



---

## Les fibres minérales artificielles

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

---

Saisine n°« 2004/012 »

### **ANNEXES du RAPPORT d'expertise collective relatif**

### **AUX LAINES MINÉRALES et AUX FILAMENTS CONTINUS DE VERRE**

« Comité d'experts spécialisés des risques liés aux milieux aériens »

« Groupe de travail fibres minérales artificielles »

Juillet 2008

## Sommaire

<b>Annexe 1 : Lettre de saisine .....</b>	<b>3</b>
<b>Annexe 2 : Synthèse des déclarations publiques d'intérêts des experts par rapport au champ de la saisine .....</b>	<b>5</b>
<b>Annexe 3: Rapport LEPI/CSTB sur la caractérisation des libérations de fibres minérales artificielles sur les chantiers de retrait de laine minérale isolante .....</b>	<b>14</b>
<b>Annexe 4 : Cessions de produits contenant des laines minérales entre sites de production pour la France et l'Europe .....</b>	<b>50</b>
<b>Annexe 5: Introduction sur le socle impliquant l'isolation thermique, acoustique et la protection incendie .....</b>	<b>56</b>
<b>Annexe 6: Détails sur les procédés d'isolation.....</b>	<b>65</b>
<b>Annexe 7 : Eléments fournis par Batim'études.....</b>	<b>70</b>
<b>Annexe 8: répartition de l'isolation thermique en France pour l'année 2004 selon le type de secteur, d'isolation et de matériaux isolants (d'après MSI, 2005) .....</b>	<b>113</b>
<b>Annexe 9 : Etude comparative de deux méthodes d'analyse des Fibres Minérales Artificielles dans l'air : Microscopie optique à lumière polarisée et microscopie électronique à balayage .....</b>	<b>114</b>
<b>Annexe 10 : Exemple d'une fiche de données sécurité sur les filaments de verre continu <a href="http://www.saint-gobainvetrotex.com/pdf/MSDS_dglass_gb.pdf">www.saint-gobainvetrotex.com/pdf/MSDS_dglass_gb.pdf</a> .....</b>	<b>137</b>
<b>Annexe 11 : Fabrication du fil de verre selon Saint Gobain Vetrotex.....</b>	<b>149</b>
<b>Annexe 12 : Les différents procédés mis en œuvre dans la fabrication des matériaux composites .....</b>	<b>150</b>
<b>Annexe 13 : la chaîne de production de l'industrie des composites ainsi que la valeur en euros de chaque étape .....</b>	<b>166</b>
<b>Annexe 14 : Eléments d'information sur les fibres naturelles susceptibles d'avoir le même usage que les filaments de verre continu en tant que renfort de matériaux composites.....</b>	<b>167</b>
<b>Annexes 15 : Données complémentaires issues de la base Evalutil.....</b>	<b>173</b>

## Annexe 1 : 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

661 20 622

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 microfibrilles 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.

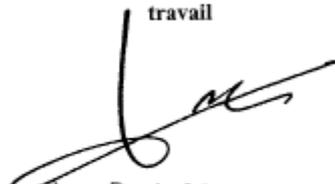
Nous vous prions d'agréer, Madame la Directrice Générale, l'assurance de notre considération distinguée.

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'intérêts des experts par rapport au champ de la saisine

### RAPPEL DES RUBRIQUES DE LA DECLARATION PUBLIQUE D'INTERETS

<b>IP-A</b>	Interventions ponctuelles : autres
<b>IP-AC</b>	Interventions ponctuelles : activités de conseil
<b>IP-CC</b>	Interventions ponctuelles : conférences, colloques, actions de formation
<b>IP-RE</b>	Interventions ponctuelles : rapports d'expertise
<b>IP-SC</b>	Interventions ponctuelles : travaux scientifiques, essais, etc.
<b>LD</b>	Liens durables ou permanents (Contrat de travail, rémunération régulière ...)
<b>PF</b>	Participation financière dans le capital d'une entreprise
<b>SR</b>	Autres liens sans rémunération ponctuelle (Parents salariés dans des entreprises visées précédemment)
<b>SR-A</b>	Autres liens sans rémunération ponctuelle (Participation à conseils d'administration, scientifiques d'une firme, société ou organisme professionnel)
<b>VB</b>	Activités donnant lieu à un versement au budget d'un organisme

