démarré au milieu des années 60. Elle a augmenté durant les années 1970 de 10 à 15 % par an quand l'élévation du coût de l'énergie a créé une forte demande pour la production de composés isolants. L'augmentation s'est stabilisée autour de 4 et 5 % par an au début des années 1990, puis la production a commencé à décliner au milieu de la décennie. En effet, la classification des FCR en tant que substance cancérigène possible, leur coût et l'apparition d'alternatives ont provoqué une baisse continue de la production depuis l'année 1993 en recentrant dès lors l'usage de ces fibres au secteur industriel dans le domaine spécifique de l'isolation à hautes températures.

En 2000, le marché mondial des FCR était estimé entre 150 000 et 200 000 tonnes par an ; il était divisé approximativement à parts égales entre l'Amérique, l'Europe et le reste du monde. Jusqu'en 1990, la capacité de production française était de 21 500 tonnes par an ce qui correspondait à 40 % de la production européenne et à 13,6 % de la production mondiale.

Les fibres sont vendues sous diverses présentations notamment sous forme de vrac, de nappes aiguilletées, de modules, de panneaux, de tresses, de mastic...

Les quantités de FCR présentes actuellement sur le territoire français paraissent difficilement évaluables. Les usines françaises exportent environ 80 % de leur production, une partie des fibres peut être importée d'autres pays, enfin les fibres peuvent être exportées à l'étranger puis revenir sur le marché français sous forme d'articles finis.

Les utilisateurs

Concernant les applications domestiques, au début des années 1990, le volume de FCR utilisé s'élevait entre 20 et 30 % de la production totale. Elles se retrouvaient dans l'isolation des chaudières, des fours à pyrolyse, des plaques vitrocéramiques et accessoirement pour les tables de cuisson ou cuisinières à gaz. Actuellement ce taux est de 2 % (appareils de chauffage radiant et chaudières au sol).

A l'heure actuelle, en France, les applications industrielles représentent la quasi-totalité de l'usage des FCR. Ces dernières se retrouvent principalement dans des applications d'isolation thermique notamment le garnissage de fours, de hauts fourneaux, de moules de fonderie, de chenaux de coulées, de couvercles, et également pour des besoins dans l'industrie automobile, aéronautique, aérospatiale, ferroviaire et la protection contre l'incendie (portes coupe-feu, rideaux de protection ou peintures intumescentes).

Par ailleurs, l'arrêt actuel en France de l'usage des FCR pour des applications domestiques, les plaquettes de frein ou la construction maritime ne signifie pas l'élimination complète de ces fibres dans ces domaines en raison de la durée de vie des appareils ou produits et leur importation éventuelle en provenance d'autres pays.

La quantité de fibres isolantes utilisées reste variable et dépend explicitement de la taille et de l'activité du site (par exemple, 90 tonnes dans une aciérie, une quinzaine de tonnes pour un four de l'industrie des tuiles et briques).

Les industriels auditionnés soulignent qu'à l'heure actuelle, les FCR restent incontournables pour certaines applications : dans la voûte du four où la température est très élevée, jusqu'à 1 200°C; au niveau de certains joints de dilatation et des brûleurs des fours.

Les opérations d'entretien et de renouvellement varient de manière conséquente d'un site à l'autre, d'un domaine d'activité à l'autre et dépendent explicitement de la localisation des FCR et de leurs sollicitations. Ainsi, certaines opérations quotidiennes, notamment le remplacement des tresses ou nappes employées comme joints ou pour le rembourrage de fissures, nécessitent l'emploi à plein temps d'un maçon-fumiste en interne ; même si de manière générale, tous les industriels précisent que la maintenance est de plus en plus souvent sous-traitée. Au contraire, dans le garnissage des fours et de certains équipements; les FCR sont confinées dans les parois et ne font l'objet que d'une maintenance complète et spécialisée à intervalle élargi (de 5 ans en chimie à 15 ans dans la sidérurgie).

L'information

Il n'existe pas de code ou de marquage spécifique indiquant clairement la présence de FCR dans un article ou un équipement. Les FCR ne peuvent être distinguées de façon fiable des autres fibres par une simple observation visuelle.

Les constructeurs de fours disent informer leurs clients de la présence de FCR dans les équipements fournis. Ils soulignent eux-mêmes un manque de traçabilité de l'information transmise par les producteurs. L'indication de la présence de FCR lors de la livraison n'est visible que sur le carton d'emballage à travers un code qu'il faut être à même de déchiffrer. Quant à la fiche de données de sécurité, elle est rarement jointe à la livraison ; il faut aller la consulter sur le site Internet du fabricant à partir du code ou demander à celui-ci son envoi.

Certains industriels ou fabricants d'équipements électroménagers soulignent qu'ils commandent à leurs fournisseurs des équipements ou des pièces répondant à certaines spécifications et ne connaissent pas la nature exacte des composants. De même, concernant les applications en population générale incluant des FCR, l'équipement (chaudières, automobile) ne présente aucun marquage spécifique indiquant leur présence.

Les entreprises se doivent en principe de garder une trace du type d'isolation utilisée. Ainsi, une recherche de documents et de plans auprès de bureaux d'études ou de sociétés d'ingénierie, peut être utilisée pour identifier le type d'isolation retenu. Beaucoup d'entreprises soulignent que leur connaissance reste partielle - le calorifugeage n'étant pas leur cœur de métier- sur la nature des fibres, les quantités mises en place et remplacées au cours des maintenances successives. En effet, ils délèguent souvent ces activités à des prestataires extérieurs.

La situation apparaît parfois paradoxale dans la maintenance générale. En effet, les prestataires mettent en avant le même argument : ils connaissent mal la nature des matériaux utilisés lors des interventions d'entretien et ne peuvent que recommander à leurs employés de se protéger lorsqu'ils ont un doute sur la toxicité du matériau à changer. En général, le technicien se contente, à partir de la référence-produit transmise par le constructeur, de remplacer le matériau usagé à l'identique. A l'inverse, dans l'industrie lourde, les prestataires en charge du calorifugeage des sites et de leur maintenance restent coutumiers de l'usage des FCR, des précautions d'utilisation et des alternatives possibles.

La gestion des déchets

Il existe des procédures inhérentes à la prise en charge et au traitement des déchets dangereux notamment pour les FCR : nettoyer par voie humide, proscrire l'emploi de procédés dispersant les fibres, équiper les aspirateurs de filtres absolus et collecter les déchets dans des sacs spéciaux comportant la même étiquette que les emballages neufs. La réglementation impose d'envoyer les déchets ultimes et classés dangereux en centre d'enfouissement technique (CET) de classe I (décharge pour déchets dangereux).

Au vu des données collectées lors des auditions, la situation se révèle contrastée. Dans l'industrie de production et de transformation, les rebuts sont essentiellement recyclés et le reste est clairement identifié puis stocké en décharge. En revanche, la situation apparaît plus préoccupante pour les industries utilisatrices et pour les entreprises de réfection, de maintenance et de démantèlement. Les procédures varient d'une entreprise à l'autre, et les déchets peuvent être orientés en CET de classe I en les identifiant comme FCR ou mélange de déchets dangereux, de classe II (décharge pour déchets non dangereux) ou de classe III (décharge pour déchets inertes).

La plupart des industriels utilisateurs auditionnés considèrent que les déchets sont majoritairement occasionnés par les prestataires de la maintenance, de l'installation ou de la rénovation et leur transfèrent la responsabilité du traitement des déchets contenant des FCR. Cependant, les prestataires soulignent, à juste titre, que les déchets relèvent réglementairement de la responsabilité de l'industriel utilisateur. Les prestataires peuvent organiser, à la demande du commanditaire, leur enlèvement avec des niveaux variables de précaution ou les laisser sur le site à la charge de l'entreprise qui peut ensuite éventuellement faire appel à une entreprise spécialisée.

Les quantités de déchets de FCR identifiées par les exploitants de CET de classe I s'élèvent à environ 300 tonnes pour l'année 2005. Ce tonnage paraît largement inférieur à ce qui peut être attendu au regard des données de production et d'utilisation sur le territoire français et ne reflète pas tous les secteurs industriels les employant. Ceci indique que des déchets de FCR sont vraisemblablement en quantités notables stockés ou traités dans d'autres sites que les CET de classe I.

La substitution

Le rapport détaille ainsi toutes les alternatives signalées dans la littérature ou par les industriels en évoquant leurs avantages et leurs limites. Des alternatives paraissent dans certains cas exister mais aucun procédé unique ne peut substituer ces fibres. Par conséquent, la substitution, mesure prioritaire au vu de la réglementation, doit s'opérer au cas par cas en tenant compte des contraintes et des limites imposées par le procédé industriel. Par ailleurs, une revue exhaustive de la littérature concernant la toxicité des alternatives devra être réalisée avant de se prononcer définitivement sur l'absence d'effets sanitaires.

Les laines AES de première et seconde génération, sur le plan technique, se sont avérées être des substituts efficaces aux FCR et se définissent comme la principale alternative pour des températures n'excédant pas 1 200 °C. Selon les producteurs de FCR, les laines d'isolation hautes températures AES représentent plus de 50 % du marché actuel des fibres d'isolation hautes températures en Europe, cette tendance est plus conséquente sur le territoire français (70 % du marché actuel). Les industriels ont testé certaines de ces fibres selon les recommandations de la directive 97/69/CE. Ils ont demandé et obtenu l'exonération de la classification en tant que cancérigène de catégorie 3 par l'Union Européenne. Pour sa part, Le CIRC a choisi de ne pas établir d'évaluation générale des fibres récemment développées pour être moins biopersistantes, telles que les laines AES et les laines à haute teneur en alumine et faible teneur en silice en indiquant que *« cette décision repose d'une part sur l'absence de données disponibles chez l'homme, bien que de telles fibres testées sur l'animal semblent présenter un faible potentiel cancérigène et d'autre part sur la difficulté du groupe de travail du CIRC à classer clairement ces fibres dans des groupes, sur la base de leur composition chimique »*.

En revanche, pour les applications dont les températures d'emploi sont supérieures à 1 200°C, la substitution apparaît plus problématique. Les fibres polycristallines et les matières réfractaires conventionnelles peuvent éventuellement se révéler être des substituts. En effet, les fibres polycristallines présentent des caractéristiques techniques souvent supérieures à celles des FCR (notamment la tenue thermique) mais restent désavantagées par leur fragilité, leur coût élevé et la faible capacité de leur production. Par ailleurs, la toxicité de ces fibres reste insuffisamment connue et le CIRC les a évaluées dans la même catégorie que les FCR. Les briques réfractaires sont moins coûteuses mais présentent des caractéristiques techniques largement inférieures à celles des FCR. De plus, la formation de silice cristalline (substance classée cancérigène de groupe 1 par le CIRC) pénalise en partie ce choix. Ainsi, certaines contraintes mécaniques ou thermiques limitent la substitution des FCR, notamment dans les hauts fourneaux. Au vu des résultats collectés, la situation reste contrastée d'un site à l'autre et le degré de substitution même pour des activités qui semblent analogues n'est pas identique. Certains sites ont presque totalement banni les FCR, d'autres initient cette réflexion ou se heurtent à des contraintes thermiques ou mécaniques.

A l'heure actuelle, la substitution totale des FCR paraît difficile et requiert une analyse technique individuelle de la part de l'utilisateur. Certains industriels assurent que la substitution totale reste

possible mais nécessite une modification de la conception des infrastructures et du procédé susceptible d'entraîner une productivité inférieure, des coûts et une pollution au CO₂ supérieurs.

L'exposition de la population générale et des travailleurs

En milieu domestique, les FCR sont intégrées dans les appareils et ne peuvent pas en principe, lors d'une utilisation normale, entrer en contact direct avec l'utilisateur.

En milieu professionnel, l'exposition varie selon les applications. Les salariés de la production et de la transformation peuvent être en contact direct avec ces fibres. Dans l'industrie aval, les fibres peuvent être accessibles quand elles sont non encoffrées, par exemple, pour les écrans de protection, couvercles de poche ou isolation d'un chenal de coulée. L'exposition reste toutefois prépondérante pour les professionnels impliqués dans l'installation, la maintenance, la rénovation ou le retrait des matériaux contenant ces fibres.

Les FCR sous forme de panneaux ou de nappes dégagent des poussières quand elles sont manipulées mais surtout quand elles sont découpées. Après utilisation, les FCR, quelle que soit la forme, sont friables et engendrent une poussière conséquente au moment de la manipulation.

Sous l'action de la chaleur à des températures supérieures à 1 000°C, les FCR se dévitrifient et recristallisent en formant de la silice cristalline. La dévitrification est confinée aux couches superficielles où les températures sont les plus élevées. Ainsi, les travailleurs peuvent être exposés à des particules inhalables de silice cristalline dans les activités de retrait de matières réfractaires.

Exploitation des bases de données et des études épidémiologiques

L'estimation des niveaux d'exposition professionnelle aux FCR proposée dans ce rapport s'appuie sur la littérature mais exploite surtout les trois bases de données métrologiques actuellement disponibles et intitulées CARE, COLCHIC et EVALUTIL. Les données ne permettent pas de couvrir toutes les situations de travail dans tous les secteurs industriels et en particulier chez les utilisateurs. Elles mettent néanmoins en évidence que les activités de finition et de transformation de FCR (2,50 f/ml en moyenne et 78,5 % de résultats supérieurs à la Valeur Moyenne d'Exposition (VME) indicative fixée à 0,6 f/ml²⁶) et les activités d'élimination de FCR usagées (3,54 f/ml en moyenne et 69,8 % de résultats supérieurs à la VME²⁷) sont génératrices de forts niveaux d'exposition.

Si l'on constate fréquemment un port de protection respiratoire individuelle pour les catégories de travaux de type enlèvement et installation, il n'en est pas de même pour les opérations de finition lors de la production de pièces en FCR. Pour toutes les autres catégories de travaux, des dépassements plus ou moins fréquents de la VME ont été constatés.

Par ailleurs, les résultats mettent en lumière une forte variabilité des expositions d'une catégorie d'activité ou d'industrie à l'autre, et au sein d'une même catégorie d'activité ou d'industrie ; et une évolution de l'exposition globalement en légère décroissance au cours du temps.

La population des travailleurs exposés aux FCR sur le territoire français varie considérablement selon les sources ; 4 000 personnes d'après les industriels, environ 18 000 selon l'étude CAREX, environ 100 000 selon l'enquête Sumer 2003. La prévalence de l'exposition professionnelle aux FCR est difficilement quantifiable étant donné l'incertitude sur les effectifs susceptibles d'être exposés. Les quelques données disponibles actuellement ne permettent de donner qu'un ordre de grandeur : on peut estimer que la prévalence de l'exposition professionnelle vie entière aux FCR est vraisemblablement inférieure à 2 %, et plus probablement de l'ordre de 1 %. La matrice emplois-expositions en cours d'élaboration au Département santé travail de l'InVS (dans le cadre du programme MATGENE), disponible en 2007, permettra d'estimer avec plus de précision la proportion de travailleurs exposés, en fonction des niveaux d'exposition.

²⁶ Données issues de la base COLCHIC

²⁷ Données issues de la base COLCHIC

Les données concernant la prévalence et les niveaux d'exposition de la population générale restent anecdotiques et ne permettent en aucun cas d'initier une évaluation. Le manque de données ne signifie pas l'absence de FCR dans l'environnement général.

Les fibres de verre à usage spécial

Les fibres de verre à usage spécial présentent diverses compositions incluant notamment le type E et le type 475. La chimie des fibres de verre à usage spécial est définie spécifiquement afin d'améliorer la capacité du verre à être fibré à des diamètres submicroniques et acquérir les propriétés de surface voulues à de tels diamètres. La plupart des types de verre pour fibres est composée d'un réseau de borosilicate. Les pourcentages d'alcalins restent relativement élevés. Les fibres de verre à usage spécial présentent des compositions similaires à celles des laines minérales de verre et celles des filaments continus, avec des diamètres généralement compris entre 0,05 µm et 3 µm.

Deux procédés de fabrication existent à l'heure actuelle afin de produire les fibres de verre à usage spécial, soit par filage ou « spinning », soit par atténuation de flamme. Les producteurs de fibres de verre à usage spécial, dont aucun site n'est localisé sur le territoire français, soulignent que les fibres en sortie de production doivent présenter une pureté irréprochable et n'incluent donc ni liant, ni additif.

En revanche, en aval, les transformateurs manipulant les fibres afin de produire des papiers incluent des liants afin d'assurer une cohésion et d'empêcher toute libération de fibres à partir des produits. Les fabricants français de ces médias filtrants assurent que la majorité des papiers produits sont exportés et l'autre partie destinée à des fabricants de filtres mais aussi à des producteurs de batteries ou de piles spécifiques impliquant une technologie au lithium.

Les applications des fibres de verre à usage spécial correspondent donc à des domaines d'activité restreints et spécifiques. Elles se limitent principalement à l'isolation thermique et phonique dans les aéronefs et l'aérospatiale où les contraintes en terme de caractéristiques souhaitées, de volume ou de poids circonscrivent actuellement le choix à ces fibres; à la filtration de l'air à haute efficacité (principalement de type 475 pour la ventilation générale des bâtiments) ou très haute efficacité (principalement de type 475 pour les hôpitaux, la microélectronique, les installations nucléaires...) et enfin comme séparateurs de batteries au plomb (principalement de type 253) ou d'une technologie de piles primaires au lithium (principalement de type E, 253 ou C). Certains masques de protection susceptibles de contenir des fibres de verre à usage spécial sont utilisés en tant que protection contre des particules fines ; ils sont manipulés sans précaution particulière.

Les filtres constitués de fibres de verre à usage spécial se destinent également à la filtration des particules dans les liquides, notamment dans les cartouches de filtres cylindriques. Les applications concernent l'essence, les jus et autres boissons, les solutions pharmaceutiques, chimiques, d'encre ou d'impression.

Deux applications concernent la population générale: les fibres de type 475 utilisées pour les filtres secondaires des aspirateurs conçus pour filtrer les particules et éventuellement la filtration d'air dans la ventilation générale de certains immeubles résidentiels.

Les fibres de verre à usage spécial sont produites depuis les années 1940, en grande majorité pour un usage professionnel. Elles ne constituent que 1 % du marché des fibres de verre artificielles soit, à l'heure actuelle, près de 2 200 tonnes par an en France. La fibre de verre à usage spécial de type E n'est plus importée, ni commercialisée sur le territoire européen depuis 2001 hormis quelques applications spécifiques.

Le renouvellement des filtres varie considérablement selon l'application, de manière quotidienne pour certaines applications en filtration liquide ou annuelle pour certains usages concernant la filtration de l'air. Les opérations de maintenance sont majoritairement réalisées par des prestataires extérieurs. Les séparateurs de batterie ne nécessitent pas d'entretien lors du fonctionnement du produit. Enfin, en l'absence d'informations, il est difficile de se prononcer sur les conditions d'utilisation dans l'aéronautique et l'aérospatiale.

Il existe un manque réel de données relatives aux fibres de verre à usage spécial, voire parfois une certaine opacité. En effet, il existe une grande diversité de compositions chimiques dont les intervalles de compositions, pour un même type de fibres, varient d'un producteur à l'autre. Par ailleurs, une fibre vendue sous une dénomination commerciale peut être produite à partir de fibres de verre à usage spécial de type différent et l'acquéreur connaît rarement le type utilisé (par exemple J-M 104 à partir de verre de type 475, 753 ou E). Ce constat induit, outre les confusions pour caractériser les produits, des difficultés au niveau des études expérimentales où seule la référence-produit est définie mais nullement la composition ou le type de verre. Les données restent parcellaires concernant l'historique et les tendances de production européenne ou internationale, d'importation ou d'exportation françaises.

L'identification

Aucun code ou marquage visuel n'est disponible pour la personne manipulant en aval les produits contenant ces fibres (filtre, séparateur, isolation cryogénique...). L'information est générée à travers les fiches de données de sécurité proposées par les producteurs ou les transformateurs uniquement pour les substances ou préparations mises en vente à destination des professionnels en aval mais pas pour les articles. Par ailleurs, les professionnels assurant la maintenance de ces filtres spécifiques connaissent davantage les dangers liés aux substances retenues par ces filtres que la nature de leurs constituants.

La gestion des déchets

Concernant la fabrication de médias filtrants, les rebuts de production sont majoritairement recyclés.

Dans les applications aval, le traitement des déchets résulte principalement de l'application de la réglementation concernant le produit retenu par les filtres ou la nature de l'électrolyte et du type de batteries ou de piles. A titre d'exemple, les filtres à très haute efficacité utilisés dans le nucléaire ou en virologie ou les séparateurs dans les batteries au plomb nécessitent un traitement spécifique d'élimination.

Concernant les piles et accumulateurs, les rebuts de fabrication usine sont traités par un procédé d'incinération dans la filière des déchets industriels spéciaux. En application du décret de 1999, les piles au lithium font l'objet d'un recyclage en mélange avec les piles primaires grand public dans un processus pyrométallurgique (1 500°C).

Les seuls articles grand public sont les filtres secondaires HEPA contenus dans les aspirateurs. Les producteurs déclarent que la matrice maintenue par des liants et placée dans un cadre est incluse dans le filtre primaire. L'ensemble est éliminé par la filière de déchets ménagers.

L'exposition de la population générale et des travailleurs

L'accessibilité concerne principalement les professionnels impliqués dans la production de médias filtrants (manipulation des fibres en vrac avant le mélange humide et découpe finale), de filtres ou de séparateur de batteries lors de la fabrication, du démantèlement ou de la maintenance dans le cadre de la filtration et l'intervention sur des isolations thermiques et phoniques notamment dans l'aérospatiale. Enfin, les producteurs assurent que tous les produits contenant des fibres de verre à usage spécial sont liés par une matrice et incluent généralement des liants inhibant la libération de fibres. Il existe peu de données dans la littérature sur le vieillissement de ces produits, notamment sur leur potentiel à émettre des fibres en cas de maintenance irrégulière dans les applications générales ou suite à une dégradation inopportune. Il est alors légitime de supposer que le dispositif serait susceptible de libérer des fibres de verre à usage spécial dans la ventilation.

Les deux applications concernant la population générale citées précédemment n'autorisent *a priori* aucun contact avec les fibres de verre à usage spécial dans les conditions normales d'emploi.

Les données collectées dans la littérature ne permettent pas d'évaluer ni l'exposition professionnelle ni celle de la population générale aux fibres de verre à usage spécial de manière générale et encore moins en distinguant les fibres de type E et 475. Toutefois, les rares données disponibles rapportent des niveaux d'exposition importants lors de certaines utilisations professionnelles (jusqu'à 2,39 f/ml au regard de la VME indicative fixée à 1 f/ml). De même, la

prévalence de la population professionnelle ou générale exposée à ces fibres est insuffisamment caractérisée pour être quantifiée.

La substitution

A l'heure actuelle, les industriels soulignent l'absence d'alternatives respectant les mêmes caractéristiques et performances que les fibres de verre à usage spécial, tant dans l'aérospatiale que dans la filtration à très haute efficacité, comme séparateurs de certaines batteries au plomb ou d'une technologie de piles primaires au lithium. Les données restent donc limitées et la tendance relative à l'utilisation des fibres de verre à usage spécial de type 475 est plutôt à la croissance.

Des fibres de polymères de polyéthylène, de polypropylène et de téflon peuvent se présenter comme des alternatives dans les médias filtrants utilisés dans les systèmes de chauffage, ventilation et air conditionné avec une durée de vie limitée entre 1 et 3 ans. Techniquement, les performances de ces fibres restent inférieures à celles des fibres de verre à usage spécial, en termes d'efficacité au cours du temps.

L'utilisation de fibres de polymères est déjà mise en place dans la filtration de l'air pour 50 % des filtres à haute efficacité mais à peine 3 à 5 % des filtres pour la filtration à très haute efficacité avec l'emploi de nanofibres de téflon (coût élevé en comparaison des fibres de verre à usage spécial et toxicité insuffisamment caractérisée).

Pour la filtration liquide, les filtres à base de microfibrilles de quartz résistent à des températures s'élevant entre 900 et 950 °C, ils présentent quelques traces d'impuretés métalliques et se définissent par une excellente stabilité dimensionnelle. Ils peuvent être utilisés pour l'analyse des gaz acides chauffés à haute température.

Par ailleurs, une revue exhaustive de la littérature concernant la toxicité des alternatives devra être réalisée avant de se prononcer définitivement sur l'absence d'effets sanitaires.

Enfin, les données collectées et existantes concernent principalement les fibres de verre à usage spécial de type E et 475 mais cette famille inclut une grande diversité de type de fibres dont le manque de caractérisation est flagrant aussi bien au niveau de leur éventuel potentiel toxique que de tous les points évoqués ci-dessus.

9 Recommandations

Le groupe de travail, en connaissance des éléments du rapport relatif aux FCR et aux fibres de verre à usage spécial, préconise les recommandations suivantes:

Concernant la traçabilité,

- D'établir une typologie clarifiée et consensuelle des FMA afin de suivre les expositions aux FMA en général et permettre d'appréhender les risques sanitaires. Il apparaît essentiel d'adopter un canevas unique, si possible au niveau international et *a minima* au niveau européen, permettant de positionner clairement et individuellement chaque fibre ;
- D'enrichir la nomenclature combinée (NC8) utilisée pour la déclaration douanière des marchandises de manière à identifier les flux commerciaux concernant les FMA. Dans un souci de traçabilité, des correspondances entre les différentes nomenclatures (NC8, CPF, ONU...) sont nécessaires ;
- De rendre obligatoire le signalement de la présence de toute FMA classée cancérogène dans les documents associés à la cession (achat, vente, transfert en vue de recyclage ou de stockage ou de destruction) d'articles en contenant. Chaque fois que possible, un étiquetage adapté doit être apposé. S'agissant d'articles complexes (par exemple, l'automobile) comportant des articles indépendants (par exemple, les lignes d'échappement), l'information doit être rendue disponible pour le propriétaire, les personnels chargés de l'entretien ou de la destruction finale de ces articles complexes. Cette information doit également être disponible aussi bien pour les personnes en charge de la prévention que pour le médecin du travail chargé de la surveillance des professionnels intervenant sur ces articles complexes ;
- D'indiquer précisément et clairement pour toute dénomination commerciale ou tout article contenant des fibres de verre à usage spécial le type et la composition du verre utilisé pour la fabrication.

Concernant l'acquisition de connaissances,

- D'améliorer la caractérisation de l'exposition professionnelle aux FCR et aux fibres de verre à usage spécial (en tenant compte de la diversité des compositions existantes) en dehors du secteur de la production, notamment en terme de fréquences et d'historique d'exposition ;
- De produire des données concernant l'exposition de la population générale aux FCR et aux fibres de verre à usage spécial (en tenant compte de la diversité des compositions existantes) ;
- D'étudier l'exposition aux produits susceptibles de se former après chauffage à haute température de FCR, notamment la silice cristalline ;
- De développer la mise en œuvre d'études expérimentales sur la caractérisation du potentiel d'émission en fibres des matériaux et produits contenant des FCR ou des fibres de verre à usage spécial en fonction des conditions d'utilisation, tant en environnement professionnel que général ;
- De constituer une base de données (type EVALUTIL) permettant d'identifier, de conserver et de recenser les diverses caractéristiques des matériaux contenant des FCR ou des fibres de verre à usage spécial (type d'utilisation, type de matériaux, degré de cohésion des matériaux, nom commercial, quantité vendues en France...) afin de permettre à tous les usagers de pouvoir s'y référer ;

- D'intégrer dans cette base de données les éléments d'une veille analytique visant à tracer historiquement la composition chimique exacte et les propriétés physico-chimiques en référence à des formules commerciales contenant des FCR ou des fibres de verre à usage spécial (en tenant compte de la diversité des compositions existantes) ;
- De réaliser des études relatives à la toxicité des alternatives proposées actuellement en substitution aux FCR et aux fibres de verre à usage spécial de type E et de type 475.

Concernant la prévention,

- De ne mettre sur le marché que des nouveaux matériaux dont les données de toxicologie ont été expertisées et validées et les risques associés évalués ;
- De substituer les FCR pour tous les usages impliquant des températures inférieures à 1 000°C par des matériaux moins dangereux ayant fait l'objet d'études toxicologiques préalables ou des procédés évitant leur mise en œuvre ;
- De réellement mettre en place, selon la réglementation en vigueur, une substitution qui, au vu des alternatives répertoriées, apparaît possible tout du moins techniquement pour les températures supérieures à 1 000 °C ;
- De discuter l'interdiction des FCR pour les applications domestiques, pour lesquelles une substitution est considérée comme toujours possible ;
- De renforcer le contrôle de l'exposition en adoptant une VLEP²⁸ contraignante et non plus indicative au moins pour les fibres classées cancérogènes de catégorie 2 par l'Union Européenne (FCR et fibres de verre à usage spécial de type E). Les données métrologiques incitent en outre à recommander, en sus de la VME²⁹, l'élaboration d'une valeur à plus court terme sur une période de référence appropriée ;
- De renforcer les mesures d'information et de prévention auprès des entreprises utilisatrices de FCR notamment celles impliquées dans les activités d'installation, de rénovation, de maintenance, de démantèlement et de traitement de déchets. L'activité de démantèlement des Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques (DEEE), en plein essor au cours de la dernière décennie, doit également bénéficier de ces mesures étant donné l'usage conséquent des FCR dans le secteur de l'électroménager comme matériau d'isolation ;
- De veiller à ce que la fiche d'exposition aux FMA classées cancérogènes de catégorie 2 par l'Union Européenne soit dûment remplie par l'employeur et que l'attestation d'exposition soit remise au salarié. Cette fiche doit mentionner la (les) période(s) et fréquence d'utilisation, les circonstances d'exposition y compris indirectes, les équipements de protection éventuels, des données métrologiques si elles sont disponibles, ainsi que des informations relatives à la dangerosité des FMA classées cancérogènes de catégorie 2 par l'Union Européenne.