### SYNTHESE DES DECLARATIONS PUBLIQUES D'INTERETS DES MEMBRES DU COMITE D'EXPERTS SPECIALISES « EVALUATION DES RISQUES LIES AUX MILIEUX AERIENS 3 » PAR RAPPORT AU CHAMP DE LA SAISINE

NOM	Prénom <i>Rubrique de la DPI</i> Description de l'intérêt <i>en cas de lien déclaré</i>	Date de déclaration des intérêts
Analyse Afsset :		

<b>ALARY René</b>		1 <sup>er</sup> juin 2004 20 juin 2005 16 juin 2006 06 novembre 2006 06 février 2007 27 mars 2008
Analyse Afsset :	Aucun lien déclaré /	
<b>ANNESI-MAESANO Isabella</b>		25 juin 2003 08 novembre 2006 27 novembre 2007

<p><b>IP-AC</b></p> <p>Participation au Conseil Scientifique Observatoire Allergie de UCB –Pharma (Étude OPALL)</p> <p>Participation au Conseil Scientifique Rhinite allergique et troubles du sommeil de GSK (Étude DREAMS)</p> <p><b>SR-A</b></p> <p>Participation au Conseil Scientifique du RNSA (Réseau National de Surveillance des Allergies)</p> <p><b>Analyse Afsset :</b> Pas de risque de conflit d'intérêt par rapport à la thématique de la saisine</p>		
<b>BLANCHARD Olivier</b>		<p>1<sup>er</sup> juillet 2003</p> <p>30 novembre 2005</p> <p>09 février 2006</p> <p>19 juin 2006</p> <p>21 mars 2007</p> <p>05 février 2008</p> <p>Aucun lien déclaré</p> <p><b>Analyse Afsset :</b> /</p>
<b>De BLAY de GAIX Frédéric</b>	(membre du CES « Évaluation des risques liés aux milieux aériens » jusqu'au 14 juin 2007)	<p>28 décembre 2005</p> <p>N'a pas participé aux travaux</p> <p><b>Analyse Afsset :</b> /</p>
<b>CABANES Pierre-André</b>		<p>29 juin 2004</p> <p>23 janvier 2006</p> <p>09 février 2007</p> <p>23 janvier 2008</p> <p>27 mars 2008</p> <p><b>LD</b></p> <p>Rédacteur en chef de la revue « Environnement, Risques et Santé » aux Éditions John Libbey (emploi complémentaire)</p> <p><b>Analyse Afsset :</b> Pas de risque de conflit d'intérêt par rapport à la thématique de la saisine.</p>
<b>CAMPAGNA Dave</b>		<p>28 juin 2004</p> <p>21 novembre 2005</p> <p>08 novembre 2006</p> <p>13 décembre 2006</p>

		03 décembre 2007 27 mars 2008
	Aucun lien déclaré	
<b>Analyse Afsset :</b>	/	
<b>DELMAS</b>	<b>Véronique</b>	02 février 2003 22 juin 2006 22 mars 2007 05 février 2008
	Aucun lien déclaré	
<b>Analyse Afsset :</b>	/	
<b>ELICHEGARAY</b>	<b>Christian</b>	06 février 2003 19 juin 2006 21 mars 2007 05 février 2008
	<b>SR-A</b>	
	Participation au Conseil Scientifique de la revue « Pollution atmosphérique »	
<b>Analyse Afsset :</b>	Pas de risque de conflit d'intérêt par rapport à la thématique de la saisine.	
<b>EZRATTY</b>	<b>Véronique</b> (membre du CES « Évaluation des risques liés aux milieux aériens » depuis le 15 juin 2007)	10 octobre 2007
	Aucun lien déclaré	
<b>Analyse Afsset :</b>	/	
<b>FILLEUL</b>	<b>Laurent</b>	17 juin 2003 21 décembre 2005 16 juin 2006
	<b>Démission le 7 novembre 2006</b>	
	N'a pas participé aux travaux	
<b>Analyse Afsset :</b>	/	
<b>GARNIER</b>	<b>Robert</b>	19 mai 2004 20 octobre 2005 12 octobre 2006 20 février 2008
	Aucun lien déclaré	
<b>Analyse Afsset :</b>	/	
<b>GARREC</b>	<b>Jean-Pierre</b>	04 février 2003
	<b>Démission le 2 novembre 2006</b>	
	N'a pas participé aux travaux	

<b>Analyse Afsset :</b> /		
<b>GLORENNEC Philippe</b>		04 juillet 2003 20 octobre 2005 08 novembre 2005 23 novembre 2006 03 décembre 2007 27 mars 2008
<b>IP-SC</b>		
Réalisation d'analyses d'air donnant lieu à versement à l'organisme d'appartenance (LÉRES-EHESP : Laboratoire d'étude et de recherche en environnement et santé de l'École des Hautes Études en Santé Publique)		
<b>Analyse Afsset :</b> Pas de risque de conflit d'intérêt par rapport à la thématique de la saisine.		
<b>JUST Jocelyne</b>		20 mai 2004 26 octobre 2005
<b>Démission le 2 février 2007</b>		
N'a pas participé aux travaux		
<b>Analyse Afsset :</b> /		
<b>KIRCHNER Séverine</b>		17 juin 2003 27 mars 2008
Aucun lien déclaré		
<b>Analyse Afsset :</b> /		
<b>LEFRANC Agnès</b> (membre du CES « Évaluation des risques liés aux milieux aériens » depuis le 15 juin 2007)		10 octobre 2007 05 février 2008
Aucun lien déclaré		
<b>Analyse Afsset :</b> /		
<b>MATHIEU Laurence</b>		03 juillet 2003 10 janvier 2005 21 octobre 2005 16 juin 2006 03 juillet 2007
<b>Démission le 28 novembre 2006</b>		
N'a pas participé aux travaux		
<b>Analyse Afsset :</b> /		
<b>MILLET Maurice</b>		12 juin 2003 25 octobre 2005 06 novembre 2006

		21 mars 2007 07 décembre 2007 27 mars 2008
	Aucun lien déclaré	
<b>Analyse Afsset :</b>	/	
<b>MORCHEOINE</b>	<b>Alain</b>	17 juillet 2003 27 mars 2008
	Aucun lien déclaré	
<b>Analyse Afsset :</b>	/	
<b>MOREL</b>	<b>Yannick</b>	17 juillet 2003 12 février 2007 27 mars 2008
	Aucun lien déclaré	
<b>Analyse Afsset :</b>	/	
<b>MORIN</b>	<b>Jean-Paul</b>	29 juin 2004 18 octobre 2005 09 novembre 2005 13 juin 2006 26 février 2007 27 novembre 2007 27 mars 2008
	Aucun lien déclaré	
<b>Analyse Afsset :</b>	/	
<b>NEMERY de BELLEVAUX</b>	<b>Benoît</b> (membre du CES « Évaluation des risques liés aux milieux aériens » jusqu'au 14 juin 2007)	23 avril 2004 05 octobre 2006 17 janvier 2007
	N'a pas participé aux travaux	
<b>Analyse Afsset :</b>	/	
<b>PARIS</b>	<b>Christophe</b>	20 juin 2003 15 décembre 2005 09 janvier 2006 27 mars 2008
	Aucun lien déclaré	
<b>Analyse Afsset :</b>	/	

<b>PEUCH Vincent-Henri</b>	22 avril 2004 24 octobre 2005 11 février 2007 29 novembre 2007
Aucun lien déclaré <b>Analyse Afsset :</b> /	
<b>POINSOT Charles</b>	16 juin 2003 08 novembre 2005 18 juin 2006
Aucun lien déclaré <b>Analyse Afsset :</b> /	
<b>PONS Françoise</b>	28 juin 2004
<i>Démission le 7 novembre 2006</i> N'a pas participé aux travaux <b>Analyse Afsset :</b> /	
<b>RAMEL Martine</b>	24 juin 2003 05 février 2008
Aucun lien déclaré <b>Analyse Afsset :</b> /	
<b>SLAMA Rémy</b> (membre du CES « Évaluation des risques liés aux milieux aériens » depuis le 15 juin 2007)	10 octobre 2007
Aucun lien déclaré <b>Analyse Afsset :</b> /	
<b>SQUINAZI Fabien</b> (membre du CES « Évaluation des risques liés aux milieux aériens » depuis le 15 juin 2007)	10 octobre 2007
Aucun lien déclaré <b>Analyse Afsset :</b> /	
<b>VENDEL Jacques</b> (membre du CES « Évaluation des risques liés aux milieux aériens » depuis le 15 juin 2007)	1 <sup>er</sup> juillet 2005 10 octobre 2007
Aucun lien déclaré <b>Analyse Afsset :</b> /	