²⁸ Valeur Limite d'Exposition Professionnelle.

²⁹ Valeur Moyenne d'Exposition sur 8 heures.

10 Bibliographie

Publications

- Bellmann, B., Muhle, H., Creutzenberg, O., Ernst, H., Brown, R. C., Sebastien, P. (2001). **Effects of nonfibrous particles on ceramic fiber (RCF1) toxicity in rats.** *Inhal Toxicol.* 13: 877-901.
- Bignon, J., Habert, C., Redjal, Y. (2000). **Inventaire des fibres de substitution à l'amiante.** *Arch Mal Prof.* 61 : 75-94.
- Bishop, K., S.J. Ring, S.J., Zoltai, T., Manos, C.G., Ahrens, V.D, Lisk, D.J. **Identification of asbestos and glass fibers in municipal sewage sludges,** *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 34, 301-308.
- Bouilloux, L. (2006). **Filtres à Très Haute Efficacité.** Document élaboré par (IRSN) pour BADORIS – base de données sur les barrières techniques de sécurité (Ineris).
- Breyse, P. N. (1991). **Electron microscopic analysis of airborne asbestos fibers.** *Crit. Rev. Anal. Chem.* 22(3.4):201-27.
- Brown, R. C., Bellmann, B., Muhle, U., Ernst, H., Pohlmann, G., Sebastien, P. (2002). **Subchronic studies on man-made vitreous fibres: Toxicity results.** *Ann Occup Hyg.* 46(1):102-104.
- Bruske-Hohlfeld, I., Mohner, M., Pohlabein, H., Ahrens, W., Bolm-Audorff, U., Kreienbrock, L., Kreuzer, M., Jahn, I., Wichmann, H. E., Jockel, K. H. (2000) **Occupational lung cancer risk for men in Germany: results from a pooled case-control study.** *Am J Epidemiol.* 151(4):384-95.
- Catani, J., Certin, J. F., Charretton, F., Créau, Y., Goutet, P., Guimon, M., Hou, A., Kauffer, E., Vincent, R., Laureillard, J., Soyeux, A. (2003). **Exposition professionnelle aux fibres céramiques réfractaires.** *Cahiers de notes documentaires - Hygiène et sécurité du travail/INRS/ND2189-191-03.*
- Class, P., Deghilage, P., Brown, R. C. (2001). **Dustiness of different High-Temperature Insulation Wools and Refractory ceramic fibres.** *Ann. Occup. Hyg.* 45 (5):381-384.
- Consortium d'industriels liés aux fibres de verre à usage special. (2006). **Charte relative aux fibres de verre de type 475 à usage spécial.**
- Corn, M., Sansone, B. E. (1974). **Determination of total suspended particulate matter and airborne fiber concentrations at three fibrous glass manufacturing facilities.** *Environ. Res.* 8, 37-52.
- Cowie, H. A., Wild, P., Beck, J., Auburtin. G., Piekarski, C., Massin, N., Cherrie, J. W., Hurley, J. F., Miller, B. G., Groat, S., Soutar, C. A. (2003). **Etude épidémiologique de la santé respiratoire des travailleurs de l'industrie européenne des fibres céramiques réfractaires.** *Cahiers de notes documentaires - hygiène et sécurité du travail/INRS/ND2200-193-03.*
- Cullen, R. T., Searl, A., Buchanan, D., Davis, J. M., Miller, B. G., Jones, A. D. (2000). **Pathogenicity of a special-purpose glass microfiber (E glass) relative to another glass microfiber and amosite asbestos.** *Inhal Toxicol.* 12(10):959-77.
- Davis, J. M. G.; Brown, D. M.; Cullen, R. T.; Donaldson, K.; Jones, A. D.; Miller, B. G.; McIntosh, C.; Searl, A. (1996). **A Comparison of Methods of Determining and Predicting the Pathogenicity of Mineral Fibers.** *Inhal Toxicol.* 8(8):747-770.
- Davis, J. M. G., Addison, J., Bolton, R. E., Donaldson, K., Jones, A. D., Wright, A. (1984). **The pathogenic effects of fibrous ceramic aluminium silicate glass administered to rats by inhalation or intraperitoneal injection.** *Biological Effects of Man-made Mineral fibres.* World Health Organization, vol. 2, pp. 303-320.
- De Vuyst, P., Dumortier, P., Swaen, G.M., Pairon, J.C., Brochard, P. (1995). **Respiratory health effects of man-made vitreous (mineral) fibres.** *Eur Respir J.* 8 (12):2149-73.

- Dopp, E., Schuler, M., Schiffmann, D., Eastmond, D. A. (1997). **Induction of micronuclei, hyperdiploidy and chromosomal breakage affecting the centric/pericentric regions of chromosomes 1 and 9 in human amniotic fluid cells after treatment with asbestos and ceramic fibers.** *Mutat Res.* 377:77-87.
- Dumortier, P., Broucke, I., De Vuyst, P. (2001). **Pseudoasbestos bodies and fibers in bronchoalveolar lavage of refractory ceramic fiber users.** *Am J Respir Crit Care Med.* 164(3):499-503.
- ECFIA. (2006a). **Charte de l'Industrie des Laines d'Isolation Haute Temperature implantée en France.**
- Elias, Z., Poirot, O., Daniere, M. C., Terzetti, F., Binet, S., Tomatis, M., Fubini, B. (2002). **Surface reactivity, cytotoxicity, and transforming potency of iron-covered compared to untreated refractory ceramic fibers.** *J Toxicol Environ Health A.* 65:2007-27.
- Esmen, NA., Whittier, D., Kahn, RA., Lee, TC., Sheehan, M., Kotsko, N. (1980). **Entrainment of fibers from air filters.** *Environ Res.* 22(2):450-65.
- Everitt, J. I., Gelzleichter, T. R., Bermudez, E., Mangum, J. B., Wong, B. A., Janszen, D. B., Moss, O. R. (1997). **Comparison of pleural responses of rats and hamsters to subchronic inhalation of refractory ceramic fibers.** *Environ Health Perspect.* 105(5): 1209-13.
- Gelzleichter, T. R., Bermudez, E., Mangum, J. B., Wong, B. A., Janszen, D. B., Moss, O. R., Everitt, J. I. (1999). **Comparison of pulmonary and pleural responses of rats and hamsters to inhaled refractory ceramic fibers.** *Toxicol Sci.* 49:93-101.
- Goldberg, M., Imbernon, E., Rolland, P., Gilg Soit Ilg, A., Saves, M., de Quillacq, A., Frenay, C., Chamming's, S., Arveux, P., Boutin, C., Launoy, G., Pairon, J. C., Astoul, P., Galateau-Salle, F., Brochard, P. (2006). **The French National Mesothelioma surveillance Program.** *Occup Environ Med.* 63(6):390-5.
- Guignon, N., Sandret, N. (2005). **Les expositions aux produits cancérigènes. Enquête Sumer. Premières synthèses n° 28.1.** *Dares.*
- Hesterberg, T. W., Chase, G., Axten, C., Miller, W.C., Musselman, R. P., Kamstrup, O., Hadley, J., Morscheidt, D. M., Berstein, D. M., Thevenaz, P. (1998). **Biopersistence of synthetic vitreous fibers and amosite asbestos in the rat lung following inhalation.** *Toxicol Applied Pharmacol.* 151:262-275.
- Hesterberg, T. W., Axten, C., McConnell, E. E., Oberdorster, G., Everitt, J., Miiller, W. C., Chevalier, J., Chase, G. R., Thevenaz, P. (1997). **Chronic inhalation study of fiber glass and amosite asbestos in hamsters: twelve-month preliminary results.** *Environ Health Perspect.* 105(5):1223-9.
- INRS (2003). **Les Fibres Céramiques Réfractaires, Fiche Pratique de Sécurité – ED 109.**
- INRS. **Metropol, Recueil des méthodes de prélèvement et d'analyse de l'air, Fiche 001-Aldéhydes.** Disponible sur « <http://www.inrs.fr/> (site consulté le 7/06/2006).
- Jaffrey, T. S. A. (1990). **Level of airborne man-made mineral fibres in UK dwellings. I - Fibre levels during and after installation of insulation.** *Atmos Environ.* 24(1):133-141.
- Kauffer, E., Vincent, R. (2006). **Occupational Exposure to Mineral Fibres: Analysis of Results Stored on Colchic Database.** *Ann Occup Hyg.* [Epub ahead of print].
- Kauppinen, T., Toikkanen, J., Pukkala, E. (1998). **From cross-tabulations to multipurpose exposure information systems: a new job-exposure matrix.** *Am J Ind Med.* 33(4):409-17.
- Lee, K. P., Barras, C. E., Griffith, F. D., Waritz, R. S., Lapin, C. A. (1981). **Comparative pulmonary responses to inhaled inorganic fibers with asbestos and fiberglass.** *Environ Res.* 24:167-191.

- Luce, D., Leclerc, A., Begin, D., Demers, P. A., Gerin, M., Orlowski, E., Kogevinas, M., Belli, S., Bugel, I., Bolm-Audorff, U., Brinton, L.A., Comba, P., Hardell, L., Hayes, R.B., Magnani, C., Merler, E., Preston-Martin, S., Vaughan, T.L., Zheng, W., Boffetta, P. (2002). **Sinonasal cancer and occupational exposures: a pooled analysis of 12 case-control studies.** *Cancer Causes Control.* 13(2):147-57.
- Marchand, J.L., Luce, D., Leclerc, A., Goldberg, P., Orlowski, E., Bugel, I., Brugere, J. (2000). **Laryngeal and hypopharyngeal cancer and occupational exposure to asbestos and man-made vitreous fibers: results of a case-control study.** *Am J Ind Med.* 37(6):581-9.
- Marchant, G. E., Amen, M. A., Bullock, C. H., Carter, C. M., Johnson, K. A., Reynolds, J; W., Connelly, F. R., Crane, A. E. (2002). **A synthetic vitreous fiber (SVF) occupational exposure database: implementing the SVF health and safety partnership program.** *Appl Occup Environ Hyg.* 17(4): 276-285.
- Marconi, A., E. Corradetti, Mannozi, A. (1987). **Concentrations of man-made vitreous fibres during the installation of insulation materials aboard ships at Ancona Naval dockyards.** *Ann. Occup. Hyg.*, 31(4B), 595-599.
- Martinon, L., Billon-Galland, M. A., Vallentin, F., Brochard, P. (1996). **Contribution à l'étude de l'exposition des citoyens aux particules atmosphériques inhalables: Etude qualitative et quantitative de la pollution de fond urbaine par les fibres d'amiante et par les fibres minérales artificielles.** *Contrat de recherche du ministère de l'environnement.*
- Mast, R. W., Maxim, L. D., Utell M. J., Walker A. M. (2000): **Refractory Ceramic Fibre: Toxicology, Epidemiology, and Risk Analyses – A review.** *Inhal Toxicol.* 12(5):359-399.
- Mast, R. W., Yu, C. P., Oberdorster, G., McConnell, E .E., Utell, M.J. (2000). **A retrospective review of the carcinogenicity of refractory ceramic fiber in two chronic fischer 344 rat inhalation studies: an assessment of the MTD and implications for risk assessment.** *Inhal Toxicol.* 12:1141-72.
- Mast, R. W., McConnell, E. E., Anderson, R., Chevalier, J., Kotin, P., Bernstein, D. M., Glass, L. R., Miiller, W. C., Hesterberg, T. W. (1995a). **Studies on the chronic toxicity (inhalation) of four types of refractory ceramic fiber in male fischer 344 rats.** *Inhal Toxicol.* 7:425-467.
- Mast, R. W., McConnell, E. E., Hesterberg, T. W., Chevalier, J., Kotin, P., Thevenaz, P., Bernstein, Gls, L. R., Miiler, W., Anderson, R. (1995b). **Multiple-dose chronic inhalation toxicity study of size-separated kaolin refractory ceramic fiber in male fisher 344 rats.** *Inhal Toxicol.* 7:469-502.
- Maxim, D. L., Venturin, D., Allshouse, J. N. (1999). **Respirable crystalline silica exposure associated with the installation and removal of RCF and conventional silica-containing refractories in industrial furnaces.** *Regul Toxicol Pharmacol.* 29:44-53.
- Maxim, D. L., Yu, C. P., Oberdorster, G., Utell, M. J. (2003). **Quantitative risk analyses for RCF: survey and synthesis.** *Regul Toxicol Pharmacol.* 38:400-16.
- Maxim, L. D., Allshouse, J. N., Deadman, J. E., Kleck, Ch., Kostka, M., Webster, D., Class, Ph., Sébastien, P. (1998). **CARE - A European programme for monitoring and reducing refractory ceramic fibre dust at the workplace: initial results.** *Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft.* 58: 97-103.
- Maxim, L. D., Allshouse, J. N., Kelly, W. P., Walters, T., Waugh, R. (1997). **A multiyear workplace - monitoring program for refractory ceramic fibers: findings and conclusions.** *Regul Toxicol Pharmacol.* 26:156-171.
- Maxim, L. D.; Allshouse, J. N.; Chen, S. H.; Treadway, J. C.; Venturin, D. E. (2000). **Workplace monitoring of refractory ceramic fiber in the United States.** *Regul Toxicol Pharmacol.* 32(3): 293-309.