**SYNTHESE DES DECLARATIONS PUBLIQUES D'INTERETS DES MEMBRES DU GROUPE DE TRAVAIL  
« FIBRES MINERALES ARTIFICIELLES » PAR RAPPORT AU CHAMP DE LA SAISINE**

NOM	Prénom <i>Rubrique de la DPI</i> Description de l'intérêt	Date de déclaration des intérêts
<b>Analyse Afsset :</b>	<p><b>AMEILLE Jacques</b></p> <p>N'a pas participé aux travaux</p> <p><b>VB</b></p> <p>Contrat de recherche avec Saint-Gobain Isover en vue d'investiguer les liens entre exposition professionnelle aux laines de verre et laines de roche et les résultats d'examens radiologiques, donnant lieu à versement à l'organisme d'appartenance (Institut Interuniversitaire de Médecine du Travail de Paris-Ile-de-France - IIMTPIF)</p> <p>Pas de risque de conflit d'intérêt par rapport à la thématique de la saisine.</p>	<p>09 février 2005</p> <p>26 janvier 2006</p>
<b>Analyse Afsset :</b>	<p><b>BROCHARD Patrick</b></p> <p><b>VB</b></p> <p>Étude financée par Saint-Gobain Isover sur la « Morbidité des fibres minérales artificielles (FMA) en milieu de production » donnant lieu à versement à l'organisme d'appartenance (Institut de Santé Publique, d'Épidémiologie et de Développement – ISPED, Université de Bordeaux 2)</p>	<p>21 novembre 2005</p> <p>04 avril 2008</p>
<b>Analyse Afsset :</b>	<p><b>JAU RAND Marie-Claude</b></p> <p><b>IP-RE</b></p> <p>Participation au "Consensus report: Workshop on Mechanisms of Fibre Carcinogenesis and Assessment of Chrysotile Asbestos Substitutes" pour le CIRC de Lyon</p>	<p>22 février 2005</p> <p>12 décembre 2005</p> <p>30 janvier 2006</p> <p>24 juin 2008</p>

	<p>(Centre International de Recherche sur le Cancer)</p> <p>Participation à l'expertise collective : Cancer et environnement – Mésothéliome de l'INSERM (<a href="#">Institut national de la santé et de la recherche médicale</a>)</p> <p><b>IP-CC</b></p> <p>Membre du Comité de Pilotage "Exposition professionnelle aux Aérosols Ultra-Fins" de l'INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité)</p> <p>Membre de la Commission Scientifique de l'INRS</p> <p><b>Analyse Afsset :</b> Pas de risque de conflit d'intérêt par rapport à la thématique de la saisine.</p>	
<p><b>MARTINON</b></p>	<p><b>Laurent</b></p> <p><b>SR-A</b></p> <p>Participation à un groupe de réflexion de l'APPA (Association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique) sur les laines minérales d'isolation : présentation des méthodes de mesure de l'exposition aux fibres minérales artificielles</p> <p>Pas de risque de conflit d'intérêt par rapport à la thématique de la saisine.</p> <p><b>Analyse Afsset :</b></p>	<p>09 février 2005</p> <p>1<sup>er</sup> juin 2008</p>
<p><b>PAIRON</b></p>	<p><b>Jean-Claude</b></p> <p><b>IP-A</b></p> <p>Concours Médical (Réponse aux questions des lecteurs dans le champ des fibres minérales)</p> <p><b>VB</b></p> <p>Contrat de recherche avec Saint-Gobain Isover en vue d'investiguer les liens entre exposition professionnelle aux laines de verre et laines de roche et les résultats d'exams radiologiques, donnant lieu à versement à l'organisme d'appartenance (Institut Interuniversitaire de Médecine du Travail de Paris-Ile-de-France - IIMTPIF)</p> <p>Pas de risque de conflit d'intérêt par rapport à la thématique de la saisine.</p> <p><b>Analyse Afsset :</b></p>	<p>28 mars 2005</p> <p>13 décembre 2005</p> <p>10 janvier 2006</p> <p>05 février 2006</p> <p>04 avril 2008</p>
<p><b>PARIS</b></p>	<p><b>Christophe</b> (membre du CES « Évaluation des risques liés aux milieux aériens »)</p> <p>Aucun lien déclaré</p> <p><b>Analyse Afsset :</b> /</p>	<p>20 juin 2003</p> <p>15 décembre 2005</p> <p>09 janvier 2006</p> <p>27 mars 2008</p>