- McConnell, E. E., Mast, R. W., Hesterberg, T. W., Chevalier, J., Kotin, P., Berstein, D. M., Thevenaz, P., Glass, L. R., Anderson, R. (1995). **Chronic inhalation study of a kaolin-based refractory ceramic fiber in Syrian golden hamsters.** *Inhal Toxicol.* 7:503-532.
- Menvielle G, Luce D, Goldberg P, Leclerc A. (2004). **Smoking, alcohol drinking, occupational exposures and social inequalities in hypopharyngeal and laryngeal cancer.** *Int J Epidemiol.* 33(4):799-806.
- Moolgavkar, S. H., Luebeck, E. G., Turim, J, Brown, R. C. (2000). **Lung cancer risk associated with exposure to man-made fibers.** *Drug Chem Toxicol.* 23:223-42.
- Moolgavkar, S. H., Luebeck, E. G., Turim, J., Hanna, L. (1999). **Quantitative assessment of the risk of lung cancer associated with occupational exposure to refractory ceramic fibers.** *Risk Anal.* 19:599-611.
- Moore, M. A., Boymel, P. M., Maxim, L. D., Turim, J. (2002). **Categorization and nomenclature of vitreous silicate wools.** *Regul Toxicol Pharmacol.* 35:1-13.
- Nelson, D. I., Concha-Barrientos, M., Driscoll, T., Steenland, K., Fingerhut, M., Punnett, L., Pruss-Ustun, A., Leigh, J., Corvalan, C. (2005). **The global burden of selected occupational diseases and injury risks: Methodology and summary.** *Am J Ind Med.* 48(6):400-18.
- Okayasu, R., Wu, L., Hei, T. K. (1999). **Biological effects of naturally occurring and man-made fibres : in vitro cytotoxicity and mutagenesis in mammalian cells.** *Br J Cancer.* 79:1319-1324.
- Pohlbeln, H., Jockel, K.H., Bruske-Hohlfeld, I., Mohner, M., Ahrens, W., Bolm-Audorff, U., Arhelger, R., Romer, W., Kreienbrock, L., Kreuzer, M., Jahn, I., Wichmann, H. E. (2000). **Lung cancer and exposure to man-made vitreous fibers: results from a pooled case-control study in Germany.** *Am J Ind Med.* 37(5):469-77.
- Poirier, J., Courcot, B., Klein, F., Sébastien, P., Class, P. (2000). **Safe Use of Refractory Ceramic Fibres in the Usinor Group.** *La Revue de Métallurgie-CIT.* 1205-1221.
- Rodelsperger, K., Jockel, K.H., Pohlbeln, H., Romer, W., Woitowitz, H. J. (2001). **Asbestos and man-made vitreous fibers as risk factors for diffuse malignant mesothelioma: results from a German hospital-based case-control study.** *Am J Ind Med.* 39(3):262-75.
- Rolland, P., Orlowski, E., Ducamp, S., Audignon-Durand, S., Brochard, P., Goldberg, M. (2005). **Base de données EVALUTIL – Evaluation des expositions professionnelles aux fibres.** *Publication InVS.*
- Rood, A. P. (1988). **Size distribution of airborne ceramic fibres as determined by transmission electron microscopy.** *Ann. occup. Hyg.* 32(2):237-40.
- Rossiter, C. E., Chase, J. R. (1995). **Statistical analysis of results of carcinogenicity studies of synthetic vitreous fibres at Research and Consulting Company, Geneva.** *Ann Occup Hyg.* 9:759-69.
- Russel McLeod, Anderson, B. (2003): **Bag filters: synthetic or glass based media?** *Filtr. Sep.,* 40(2), 28-30.
- Rutten, A. A., Bermudez, E., Mangum, J. B., Wong, B. A., Moss, O. R., Everitt, J. I. (1994). **Mesothelial cell proliferation induced by intrapleural instillation of man-made fibers in rats and hamsters.** *Fundam Appl Toxicol.* 23:107-16.
- Saether, H. (1992). **Is the release of fibres from glass fibre filters a possible health risk in Norway.** *VVS – Teknisk Magasin.* Norsk VVS 8/92, 30-40.
- Steenland, K., Burnett, C., Lalich, N., Ward, E., Hurrell, J. (2003). **Dying for work: The magnitude of US mortality from selected causes of death associated with occupation.** *Am J Ind Med.* 43(5):461-82.

- Toren, K., Balder, B., Brisman, J., Lindholm, N., Lowhagen, O., Palmqvist, M., Tunsater, A. (1999). **The risk of asthma in relation to occupational exposures: a case-control study from a Swedish city.** *Eur Respir J.* 13(3):496-501.
- Vaughn, E., Ramachandran, G. (2002). **Fiberglass vs. Synthetic Air Filtration Media.** *International Nonwovens Journal.* 11(3), 41-56.
- Verma, D. K., Clark, N. E. (1995). **Relationships between Phase Contrast Microscopy and Transmission Electron Microscopy results of samples from occupational exposure to airborne chrysotile asbestos.** *Am Ind Hyg Assoc. J.* 56, 866-73.
- Vincent, R., Jeandel, B. (2001). **COLCHIC-occupational exposure to chemical agents database : current content and development perspectives.** *Appl Occup Environ Hyg.* 16(2) :115-121.
- Vincent, R., Kauppinen, T., Toikkanen, J., Pdersen, D., Young, R., Kogevinas, M. (1999). **CAREX : Système international d'information sur l'exposition professionnelle aux agents cancérigènes en Europe. Résultats des estimations pour la France pendant les années 1990-1993.** *Cahiers de notes documentaires - Hygiène et sécurité du travail - N° 176.*
- Yegles, M., Janson, X., Dong, H. Y., Renier, A., Jaurand, M. C. (1995). **Role of fibre characteristics on cytotoxicity and induction of anaphase/telophase aberrations in rat pleural mesothelial cells in vitro. Correlations with in vivo animal findings.** *Carcinogenesis.* 16:2751-2758.

Rapports et ouvrages

- Agence Nationale Pour l'Emploi. (1993). **Répertoire Opérationnel des Métiers et des Emplois (ROME), Vol. 1, 2, 3, 4.** *La Documentation Française, Paris.*
- ATSDR. (2004). **Toxicological profile for Synthetic vitreous fibers** (Atlanta, Georgia, U.S. department of health and human services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry).
- Barriat, V. A. (2003). **Remplacer l'amiante:nouveaux matériaux, nouveaux risques?** *Réseau intersyndical de sensibilisation à l'environnement (RISE).*
- Camford Information Services. (1993). **Refractory Ceramic Fibres, Canadian Product Profile,** Camford Information Services Inc., Don Mills (Ontario).
- Christensson, B., Krantz, S. (1994). **Release of fibres from ventilation filters. Test report.** Arbetsmiljöinstitutet, Solna.
- CIRC (1988). **Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, Man-Made Mineral Fibres and Radon, Vol 43.** *IARC press.*
- CIRC (1989). **Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: Some Organic Solvents, Resin Monomers and Related Compounds, Pigments and Occupational Exposures in Paint Manufacture and Painting, Vol 47.** *IARC press.*
- CIRC (1997). **Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: Silica, Some Silicates, Coal Dust and para-Aramid Fibrils, Vol 69.** *IARC press.*
- CIRC (2002). **Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: Man-made vitreous fibres, Vol 81.** *IARC press.*
- Douglas, D. (2001). **Chrysotile Asbestos: Health Assessment of Alternatives.** National Occupational Health and Safety Commission.

ECFIA (1999a). **CARE: Controlled and Reduced Exposure**, ECFIA Action, Number 1, European Ceramic Fibres Industry Association. Disponible à l'adresse Internet : [www.unifrax.com/web/UnifraxWebEU.nsf/AllDocuments/163D226CD7BE824785256F100663993/\\$File/CARE%20Programme%20sheet%20.pdf](http://www.unifrax.com/web/UnifraxWebEU.nsf/AllDocuments/163D226CD7BE824785256F100663993/$File/CARE%20Programme%20sheet%20.pdf). (site consulté le 01/07/2006).

ECFIA (1999b). **Refractory Ceramic Fibres (RCFs) - Still the Best Product for High Temperature Insulation**, ECFIA Action, Number 2, European Ceramic Fibres Industry Association. Disponible à l'adresse Internet : [www.unifrax.com/web/UnifraxWebEU.nsf/AllDocuments/163D226CD7BE824785256F1700663993/\\$File/CARE%20Programme%20sheet%20.pdf](http://www.unifrax.com/web/UnifraxWebEU.nsf/AllDocuments/163D226CD7BE824785256F1700663993/$File/CARE%20Programme%20sheet%20.pdf). (site consulté le 01/07/2006).

ECFIA (1999c). **A Quantitative Risk Assessment for or Refractory Ceramic Fibres (RCFs)**, ECFIA Action, Number 4, European Ceramic Fibres Industry Association. Disponible à l'adresse Internet : [www.unifrax.com/web/UnifraxWebEU.nsf/AllDocuments/163D226CD7BE824785256F1700663993/\\$File/CARE%20Programme%20sheet%20.pdf](http://www.unifrax.com/web/UnifraxWebEU.nsf/AllDocuments/163D226CD7BE824785256F1700663993/$File/CARE%20Programme%20sheet%20.pdf). (site consulté le 01/07/2006).

ECFIA (1999d). **Recognition and Control of Exposure to Refractory Ceramic Fibres.**

ECFIA (2000). **Code of Practice Working with Refractory Ceramic Fibres (RCF)**, European Ceramic Fibres Industry Association. Disponible à l'adresse Internet : [www.unifrax.com/web/UnifraxWebEU.nsf/AllDocuments/163D226CD7BE824785256F1700663993/\\$File/CARE%20Programme%20sheet%20.pdf](http://www.unifrax.com/web/UnifraxWebEU.nsf/AllDocuments/163D226CD7BE824785256F1700663993/$File/CARE%20Programme%20sheet%20.pdf). (site consulté le 01/07/2006).

EIPPCB (2001). **Integrated Pollution prevention and Control, Reference Document on Best Available Techniques in the Glass Manufacturing Industry.**

EIPPCB (2005). **Integrated Pollution prevention and Control, Draft Reference Document on best Available Techniques in the Ceramic Manufacturing Industry**, Projet juin 2005.

Environment Canada (2004). **Notes for the Working Group Meeting on Refractory Ceramic Fibres, February 11, 2004.**

Environnement Canada. (1994). **Loi canadienne sur la protection de l'environnement. Options stratégiques pour la Gestion des substances toxiques - Fibres de céramique réfractaire.**

ERM (1995). **Description and Characterisation of the Ceramic Fibres Industry of the European Union**, *Reference 3059*.

EURIMA/ECFIA/APFE (1991). **Man-made mineral fibres: definitions and classification proposals** (Bruxelle/Chester, EURIMA/ECFIA/APFE).

Gaudichet, A., Petit, G., Billon-Galland, M.-A., Dufour G. (1989). **Levels of atmospheric pollution by man-made mineral fibres in buildings**. In : *Non-occupational Exposure to Mineral Fibres*, 291-8, Bignon, J., Peto, J., Saracci R. Eds, *IARC Scientific Publications N° 90*.

Gouvernement du Canada, Environnement Canada, Santé Canada. (1993). **Loi canadienne sur la protection de l'environnement. Liste des substances d'intérêt prioritaire. Rapport d'évaluation sur les fibres minérales (Fibres vitreuses de fabrication humaine).**

HSE (1988). **Health and Safety Executive, Man-made mineral fibre. Airborne number concentration by phase-contrast light microscopy**. *Methods for the Determination of Hazardous Substances*, No. 59. 12 p.

HSE (1998). **Health and Safety Executive, Fibres in air. Guidance on the discrimination between fibre types in samples of airborne dust on filters using microscopy**. *Methods for the Determination of Hazardous Substances*, No. 87. 16 p.

INRS (1997). **Fibres minérales artificielles et amiante. Rapport du groupe scientifique pour la surveillance des atmosphères de travail (G2SAT)**. *Documents pour le médecin du travail*, n°69.

INRS (1999). **Etude des effets sur la santé liés aux expositions professionnelles aux fibres minérales artificielles. Rapport d'étude de faisabilité**. *INRS/EE Rapport FSA 99*.

Inserm (1997). **Effets sur la santé des principaux types d'exposition à l'amiante. Expertise collective.** Editions Inserm.

Inserm (1999). **Effets sur la santé des fibres de substitution à l'amiante. Expertise collective.** Editions Inserm.

IPCS (1988). **Environmental Health criteria n°77: Man-made mineral fibres.** WHO Ed., Geneva.

Mc Crone W.C. (1980). **The asbestos particle atlas.** Ann Arbor Sci. Publ. Inc., Ann Arbor, MI.

Mosqueron, L. & Nedellec, V. (2001). **Inventaire des données françaises sur la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments, Observatoire de la Qualité de l'Air intérieur.**

Navy Environmental Health Center. (1997). **Man - Made Vitreous Fibers.**

NIOSH (2006). **Occupational exposure to refractory ceramic fibers.** Publication.

OMS (1988). **Man-made Mineral Fibres, Environmental Health Criteria 77,** Programme international sur la sécurité des substances chimiques, Organisation mondiale de la santé, Genève.

RCFC (1996): **Refractory Ceramic Fibers: A Substitute Study,** (préparé pour the Refractory Ceramic Fibre Coalition, par Everest Consulting, soumis à the US EPA, Washington, April, 1996).

TIMA (1990): **Health and Safety Aspects of Man-Made Vitreous Fibres, Information, Data, Comments and Recommendations Regarding Occupational Exposure to Man-Made Vitreous Fibres.** Thermal Insulation Manufacturers Association. soumis par la TIMA, Inc. en réponse au NIOSH sur le document Occupational Exposure to Synthetic and Natural Mineral Fibers, 55 Fed. Reg. 5073, 13 February 1990.

TIMA (1991). **Man-Made Vitreous Fibers: Nomenclature, Chemical and Physical Properties.** Stamford, Connecticut.

TIMA (1992). **Refractory Ceramic Fiber (RCF) Emissions from Domestic Production Facilities and Related Matters: Phase I Final Report,** rapport préparé pour le compte de la Thermal Insulation Manufacturers Association, Stamford, Connecticut.

VDI 3492 (1991). **Part. 1: Measurement of inorganic fibrous particles in ambient air, scanning electron microscopy method.** Berlin: Beuth Verlag.

VDI 3492 (1994). **Part. 2: Indoor air pollution measurement; Measurement of inorganic fibrous particles; Measurement planning and procedure; Scanning electron microscopy method.** Berlin: Beuth Verlag.

W. Skinner, H. C., Ross, M., Frondel, C. (1988). **Asbestos and other fibrous materials. Mineralogy, Crystal Chemistry and Health effects.** Oxford University Press.

WHO (1998). **Determination of airborne fibre number concentrations. A recommended method, by phase-contrast optical microscopy (membrane filter method).** WHO Ed., Geneva.

WHO/EURO (1985). **Technical Committee for monitoring and evaluating airborne MMMF, Reference methods for measuring airborne Man-Made Mineral Fibres (MMMMF).** WHO Environmental Health Report 4, WHO Ed., Copenhagen.

Communications

Bunsell, A. R. (2005). **Oxide fibers.** Communication personnelle.

Class, P. (2006). **The CARE (Controlled And Reduced Exposure) programme: what did we learn after 7 years of refractory ceramic fibres (RCF) personal monitoring.** Communication présentée au 28ème congrès international de santé au travail, Milan, Juin 2006.

ECFIA (2005). **Auditions de l'ECFIA par l'Afsset le 11 janvier 2005 et le 14 avril 2005 et réponse aux questions de l'Afsset concernant les fibres céramiques réfractaires.** Non publiée.

ECFIA (2006b). **Auditions de l'ECFIA par l'Afsset le 13 mars 2006.** Non publiée.

Eckert, B. (1993). *Communication personnelle, Ministère de l'Environnement de l'Ontario, Ottawa (Ontario).*

Folkard, E. (1993). *Communication personnelle, Manville Canada, Innisfail (Alberta).*

Lethbridge, S. (1993). *Communication personnelle, Fiberglas Canada Inc., Sarnia (Ontario).*

Maxim, L.D. (1993). *Communication personnelle, Everest Consulting Associates Inc., Cranbury, New Jersey.*

RPA (2006). **Comprehensive study on Markets, legislation and safer alternatives for Man-made Vitreous Fibres. Part I: Refractory Ceramic Fibres and Special Purpose Glass Fibres.** Non publié.

Schneider, T. (1984). **Man-made mineral fibers (MMMF) and others fibers in the air and in settled dust.** In : *Proceedings of the Third International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, 183-8, Stockholm, August 20-24.

Van Asseldonk, L. (1993). *Communication personnelle, Ministère de l'Environnement de l'Ontario, Sarnia (Ontario).*

Normes

AFNOR (1996). **Norme NF X 43-050.** Détermination de la concentration en fibres d'amiante par microscopie électronique à transmission. Méthode indirecte. 42 p.

AFNOR (2002). **Norme XP X 43-269.** Air des lieux de travail. Détermination de la concentration en nombre de fibres par microscopie à contraste de phase - Méthode du filtre à membrane. 38 p.

ISO/DIS 8672 (1988). Determination of the number concentration of airborne inorganic fibres by phase contrast optical microscopy – Membrane filter method. 50p.

ISO 13794 (1994). Ambient air – Determination of asbestos fibres – Indirect transfer transmission electron microscopy method.

ISO 10312 (1995). Ambient air: Determination of asbestos fibres – Direct transfer transmission electron microscopy procedure.

ISO/FDIS 14966 (2002). Air ambiant. Détermination de la concentration en nombre des particules inorganiques fibreuses – Méthode par microscopie électronique à balayage. 43p.

NIOSH (1989). **Fibers, Method 7400.** In *NIOSH Manual of Analytical Methods*, 3rd ed., vol. 1. DHHS (NIOSH) Pub. No. 79-127; NTIS Pub. No. PB-297-731/A05. National Institute for Occupational Safety and Health. National Technical Information Service, Springfield VA.

Réglementation

Arrêté du 12 mars 2003 relatif aux prescriptions applicables aux installations soumises à autorisation au titre des rubriques nos 2315, 2350 et 2531 " fabrication et de travail du verre ou de fabrication de fibres minérales ou artificielles." *BO MEDD 2003/15.*

Arrêté du 21 février 1990 définissant les critères de classification et les conditions d'étiquetage et d'emballage des préparations dangereuses. *JO du 24 mars 1990.*

Arrêté du 28 août 1998 modifiant l'arrêté du 20 avril 1994 relatif à la déclaration, la classification, l'emballage et l'étiquetage des substances et portant transposition de la directive (CE) 97/69 de la

Commission du 5 décembre 1997 portant vingt-troisième adaptation au progrès technique de la directive (CEE) 67/548 modifiée. *J.O n° 209 du 10 septembre 1998 page 13800.*

Arrêté du 28 février 1995 pris en application de l'article D. 461-25 du code de la sécurité sociale fixant le modèle type d'attestation d'exposition et les modalités d'examen dans le cadre du suivi post-professionnel des salariés ayant été exposés à des agents ou procédés cancérogènes. *J.O. du 22 mars 1995.*

Arrêté du 3 janvier 2003 modifiant l'arrêté du 7 août 1997 modifié relatif aux limitations de mise sur le marché et d'emploi de certains produits contenant des substances dangereuses. *J.O n° 7 du 9 janvier 2003 page 486. Texte n° 22.*

Circulaire DRT n° 99/10 du 13 août 1999 concernant les dispositions réglementaires applicables aux fibres minérales artificielles. *(Non parue au Journal officiel).*

Circulaire DRT n°8 du 21 août 1996 modifiant et complétant la circulaire du 19 juillet 1982 modifiée relative aux valeurs admises pour les concentrations de certaines substances dangereuses dans l'atmosphère des lieux de travail. *(Non parue au Journal officiel).*

Circulaire DRT n°95-4 du 12 janvier 1995 modifiant et complétant la circulaire du 19 juillet 1982 modifiée relative aux valeurs admises pour les concentrations de certaines substances dangereuses dans l'atmosphère des lieux de travail. *(Non parue au Journal officiel).*

Code du Travail.

CSHPF (2004): Avis Concernant la Protection de la Population contre les Risques pour la Santé de l'Exposition aux Fibres Minérales Artificielles Siliceuses, *Conseil Supérieur D'Hygiène Publique de France, Section Milieux de vie, Séance du 5 février 2004.*

Décret n° 2001-97 du 1er février 2001 établissant les règles particulières de prévention des risques cancérogènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction et modifiant le code du travail. *J.O n° 29 du 3 février 2001 page 1866.*

Décret n° 2003-1254 du 23 décembre 2003 relatif à la prévention du risque chimique et modifiant le code du travail. *J.O n° 300 du 28 décembre 2003 page 22329. Texte n° 5.*

Décret no 97-331 du 10 avril 1997 relatif à la protection de certains travailleurs exposés à l'inhalation de poussières siliceuses sur leurs lieux de travail. *J.O n° 86 du 12 avril 1997 page 5578.*

Directive 2001/41/CE du Parlement européen et du Conseil du 19 juin 2001 portant vingt-et-unième modification de la directive 76/769/CEE du Conseil concernant le rapprochement des dispositions législatives, réglementaires et administratives des États membres relatives à la limitation de la mise sur le marché et de l'emploi de certaines substances et préparations dangereuses, en ce qui concerne les substances classées cancérogènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction. *Journal officiel n° L 194 du 18/07/2001 p. 0036 – 0037.*

Directive 2002/96/CE du parlement européen et du Conseil datée du 27 janvier 2003 et relative aux déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE), *J.O n° L37 du 13 février 2003 page 19.*

Directive 89/391/CEE du Conseil, du 12 juin 1989 concernant la mise en œuvre de mesures visant à promouvoir l'amélioration de la sécurité et de la santé des travailleurs au travail. *J. O. n° L 183 du 29/06/1989 p. 0001 – 0008. Modifications: Repris par 294A0103(68) (JO L 001 03.01.1994 p.484).*

Directive 96/61/CE du Conseil du 24 septembre 1996 relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution. *JOCE n° L 257 du 10 octobre 1996.*

Directive 97/69/CE de la Commission du 5 décembre 1997 portant vingt-troisième adaptation au progrès technique de la directive 67/548/CEE du Conseil concernant le rapprochement des dispositions législatives, réglementaires et administratives relatives à la classification, l'emballage et l'étiquetage des substances dangereuses. *Journal officiel n° L 343 du 13/12/1997 p. 0019 – 0024.*

Directive 98/24/CE du Conseil du 7 avril 1998 concernant la protection de la santé et de la sécurité des travailleurs contre les risques liés à des agents chimiques sur le lieu de travail (quatorzième directive particulière au sens de l'article 16, paragraphe 1, de la directive 89/391/CEE) *J. O. N° L 131 du 05/05/1998 p. 0011 – 0023.*

Ordonnance no 2001-173 du 22 février 2001 relative à la transposition de la directive 92/85/CEE du Conseil du 19 octobre 1992 concernant la mise en œuvre de mesures visant à promouvoir l'amélioration de la sécurité et de la santé des travailleuses enceintes, accouchées ou allaitantes au travail. *J.O n° 47 du 24 février 2001 page 3018.*

Adresses Internet utiles

- www.unifrax.com
- www.thermalceramics.com
- www.ecfia.org

ANNEXES

Lettre de saisine



MINISTÈRE DE LA SANTÉ
ET DE LA PROTECTION
SOCIALE

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE
ET DU DÉVELOPPEMENT
DURABLE

MINISTÈRE DE L'EMPLOI,
DU TRAVAIL ET DE LA
COHESION SOCIALE

LE DIRECTEUR GÉNÉRAL
DE LA SANTÉ

66120/622

LE DIRECTEUR DES ÉTUDES
ÉCONOMIQUES ET DE
L'ÉVALUATION
ENVIRONNEMENTALE

LE DIRECTEUR DES
RELATIONS DU TRAVAIL

à

Madame la Directrice générale
Agence Française de Sécurité Sanitaire
Environnementale
27-31 Avenue du Général Leclerc
94701 Maisons-Alfort

Paris, le 20 JUIN 2004

Objet : Évaluation de l'exposition de la population générale et des travailleurs aux fibres minérales artificielles siliceuses

Lors de la séance du 5 février 2004, le Conseil supérieur d'hygiène publique de France a rendu un avis relatif à la protection de la population contre les risques pour la santé de l'exposition aux fibres minérales artificielles siliceuses.

Un plan d'actions interministériel a été mis au point et décline les recommandations issues de cet avis. L'une de ces actions consiste à préciser les applications des fibres minérales artificielles siliceuses et à évaluer l'exposition de la population générale et des travailleurs qui en résulte.

C'est pourquoi, afin de répondre à ces objectifs, nous souhaitons dans un premier temps que soient réalisées les expertises nécessaires afin de préciser en priorité :

- les différentes applications passées et actuelles de chaque type de fibres (dans les bâtiments, les équipements ...) en indiquant :
 - l'historique de leur emploi (quantités mises en place et retirées, en distinguant le grand public des professionnels) ;
 - leur accessibilité et les moyens de repérage des matériaux contenant ces fibres ;
 - le devenir de ces fibres après usage (élimination, recyclage ...)
- les caractéristiques techniques des fibres et en particulier l'évolution des matériaux fibreux avec le vieillissement de l'ouvrage (capacité à émettre des fibres dans le cas d'une dégradation, ...)

Et dans un second temps :

- les additifs présents dans ces fibres, notamment dans les fibres « en vrac » (par exemple les liants ...);
- les évolutions techniques dans le domaine des fibres (caractéristiques physico-chimiques des fibres nouvellement mises sur le marché, nouvelles utilisations ...);
- l'existence de produits ou procédés de substitution non dangereux ou moins dangereux;
- la fréquence d'utilisation de ces fibres par rapport à d'autres matériaux remplissant les mêmes fonctions.

Sur la base de ces expertises, nous souhaitons que vous puissiez procéder à l'évaluation de l'exposition de la population générale et des travailleurs aux fibres minérales artificielles siliceuses, en particulier aux fibres céramiques réfractaires et aux microfibres de verre E et Glass 475.

Nous vous invitons à vous rapprocher de la Direction générale de l'industrie, des technologies de l'information et des postes ainsi que de la Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes, qui disposent d'informations et de données factuelles utiles à vos travaux.

Nous vous saurions gré de nous faire parvenir, avant le 15 octobre 2004, une note d'étape sur l'organisation de vos travaux et, au cours du second trimestre 2005, le rapport final.

Par ailleurs, nous vous informons qu'une extension de ces recherches aux autres fibres de substitution à l'amiante (fibres non siliceuses, fibres artificielles organiques, fibres naturelles...) vous sera demandée ultérieurement.

Nos services se tiennent à votre disposition pour de plus amples renseignements.

Nous vous prions d'agréer, Madame la Directrice Générale, l'assurance de notre considération distinguée.

Le directeur général de la santé



Professeur William DAB

Le directeur des relations du travail



Jean-Denis COMBEXELLE

Le directeur des études économiques et de l'évaluation environnementale



Dominique BUREAU

Pièce jointe : Avis du Conseil supérieur d'hygiène publique de France du 5 février 2004 relatif à la protection de la population contre les risques pour la santé de l'exposition aux fibres minérales artificielles siliceuses

Annexe 2 : Synthèse des déclarations publiques d'intérêt

RAPPEL DES RUBRIQUES DE LA DECLARATION PUBLIQUE D'INTERETS

IP-A	Interventions ponctuelles : autres
IP-AC	Interventions ponctuelles : activités de conseil
IP-CC	Interventions ponctuelles : conférences, colloques, actions de formation
IP-RE	Interventions ponctuelles : rapports d'expertise
IP-SC	Interventions ponctuelles : travaux scientifiques, essais, etc.
LD	Liens durables ou permanents (Contrat de travail, rémunération régulière ...)
PF	Participation financière dans le capital d'une entreprise
SR	Autres liens sans rémunération ponctuelle (Parents salariés dans des entreprises visées précédemment)
SR-A	Autres liens sans rémunération ponctuelle (Participation à conseils d'administration, scientifiques d'une firme, société ou organisme professionnel)
VB	Activités donnant lieu à un versement au budget d'un organisme

La déclaration des liens pour les experts *intuitu personae*, objet de la présente annexe, concerne les activités réalisées en lien direct avec la thématique traitée par ce rapport, à savoir les fibres minérales artificielles.

DECLARATIONS PUBLIQUES D'INTERETS DES MEMBRES

NOM	Prénom <i>Rubrique e la DPI</i> Description de l'intérêt	Date déclaration des intérêts	de des
-----	--	--	-----------

AMEILLE Jacques

9 février 2005

VB

St Gobain Isover (Contrat de recherche donnant lieu à versement au profit de l'Institut Inter-universitaire de Médecine du Travail de Paris-Ile-de-France (IIMTPIF) en vue d'investiguer les liens entre exposition professionnelle aux laines de verre et laines de roche et les résultats d'examens radiologiques)

BROCHARD Patrick	21 novembre 2005
Aucun lien déclaré	

BUNSELL Antony	18 février 2007
Aucun lien déclaré relevant de la saisine	

JOURAND Marie-Claude	22 février 2005
Aucun lien déclaré	

MARTINON Laurent	9 février 2005
Aucun lien déclaré	

PAIRON Jean-Claude	28 mars 2005
LD	
Ville de Paris (Responsable scientifique du Laboratoire d'Etudes des Particules Inhalées)	
IP-A	
Concours Médical (Réponse aux questions des lecteurs dans le champ des fibres minérales)	
VB	
St Gobain Isover (Contrat de recherche donnant lieu à versement au profit de l'Institut Inter-universitaire de Médecine du Travail de Paris-Ile-de-France (IIMTPIF) en vue d'investiguer les liens entre exposition professionnelle aux laines de verre et laines de roche et les résultats d'examens radiologiques)	

PARIS Christophe	20 juin 2003
Aucun lien déclaré relevant de la saisine	

STÜCKER Isabelle	22 mars 2006
IP-RE	
Inserm (Effets sur la santé des fibres de substitution à l'amiante ; susceptibilité génétiques et expositions professionnelles)	

Les personnes suivantes siègent en tant que représentants de leurs organismes pour les travaux de ce groupe de travail et interviennent au titre de l'organisme et non de manière individuelle. Par conséquent, une déclaration publique d'intérêts ne leur a pas été demandée.

M. Franck Chaventré et M. Christian Cochet siègent en tant que représentants du CSTB.

Mme Danièle Luce, Mme Stéphanie Vandentorren et M. Stéphane Ducamp siègent en tant que représentants de l'InVS.

M. Edmond Kauffer et M. Raymond Vincent siègent en tant que représentants de l'INRS.

Annexe 3 : Analyse statistique des fibres en suspension sur différents postes de travail (CIRC, 2002)

Type de fibres et d'activités	Méthode utilisée	Diamètre		Longueur		Corrélation entre log _e (longueur) et log _e (diamètre)
		Moyenne géométrique (µm)	Déviati on standard	Moyenne géométrique (µm)	Déviati on standard	
Simulation d'une phase précoce lors de la production de laine de roche	SEM	0,3-0,5	1,9-2,7	7,0-9,0	2,2-3,0	0,4-0,6
Utilisation de laine de roche	SEM	1,2	2,7	22	4,0	0,7
Utilisation de laine de verre	SEM	0,75	2,8	16	3,5	0,7
Utilisation de laine de verre	SEM	0,8-1,9	1,4-1,9	9,5-30	1,4-2,5	0,2-0,7
Utilisation de laine de roche	SEM	1,6-1,9	1,6-1,9	19	1,7-2,7	0,4-0,6
Laine de verre (préparation isolation domestique)	SEM	0,91-1,2	1,7-1,8	9,2-9,3	2,3-2,5	Non déterminé
Laine de roche (préparation isolation domestique)	SEM	1,3-1,7	1,9	12-17	2,5-2,8	Non déterminé
Installation de plaques de FMA	SEM	0,9-1,3	2,2	22-37	2,8-2,9	0,5-0,6
Installation de FMA en vrac avec liant	SEM	1,0-2,0	1,8-2,2	30-50	2,3-2,6	0,4-0,6
Installation de FMA en vrac sans liant	SEM	0,60	1,9	14-15	2,4-2,6	0,5-0,6
Production et utilisation de FCR	TEM	0,84	2,05	14,1	2,5	0,4
Production de FCR	SEM	0,96-1,2	1,7-1,9	12-19	2,4-2,6	Non déterminé
Production de FCR	SEM	0,86	1,9-2,0	11-13	2,4-2,6	Non déterminé

SEM : Scanning electron microscopy

TEM : Transmission electron microscopy

Annexe 4 : Liste explicative des produits contenant des FCR, appellations commerciales et numéro CAS des composants (ECFIA, 2005)

Forme du produit	Fabricant	Numéro MSDS	Appellations commerciales	Composant	Numéro CAS	% du poids
Fibre (vrac, nappe, éléments modulaires)	Unifrax	M0001	Vrac : Fibres Fiberfrax haute pureté, Fibres Fiberfrax série 6000, Fibres Fiberfrax 7000, Fibres Fiberfrax broyées, Fibres Fiberfrax à indice de fibrage élevé, Fibres Fiberfrax HSA, Fibres de kaolin Fiberfrax	Produits réfractaires, Fibres, Aluminosilicate	142844-00-6	100
			Nappe : Durablanket AC, HP, HP-S, S & Strip, Duraback, Duraback S, Isolation de réservoir automobile, TCB, SMB, QSB600, QSB800, Fibermat, nappe Lo-Con			
	M0033, M0114	Produits Fiberfrax AZS	Autre formulation : Produits réfractaires, Fibres, Aluminosilicate (contenant de la zirconie)	142844-00-6	100	
		Vrac : série Fiberfrax 8000, fibres Fiberfrax AZS				
		Nappe : Fiberfrax Durablanket 2600, Fiberfrax Durablanket SE, Fiberfrax Durablanket AC-2				
	Thermal Ceramics	201	Kaowool, Cerafiber, Cerachem, Unibloc, Saber Bloc, Quad-Bloc, Pyro-Fold, Ultrafelt, Pyro-Blanket, Pyro-Log, Cerablanket, Z-Bloc, Isoblanket, PyroBloc : nappe, modules, bandes, vrac, remplissage, isolation, formes, cordon, fibres techniques, nappe traitée thermiquement (toutes qualités)	Produits réfractaires, Fibres, Aluminosilicate (contenant de la zirconie)	142844-00-6	100
252		Cerachrome, Z-Blok (CCR), Pyro-Bloc C Grade, nappe Refracto : nappe, modules, bandes, vrac, fibres techniques (toutes qualités)	Produits réfractaires, Fibres, Aluminosilicate Oxyde de chrome	142844-00-6 1308-38-9	95 – 100 Jusqu'à 3	
Rath	N/A	Fibre céramique KM, KF (toutes qualités, vrac, hachées, broyées, nappe, module, module géant))	Fibres à base de silice et de zirconie	142844-00-6		
Panneau, Pièces de forme	Unifrax	M0042	Fiberfrax Duraboard LD : Duraboard LD, Duraboard LD-RG, Duraboard LD-HT	Produits réfractaires, Fibres, Aluminosilicate Silice (amorphe)	142844-00-6	70 – 85

Forme du produit	Fabricant	Numéro MSDS	Appellations commerciales	Composant	Numéro CAS	% du poids
				Amidon	7631-86-9 9005-25-8	10 – 15 5 – 10
		M0039	Fiberfrax Duraboard HD	Produits réfractaires, Fibres, Aluminosilicate Argile de kaolin calcinée Silice (amorphe) Amidon	142844-00-6 1332-58-7 7631-86-9 9005-25-8	60 – 65 15 – 20 10 – 15 5 – 10
		M0153	Fiberfrax Panneau V : V-20, V-40	Produits réfractaires, Fibres, Aluminosilicate Cellulose Silice (amorphe) Latex acrylique	142844-00-6 9004-34-6 7631-86-9 Mélange	65 – 75 15 – 25 5 – 10 5 – 10
		M0165	Fiberfrax Panneau ES : 350 ES, 500 ES	Produits réfractaires, Fibres, Aluminosilicate Silice (amorphe) Amidon Kaolin	142844-00-6 7631-86-9 9005-25-8 13332-58-7	60 – 95 2 – 10 5 – 10 0 – 25
		M0300	Fiberfrax Duraboard 3000S	Produits réfractaires, Fibres, Aluminosilicate Fibre de mullite Silice (amorphe) Amidon Carbure de silicium	142844-00-6 1302-93-8 7631-86-9 9005-25-8 409-21-2	25 – 30 20 – 30 25 – 30 5 – 15 5 – 10
	Thermal Ceramics	203	Kaowool : 12C, M, Rigidized M, HP, PM, HT, 2300R, 2300H, V/F & 399E Ceraform: 102, 103, 140, 141 & Firemaster NS moulé sur mesure TM 2300	Produits réfractaires, Fibres, Aluminosilicate Silice (amorphe) Amidon	142844-00-6 7631-86-9 9005-25-8	85 – 90 5 – 15 4 – 8
		265	Ceraboard inorganique : Ceraboard 100	Produits réfractaires, Fibres, Aluminosilicate Matériau inorganique inerte Amidon	142844-00-6 Aucun 9005-25-8	15 – 90 25 – 75 0 – 8
		211	Kaowool : S, HS, HS45, SHP Panneaux et pièces de formes	Produits réfractaires, Fibres, Aluminosilicate Silice fondue (amorphe) Alumine Amidon Silice (amorphe) Silice cristalline	142844-00-6 60676-86-0 1344-28-1 9005-25-8 7631-86-9 14808-60-7 ou 14464-	23 – 64 Jusqu'à 56 Jusqu'à 46 4 – 8 3 – 7 0 – 2

Forme du produit	Fabricant	Numéro MSDS	Appellations commerciales	Composant	Numéro CAS	% du poids
					46-1	
		259	Panneau Kaowool 2800-M, Panneau Kaowool 3000-M, Mix 2S4 - E	Produits réfractaires, Fibres, Aluminosilicate Mullite (forme fibreuse) Oxyde d'aluminium (forme fibreuse) Alumine Silice (amorphe) Amidon	142844-00-6 1302-93-8 1344-28-1 1344-28-1 7631-86-9 9005-25-8	Jusqu'à 65 35 – 45 20 – 30 20 – 30 2 – 10 5 – 10
		260	Kaowool : 2600, 2600R, 3000, 14C, 15C, 17C, Unifelt 14C : Panneaux, modules, gaines, pièces de formes	Produits réfractaires, Fibres, Aluminosilicate Oxyde d'aluminium (forme fibreuse) Silice (amorphe) Amidon Latex	142844-00-6 1344-28-1 7631-86-9 9005-25-8 Aucun	Jusqu'à 70 10 - 50 8 – 15 0 – 10 5 - 10
	Rath	N/A	Kerform AL, CS, CU : panneaux et formes	Produits réfractaires, Fibres, Aluminosilicate Alumine Silice Charge (produit exclusif) Charge (produit exclusif) Charge (produit exclusif) Charge (produit exclusif)	142844-00-6 1344-28-1 7631-86-9 13462-85-7 10101-39-0 28492000 38239093	Non précisé Non précisé Non précisé Non précisé Non précisé Non précisé
Feutres	Unifrax	M0027	Feutres Fiberfrax, feutres Lo-Con, Duraset, Duraset LE, Spacefelt, AC Felt, QSF 3000	Produits réfractaires, Fibres, Aluminosilicate Amidon Phénol, polymérisé avec le formaldéhyde Formaldéhyde, polymérisé avec l'ammoniac et le phénol Phénol (tel que dans la résine de phénol) Formaldéhyde (tel que dans la résine de phénol)	142844-00-6 9005-25-8 9003-35-4 35297-54-2 100-97-0 108-95-2	94 – 98 1 – 3 0 – 3 0 – 3 0 – 1 0 – 1
		M0104	Feutre Fiberfrax Bonded 30	Produits réfractaires, Fibres, Aluminosilicate Fibre de mullite Sulfate d'aluminium Silice (amorphe) Phénol (tel que dans la résine de phénol)	142844-00-6 1302-93-8 10043-1-3 7631-86-9 100-97-0	40 – 45 40 – 45 5 – 10 4 – 5 0 – 1

Forme du produit	Fabricant	Numéro MSDS	Appellations commerciales	Composant	Numéro CAS	% du poids
	Thermal Ceramics	258	Feutre Cerafelt, Kaoset, Thermoflex	Produits réfractaires, Fibres, Aluminosilicate Phénol, polymérisé avec le formaldéhyde	142844-00-6 9003-35-4	89 – 98 2 – 11
		255	Feutre Cerachrome (polymérisé au four ou à la presse)	Produits réfractaires, Fibres, Aluminosilicate Phénol, polymérisé avec le formaldéhyde Oxyde de chrome	142844-00-6 9003-35-4 1308-38-9	89 – 98 2 – 11 Jusqu'à 3
		269	K-Shield Felt, K-Shield Felt LS, K Shield Feld AG	Produits réfractaires, Fibres, Aluminosilicate Phenol, polymerise avec le formaldéhyde	142844-00-6 9003-35-4	89 – 98 2 – 11
Papier	Unifrax	M0055	Papiers haute pureté Fiberfrax : 550-F, 550-J, 550-K, 880-F, 880-J, 970-A, 970-F, 970-J, 970-K, Rollboard, HSA-F avec liant, HSA-J avec liant, QSP100, QSP300, QSP500, QSP1000	Produits réfractaires, Fibres, Aluminosilicate Latex acrylique	142844-00-6 Mélange	85 – 95 5 – 15
		M0060	Papier Fiberfrax 440	Produits réfractaires, Fibres, Aluminosilicate Laine minérale Hydroxyde d'aluminium Latex acrylique Fibre de verre à filament continu Sulfate d'aluminium Phénol, polymérisé avec le formaldéhyde Hexamine (tel que dans la résine de phénol) Phénol (tel que dans la résine de phénol)	142844-00-6 Non attribué 21645-51-2 Mélange 65997-17-3 10043-01-3 9003-35-4 100-97-0 108-95-2	35 – 40 35 – 40 10 – 15 5 – 10 5 – 10 1 – 6 1 – 2 0,2 0,1
		M0060	Papiers Fiberfrax 110 110-F, 110-J	Produits réfractaires, Fibres, Aluminosilicate Latex acrylique Kaolin Sulfate d'aluminium Silice (amorphe) Copolymère acrylamide cationique	142844-00-6 Mélange 1332-58-7 10043-01-3 7631-86-9 Mélange	72 – 85 7 – 12 8 – 10 1 – 6 1 – 2 0 – 1
	Thermal Ceramics	202	Papier Kaowool : aluminosilicate toutes qualités, Flex Wrap, Unifelt 2300, 361-Z, 308-Z : Papier, Bobine, Mise en forme à l'emporte-pièce	Produits réfractaires, Fibres, Aluminosilicate Latex	142844-00-6 Aucun	90 – 100 0 – 10

Forme du produit	Fabricant	Numéro MSDS	Appellations commerciales	Composant	Numéro CAS	% du poids
		231	Mix 333-F, papier extensible	Produits réfractaires, Fibres, Aluminosilicate Graphite Latex	142844-00-6 7782-42-5 Aucun	80 – 95 5 – 15 4 – 8
	Rath	N/A	K-Shield Paper Qualités de papier à base de fibres céramiques : 550LF & LJ, 880 LAH, LHF & LJH, 970 LA, LF, LJ, LAH, LFH, LJH & LKH, 1530 LA, LF, LJ, & LAR, 1535 LK & GC	Produits réfractaires, Fibres, Aluminosilicate Produits réfractaires, Fibres, Aluminosilicate Latex acrylique Silice cristalline (se formera suite à l'utilisation du produit) température > 1000 °C	142844-00-6 142844-00-6 Mélange 14464-46-1	100 88 – 100 0 – 12 > 20

Produits	Composants significatifs (% de poids)	Symbole de danger	Phrase de risque
Vrac lubrifié	Lubrifiant organique (<1 %)		Aucune
Vrac non lubrifié	Aucun	Aucun	Aucune
Nappes Durablanket, Durablanket S, Durablanket H, Durablanket WR, Fiberfrax SP Mat, Durablanket AC, Durablanket SF	Aucun	Aucun	Aucune
Papiers et feutres Papier Fiberfrax FT, papier Fiberfrax DS, feutre Fiberfrax Durafelt LD, feutre Fiberfrax Durafelt HD Papier 880, Papier 972	Silicate de sodium (<5 %)	Aucun	R36/R38
	Latex Acrylique (<15 %)	Xi	Aucune
Papiers XPE	Vermiculite (40-60 %)	Aucun	Aucune
	Liant organique (5-15 %)	Aucun	
Papiers et feutres Papier Fiberfrax P, Feutre Lo-Con Fiberfrax	Résine phénolique (<4 %)	Xn	R21/22 R36/38 R42/43
Panneaux et Pièces de forme Panneaux Fiberfrax Duraboard LD et MD Panneaux Spéciaux Fiberfrax KT et 1010 Panneaux fiberfrax 1500 et 1600	Silice amorphe (5-40 %)	Aucun	Aucune
Panneaux et Pièces de forme Panneaux spéciaux Fiberfrax Duraboard CT	Aluminate de calcium (<40 %)	Xi	R36/R38
Panneaux et Pièces de forme Fiberfrax Rigiform	Silice amorphe (<5-40%)	Aucun	Aucune
Panneaux et Pièces de forme Fiberfrax Flexiform	Latex acrylique <15 %	Aucun	Aucune
Modules à coller Fiberfrax Module Bonded S	Aucun	Aucun	Aucune
Modules Fiberfrax Prismo-Block Modules Prismo-Block S	Aucun	Aucun	Aucune
Produits Spéciaux Fiberfrax Fraxform 90	Aluminate de calcium <15 %	Xi	R36/38
	Silice amorphe (15-50 %)	Aucun	
Produits Spéciaux Fiberfrax Moist Pak et Moist Pak HD Fiberbrax GC50	Silice amorphe (15-50 %)	Aucun	Aucune

Produits	Composants significatifs (% de poids)	Symbole de danger	Phrase de risque
Produits Spéciaux Système Skidrail Fiberfrax	Latex acrylique (<15 %)	Aucun	Aucune
Produits Spéciaux Fyreputty	Aluminium tripolyphosphate (<20 %)		
	Silice colloïdale (<40 %)	Aucun	Aucune
	Ethylène glycol (<10 %)	Xn	R22
Produits Spéciaux IG Tape Foil backed Fiberfrax	Silicate de sodium (6 %)	Xi	R36/38
	Silicate de sodium (4 %)	Xi	R36/38
Enduits / Ciments Fiberfrax QF-180 Fiberfrax QF-150	Silice amorphe (<20 %)	Aucun	Aucune
	Ethylène glycol (<5 %)	Xn	R22
Mélanges / Mastics Fiberfrax Fraxfil, Fraxfil H, LDS Moldable Mastic Fiberfrax, Mastic HD Fiberfrax	Silice amorphe (5-50 %)	Aucun	Aucune
	Ethylène glycol (<10 %)	Xn	R22
Mélanges / Mastics Fiberfrax Variform B	Aluminate de calcium (>60 %)	Xi	R36/38
	Silice amorphe (< 10%)	Aucun	Aucune
Mélanges / Mastics Fiberfrax KUB	Aluminate de calcium (<40 %)	Xi	R36/38
Mélanges / Mastics K1210	Aluminate de calcium (<20 %)	Xi	R36/38
	Charmot (50-65 %)		
Textiles Cloth MRT	Aucun	Aucun	Aucune

Annexe 5 : Applications actuelles des diverses formes de FCR et de laines d'AES (ECFIA, 2006b)

Forme	Applications actuelles
Fibres en vrac et fibres hachées	<ul style="list-style-type: none"> • Fabrication de bétons et mastics • Fabrication de textile • Garnissage de cheminées double paroi • Garnissage de portes coupe-feu • garnissage de wagonnet, produit de base dans les procédés de transformation par voie humide comme le fromage sous-vide • Garnissage intérieur de chariots de fours • Joints de dilatation • Matière première pour la fabrication de textiles hautes températures • Matières filtrantes • Transformation par voie humide
Nappes de FCR	<ul style="list-style-type: none"> • Enveloppes de moules de précision • Isolation de fours haute température • Isolation de voûtes de fours de verrerie • Isolation haute température de flexibles • Joints de cloche de recuit • Joints de dilatation • Joints de fours pits • Joints haute température • Nappes isolantes amovibles pour détensionnement des contraintes de soudures • Revêtements de cheminées et d'équipement d'incinération • Systèmes de protection incendie
Nappes de laines d'AES.	<p>Equipement ménager</p> <ul style="list-style-type: none"> • Garnissage de conduits de cheminées • Isolation de chaudières • Isolation de cuisinières, fours, plaques de cuisson • Isolation des appareils de chauffage à accumulation • Joints coupe-feu • Joints de poêle à bois <p>Protection incendie</p> <ul style="list-style-type: none"> • Couvercles de fours creuset • Couvercles de refroidissement • Ecrans thermiques • Gainage de colonnes et poutres • Garnissage de chenaux de coulée pour métaux non ferreux • Garnissage de gaines de gaz chauds, carneaux de fumée et cheminées • Garnissage de portes coupe-feu : protection incendie, pare-vapeur dans certains fours, isolation de cheminées domestiques, rideau thermique. • Isolation de 2ème rang derrière briques et/ou bétons réfractaires • Isolation intérieure et extérieure de conduits • Joints de dilatation dans le bâtiment • Modules de logement sur les installations offshore • Protection thermique et anticorrosion pour supports de tube de réchauffeur • Réduction des tensions de soudure • Revêtement de la face chaude des garnissages en nappes des chaudières et des fours • Revêtement et étanchéité de porte de four • Revêtement haute température de fours

<p>Papier et feutre à base de FCR</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Couvertres amovibles de brides • Enveloppes de moules de précision • Garnissage de lingotière • Isolation de 2ème rang dans le transport de métaux en fusion • Isolation de 2ème rang pour métaux en fusion • Isolation de 2ème rang pour poches de coulée • Isolation de fours à induction • Isolation de réacteurs thermiques • Isolation de réformeur primaire • Isolation de voûtes de fours de verrerie • Joints de dilatation • Joints haute température • Joints haute température • Joints haute température pour l'industrie • Revêtement d'équipement d'incinération et de carneaux • Revêtement de fours et chaudières
<p>Papier et feutre à base de laines d'AES</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Chauffage par catalyse • Ecrans thermiques pour l'industrie automobile • Enveloppe isolante pour la protection des busettes en sidérurgie • Garnissage de lingotières pour métaux non ferreux • Isolation de 2ème rang dans les fours et les chenaux de coulée • Isolation de 2ème rang pour les systèmes de transfert d'aluminium • Isolation de masselottes de lingotières pour l'acier • Isolation pour l'aérospatiale • Isolation pour l'industrie nucléaire • Joints pour appareils domestiques et industriels • Joints pour systèmes de coulée basse pression • Protection de tube de thermocouple • Refroidissement contrôlé de pièces de fonderie • Séparateurs pour les fours à induction
<p>Panneaux à base de FCR</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Déflecteurs et moufles haute température • Garnitures et joints haute température • Isolation de cuves de verre • Réfractaire de 2ème rang • Revêtements de chenaux de distribution pour métal en fusion • Revêtements de conduites de gaz chaud • Revêtements de fours • Systèmes de chauffage • Systèmes de protection incendie

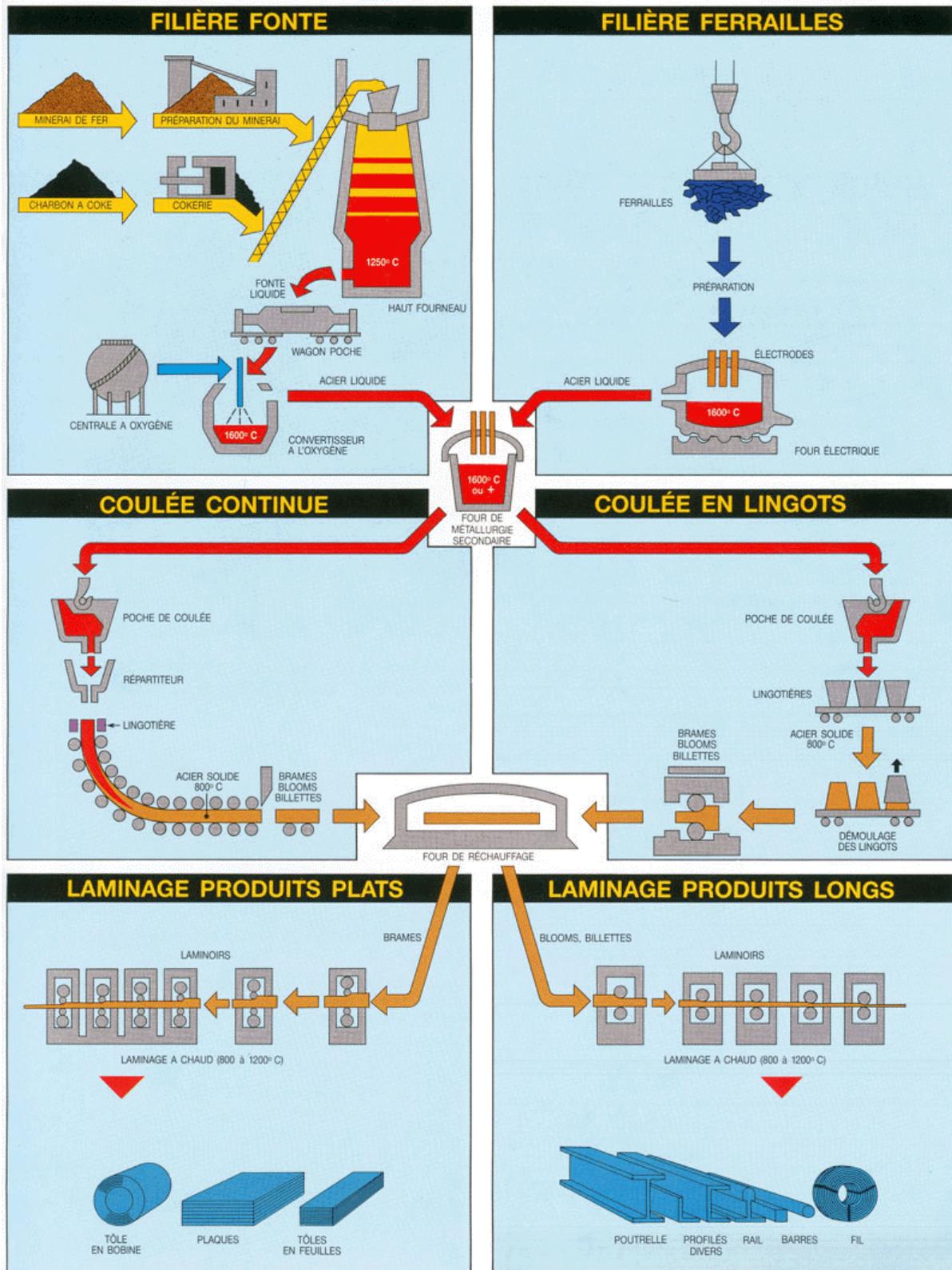
Panneaux à base de laines AES	<ul style="list-style-type: none"> • Couvertres de goulottes de coulée pour l'aluminium • Couvertres de refroidissement • Ecrans thermiques • Ecrans thermiques pour la protection du personnel • Garnitures et joints haute température • Garnitures et joints rigides haute température • Isolation de chambre de combustion de chaudière domestique • Isolation thermique de 2ème rang (derrière briques ou béton) • Isolation thermique de chaudière domestique murale • Revêtements de chenaux de coulée et de distribution pour les métaux non ferreux • Systèmes de protection incendie
Forme à base de FCR	<ul style="list-style-type: none"> • Blocs brûleur • Cônes d'obturation et répartiteurs de coulée • Isolation de pots catalytiques • Isolation de tuyauteries • Joints de dilatation • Manchons • Masselottes de lingotière • Regards • Supports d'éléments électriques
Forme à base de laines d'AES	<p>Pétrochimie / Céramique / Métaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bassins de distribution • Couvertres de chenaux de coulée • Encadrements de wagonnet • Joints de conduit de réformeur primaire • Masselottes de lingotière • Isolation de 2ème rang derrière les garnissages en briques/bétons • Isolation de tubulures • Pièces pour cheminée au gaz • Protection de thermocouples et de manchons d'échantillonnage d'acier • Protection des prises d'air de coulées continues d'acier • Regards et étanchéité des passages de tubes de réformeur en pétrochimie <p>Electroménager</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bûches et boulets pour cheminée au gaz • Isolation de chambre de combustion de chaudière • Joints de cheminée • Portes de chaudière • Supports d'élément chauffant pour plaque de cuisson • Revêtement de chambre de combustion de chaudière • Supports d'éléments chauffants de plaques de cuisson <p>Automobile</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cônes et isolation pour pots catalytiques • Coquilles flexibles pour silencieux • Ecrans thermiques

<p>Module à base de FCR</p>	<p>Pétrochimie</p> <ul style="list-style-type: none"> • Chaudières • Fours de distillation • Réformeurs primaires • Vapocraqueurs <p>Sidérurgie/Métallurgie</p> <ul style="list-style-type: none"> • Couvercle de poche • Couvercles de four pit • Fours de forge • Fours de réchauffage • Fours de traitement thermique • Préchauffeurs de poche <p>Céramique</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fours tunnel tuiles et briques, sanitaire porcelaine • Fours cellule • Four de cuisson de grès • Four de cuisson de porcelaine • Four de cuisson de réfractaires
<p>Enduit, ciment et mastic</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Adhésif pour revêtement de moule, pour les métaux haute pureté ou le verre • Bouchage de fissures réfractaires et de joints de dilatation • Bourrage de coupelles céramiques en paroi • Enduit de protection pour les installations de distribution d'aluminium liquide • Enduit intérieur pour tubulures d'échappement dans l'automobile • Enduit pour revêtements métalliques • Garnissage de chenaux de coulée pour métaux non ferreux soumis à une forte érosion • Garnissage de goulottes, distributeurs, poches et couvercles pour l'aluminium et autres métaux non ferreux • Isolation de fours à induction • Isolation de passages de cannes (par exemple : tubes, porte-tubes et thermocouples) • Isolation électrique sur bobine d'induction des fours à induction • Joints d'encadrement de portes de four • Joints d'étanchéité de barre de connexion de cellules de réduction (aluminium) • Joints d'étanchéité entre éléments de viroles de cheminées métalliques ou réfractaires • Moulage de petites pièces • Poteyage anti-oxydation sur les tubes plongeurs pour l'aluminium, les tubes thermocouples pour la fonte et les cuves de galvanisation • Réparation à chaud et à froid de crevasses et fissures réfractaires • Réparation à chaud ou à froid d'isolation de chaudières • Réparation à chaud ou à froid de revêtements réfractaires de 2^{ème} rang • Réparation d'ouvrages en briques • Réparations autour de blocs brûleurs • Revêtement de distributeurs pour l'aluminium et autres métaux non ferreux • Surface radiante à infrarouge pour éléments chauffants
<p>Textile</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Isolation de câbles • Isolation des portes de fours • Joint et emballage • Protection personnel • Rideau de fours • Vêtement incendie

Produits	Caractéristiques principales	Applications
Fibres en vrac	Elasticité	<ul style="list-style-type: none"> Utilisation en bourrage et remplissage hautes températures Joint d'expansion, joint d'étanchéité de fours Isolation de conduits de cheminées métalliques, isolation de blindage de fours et d'enceintes thermiques, isolation de structures complexes
Fibres techniques		<ul style="list-style-type: none"> Additif pour peintures, renforcement, bourrage
Nappes	Faible conductivité thermique ; flexibilité ; solidité	<ul style="list-style-type: none"> Garnissage de fours industriels Refroidissement contrôlé de pièces de fonderie Recuit de soudure sur site Joint d'étanchéité de fours Support de catalyse Boucliers thermiques et phoniques sur automobiles Isolation électrique et phonique haute température Isolation dans l'industrie nucléaire Protection contre l'incendie dans le bâtiment Isolation d'appareils électroménagers Carneaux de fumée en raffinerie Chenaux de coulée de métaux non-ferreux Rideaux de fours Ecrans thermiques et vêtements d'intervention Pare-vapeurs Isolation de cheminées domestiques
Feutres et papiers	Faible conduction thermique, propriétés diélectriques	<ul style="list-style-type: none"> Garnissage de chambres de combustion de chaudières Joint de dilatation Calorifugeage de poches de fonderie Isolation de pots d'échappement
Panneaux rigides	Elasticité, rigidité, résistance à la grande vitesse de l'air	<ul style="list-style-type: none"> Isolation de portes de chaudières domestiques ou industrielles
Modules à coller	Faible conductivité thermique ; flexibilité ; solidité	<ul style="list-style-type: none"> Réfection et isolation de maçonnerie réfractaire Garnissage de fours industriels
Textile	Elasticité, propriétés d'isolation	<ul style="list-style-type: none"> Isolation de portes de chaudières domestiques ou industrielles
Produits façonnés non	Variable	<ul style="list-style-type: none"> Béton : garnissage de poches de coulées de fonderie Mastic : maçonnerie Colles et enduits

Principales applications des FCR selon leurs formes (Inserm, 1999 ; CIRC, 2002)

Annexe 6 : Procédé de fabrication de l'acier (ATS, 2006)



Annexe 7 : Tableaux détaillant l'ensemble des données présentées dans les graphiques issus d'EVALUTIL

TABLEAU N°1 : Secteur de la production et de la transformation de FCR

Code Citi : 3513 Fabrication des résines synthétiques, matières plastiques et fibres artificielles, à l'exclusion du verre

Classes d'exposition (f/ml)	Cote	Auteur, Année	Situation de travail	Fréquence de la tâche	Durée de la tâche	Protection Collective	Protection Individuelle	Méthode Comptage	Durée moy. minute	Moy.	Min.	Max.
> 0,6	45.1 - 178	Laboratoire CRAM Normandie, 1996	Changement du sac récupérateur des poussières aspirées (contenant des FCR)	Occasionnelle	10 min	Absente	Masque complet ou demi-masque + filtre P3	MOCP		20,35	17,4	23,3
	37.1 - 159	Laboratoire CRAM Normandie, 1987	Changement du sac récupérateur des poussières aspirées (contenant des FCR)	Occasionnelle	10 min	Absente	Absente	Non renseignée	6	16,05	10,6	21,5
	45.5 - 182	Laboratoire CRAM Normandie, 1996	Ponçage de pièces moulées FCR	Permanente	La journée	Captage non enveloppant	Pièce faciale filtrante FFP1	MOCP		10,6	9,8	11,5
	45.6 - 183	Laboratoire CRAM Normandie, 1996	Découpe de pièces moulées FCR	Permanente	La journée	Captage non enveloppant	Pièce faciale filtrante FFP1	MOCP		8,4	7,4	9,4
	80.2 - 251	Laboratoire CRAM Pays de la Loire, 1994	Opération de ponçage de produits "plan" FCR	Permanente	La journée	Captage non enveloppant	Pièce faciale filtrante FFP1	MOCP		8,4	3,1	15,4

37.2 160	-	Laboratoire CRAM Normandie, 1987	Introduction et réception de plaques planes FCR dans la ponceuse	Permanente	La journée	Captage enveloppant à la source	Absente	MOCP	60	8	10,6	21,5
45.3 180	-	Laboratoire CRAM Normandie, 1996	Ebavurage avec un lapidaire de pièces moulées FCR	Permanente	La journée	Captage enveloppant à la source	Pièce faciale filtrante FFP1	MOCP		7,5	4,2	10,9
80.3 252	-	Laboratoire CRAM Pays de la Loire, 1994	Approvisionnement et surveillance des mélangeurs de vrac FCR	Permanente	La journée	Captage non enveloppant	Pièce faciale filtrante FFP1	MOCP		7,3	5	9,5
52.1 200	-	Laboratoire CRAM Normandie, 1999	Conditionnement de panneaux rigides FCR	Fréquente	120 min	Captage non enveloppant	Pièce faciale filtrante FFP2	MOCP		6,8	2,2	13,2
41.2 171	-	Laboratoire CRAM Normandie, 1992	Sciage de pièces moulées FCR	Permanente	La journée	Captage non enveloppant	Absente	MOCP		5,96	5,15	6,77
45.2 179	-	Laboratoire CRAM Normandie, 1996	Introduction de plaques FCR dans la ponceuse	Permanente	La journée	Captage non enveloppant	Pièce faciale filtrante FFP1	MOCP		5	3,3	6,7
45.4 181	-	Laboratoire CRAM Normandie, 1996	Ebavurage manuel (avec des gants) du pourtour de la base de pièces moulées FCR en forme de cône	Permanente	La journée	Captage non enveloppant	Pièce faciale filtrante FFP1	MOCP		4,9	2,9	8,1
38.1 165	-	Laboratoire CRAM Normandie, 1989	Introduction de plaques FCR dans la ponceuse	Permanente	La journée	Captage enveloppant à la source	Absente	MOCP		3,55	3,27	4,06

50.4 - 195	Laboratoire CRAM Normandie, 1998	Changement du sac récupérateur des poussières aspirées (contenant des FCR)	Occasionnelle	30 min	Absente	Pièce faciale filtrante FFP2	MOCP		3,33	1,47	4,2
135.2 - 717	Kauffer E, 2003	Zone de finitions des fibres et transformation	Permanente	La journée	Non renseignée	Non renseignée	MOCP		2,43	1,21	4,41
50.1 - 192	Laboratoire CRAM Normandie, 1998	Ebavurage avec un lapidaire de pièces moulées FCR	Permanente	La journée	Captage enveloppant à la source	Pièce faciale filtrante FFP2	MOCP		2,03	1,1	3,2
50.2 - 193	Laboratoire CRAM Normandie, 1998	Introduction de plaques FCR dans la ponceuse et réception en sortie de machine	Permanente	La $\frac{1}{2}$ journée	Captage non enveloppant	Pièce faciale filtrante FFP2	MOCP		1,8	0,8	2,8
50.5 - 196	Laboratoire CRAM Normandie, 1998	Diverses opérations d'usinages de pièces moulées FCR	Permanente	La $\frac{1}{2}$ journée	Captage non enveloppant	Pièce faciale filtrante FFP3	MOCP		1,77	0,32	3,9
50.3 - 194	Laboratoire CRAM Normandie, 1998	Mise en carton de plaques FCR récemment poncées	Intermittente	30 min	Absente	Pièce faciale filtrante FFP1	MOCP		1,05	0,9	1,2
135.2 - 717	Kauffer E, 2003	Zone de finitions des fibres et zone de transformation	Permanente	La journée	Non renseignée	Non renseignée	MOCP		0,97	0,41	2,48
52.5 - 204	Laboratoire CRAM Normandie, 1999	Usinage de pièces moulées FCR cylindriques	Permanente	La $\frac{1}{2}$ journée	Captage non enveloppant	Pièce faciale filtrante FFP2	MOCP		0,91	0,55	1,28
135.1 - 716	Kauffer E, 2003	Zone de production par soufflage et spinné des fibres	Permanente	La journée	Non renseignée	Non renseignée	MOCP		0,76	0,24	1,75

0,1 – 0,6	133.32 - 703	Esmen NA, 1978	Zone de fibérisation (conduite de fours, mélangeurs, opération de transfert et de chargement)	Permanente	La journée	Non renseignée	Non renseignée	MOCP, OSHA Standard 29 CFR 1910-93	0,578		
	41.1 - 170	Laboratoire CRAM Normandie, 1992	Moulage de pièces FCR	Permanente	La journée	Absente	Absente	MOCP	0,5	0,49	0,51
	52.4 - 203	Laboratoire CRAM Normandie, 1999	Fabrication de pièces moulées FCR	Permanente	La journée	Absente	Absente	MOCP	0,43	0,31	0,62
	133.32 - 703	Esmen NA, 1978	Zone de fibérisation (conduite de fours, mélangeurs, opération de transfert et de chargement)	Permanente	La journée	Non renseignée	Non renseignée	MOCP, OSHA Standard 29 CFR 1910-93	0,365		
	135.1 - 716	Kauffer E, 2003	Zone de production par soufflage et spinnéur des fibres	Permanente	La journée	Non renseignée	Non renseignée	MOCP	0,21	0,09	0,47
	133.34 - 705	Esmen NA, 1978	Zone de production A (taillage, sciage, découpe et finition)	Permanente	La journée	Non renseignée	Non renseignée	MOCP, OSHA Standard 29 CFR 1910-93	0,193	0,03	0,95
	133.34 - 705	Esmen NA, 1978	Zone de production A (taillage, sciage, découpe et finition)	Permanente	La journée	Non renseignée	Non renseignée	MOCP OSHA Standard 29 CFR 1910-93	0,148	0,025	0,7
	133.37 - 708	Esmen NA, 1978	Personnel réalisant le nettoyage mais qui conduit habituellement des machines	Permanente	La journée	Non renseignée	Non renseignée	MOCP OSHA Standard 29 CFR 1910-93	0,11	0,02	0,27
> 0 – 0,1	133.38 - 709	Esmen NA, 1978	Maintenance, le plus souvent dans la zone production	Permanente	La journée	Non renseignée	Non renseignée	MOCP OSHA Standard 29 CFR 1910-93	0,089	0,011	0,24
	133.33 - 704	Esmen NA, 1978	Zone de production B (curage, remplissage, conducteur de tendeur...)	Permanente	La journée	Non renseignée	Non renseignée	MOCP OSHA Standard 29 CFR 1910-93	0,083	0,014	0,374

133.37 - 708	Esmen NA, 1978	Personnel réalisant le nettoyage mais qui conduit habituellement des machines	Permanente	La journée	Non renseignée	Non renseignée	MOCP OSHA Standard 29 CFR 1910-93		0,082	0,012	0,215
133.35 - 706	Esmen NA, 1978	Zone de production C (manufacture : peinture des panneaux, conduite des fours de séchage-moulage, mise en carton, packaging...)	Permanente	La journée	Non renseignée	Non renseignée	MOCP OSHA Standard 29 CFR 1910-93		0,077	0,005	0,472
133.38 - 709	Esmen NA, 1978	Maintenance, le plus souvent dans la zone production	Permanente	La journée	Non renseignée	Non renseignée	MOCP OSHA Standard 29 CFR 1910-93		0,058	0,006	0,167
133.35 - 706	Esmen NA, 1978	Zone de production C (manufacture : peinture des panneaux, conduite des fours de séchage-moulage, mise en carton, packaging...)	Permanente	La journée	Non renseignée	Non renseignée	MOCP OSHA Standard 29 CFR 1910-93		0,056	0,002	0,349
133.34 - 705	Esmen NA, 1978	Zone de production (taillage, sciage, découpe et finition)	Permanente	La journée	Non renseignée	Non renseignée	MOCP OSHA Standard 29 CFR 1910-93		0,056	0,006	0,2
133.33 - 704	Esmen NA, 1978	Zone de production B (curage, remplissage, conducteur de tendeur...)	Permanente	La journée	Non renseignée	Non renseignée	MOCP OSHA Standard 29 CFR 1910-93		0,05	0,005	0,263
133.32 - 703	Esmen NA, 1978	Zone de fibérisation (conduite de fours, mélangeurs, opération de transfert et de chargement)	Permanente	La journée	Non renseignée	Non renseignée	MOCP OSHA Standard 29 CFR 1910-93		0,036		
133.39 - 710	Esmen NA, 1978	Mesure de l'exposition des ouvriers qui ne sont pas habituellement en contact avec les fibres car isolés dans l'usine	Permanente	La journée	Non renseignée	Non renseignée	MOCP OSHA Standard 29 CFR 1910-93		0,035	0,011	0,067
133.36 - 707	Esmen NA, 1978	Zone d'expédition des produits (transport des produits emballés, cariste ...)	Permanente	La journée	Non renseignée	Non renseignée	MOCP OSHA Standard 29 CFR 1910-93		0,032	0,019	0,054

133.39 - 710	Esmen NA, 1978	Mesure de l'exposition des ouvriers qui ne sont pas habituellement en contact avec les fibres car isolés dans l'usine	Permanente	La journée	Non renseignée	Non renseignée	MOCP OSHA Standard 29 CFR 1910-93		0,029	0,01	0,056
133.36 - 707	Esmen NA, 1978	Zone d'expédition des produits (transport des produits emballés, cariste ...)	Permanente	La journée	Non renseignée	Non renseignée	MOCP OSHA Standard 29 CFR 1910-93		0,026	0,008	0,044
133.33 - 704	Esmen NA, 1978	Zone de production B (curage, remplissage, conducteur de tendeur...)	Permanente	La journée	Non renseignée	Non renseignée	MOCP OSHA Standard 29 CFR 1910-93		0,025	0,002	0,15
133.38 - 709	Esmen NA, 1978	Maintenance, le plus souvent dans la zone production	Permanente	La journée	Non renseignée	Non renseignée	MOCP OSHA Standard 29 CFR 1910-93		0,025	0,002	0,054
133.35 - 706	Esmen NA, 1978	Zone de production C (manufacture : peinture des panneaux, conduite des fours de séchage-moulage, mise en carton, packaging...)	Permanente	La journée	Non renseignée	Non renseignée	MOCP OSHA Standard 29 CFR 1910-93		0,021	0,002	0,095
133.37 - 708	Esmen NA, 1978	Personnel réalisant le nettoyage mais qui conduit habituellement des machines	Permanente	La journée	Non renseignée	Non renseignée	MOCP OSHA Standard 29 CFR 1910-93		0,015	0,002	0,04
133.39 - 710	Esmen NA, 1978	Mesure de l'exposition des ouvriers qui ne sont pas habituellement en contact avec les fibres car isolés dans l'usine	Permanente	La journée	Non renseignée	Non renseignée	MOCP OSHA Standard 29 CFR 1910-93		0,013	0,002	0,023
133.36 - 707	Esmen NA, 1978	Zone d'expédition des produits (transport des produits emballés, cariste ...)	Permanente	La journée	Non renseignée	Non renseignée	MOCP OSHA Standard 29 CFR 1910-93		0,007	0,002	0,037

Notes



agence française de **sécurité sanitaire**
de l'environnement et du travail

253, avenue du Général Leclerc
94701 Maisons-Alfort Cedex
Tél. +33 1 56 29 19 30
afsset@afsset.fr

www.afsset.fr

ISBN 978-2-11-096710-7