<b>STÜCKER Isabelle</b>	22 mars 2006
	04 avril 2008
Aucun lien déclaré	
Analyse Afsset : /	

### **ORGANISME-EXPERT PARTICIPANT**

L'InVS, représenté par Mme Danièle LUCE et M. Stéphane DUCAMP, a signé une attestation, le 17 juin 2008, garantissant l'absence de liens de nature à présenter un conflit d'intérêt avec le champ de la saisine.

L'INRS, représenté par MM. Raymond VINCENT et Edmond KAUFFER, a signé une attestation, le 22 avril 2008, garantissant l'absence de liens de nature à présenter un conflit d'intérêt avec le champ de la saisine.

Le CSTB, représenté par M. Franck CHAVENTRE, qui a démissionné en janvier 2007 et par MM. Christian COCHET et François MAUPETIT, a signé une attestation le 27 mai 2008, garantissant l'absence de liens de nature à présenter un conflit d'intérêt avec le champ de la saisine.

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. François Maupetit et M. Christian Cochet siègent en tant que représentants du CSTB.

Mme Danièle Luce 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: Rapport LEPI/CSTB sur la caractérisation des libérations de fibres minérales artificielles sur les chantiers de retrait de laine minérale isolante**

**CARACTERISATION DES LIBERATIONS DE FIBRES  
MINERALES ARTIFICIELLES SUR LES CHANTIERS DE  
RETRAIT DE LAINE MINERALE ISOLANTE**

**Marjorie DRAGHI<sup>1</sup>  
François MAUPETIT<sup>1</sup>**

**Marie -Annick BILLON-GALLAND<sup>2</sup>  
Laurent MARTINON<sup>2</sup>**

**Franck CHAVENTRE**

**<sup>1</sup>CSTB  
<sup>2</sup>LEPI**

**Convention AFSSET – CSTB du 6 octobre 2004**

**Rapport final  
Décembre 2007**

ESE/SB – 2007-82

**CARACTERISATION DES LIBERATIONS DE FIBRES MINERALES  
ARTIFICIELLES SUR LES CHANTIERS DE RETRAIT DE LAINE  
MINERALE ISOLANTE**

**Marjorie DRAGHI<sup>1</sup>  
François MAUPETIT<sup>1</sup>**

**Marie -Annick BILLON-GALLAND<sup>2</sup>  
Laurent MARTINON<sup>2</sup>**

**Franck CHAVENTRE**

**<sup>1</sup>CSTB  
<sup>2</sup>LEPI**

**Rapport final**

Décembre 2007

## Table des matières

1.	Contexte .....	4
2.	Caractérisation des émissions de COV et d'aldéhydes .....	4
a.	Démarche .....	4
b.	Méthodologie .....	5
i.	Echantillonnage des produits isolants testés .....	5
ii.	Suivi des échantillons .....	6
iii.	Préparation des éprouvettes d'essai .....	6
iv.	Conditionnement en chambre d'essai d'émission .....	10
v.	Conditions de prélèvements des COV et aldéhydes .....	10
vi.	Conditions d'analyse des COV .....	11
vii.	Conditions d'analyse des aldéhydes .....	12
c.	Résultats .....	12
i.	Rouleau laine de verre neuf .....	13
ii.	Dalle de plafond laine de verre neuve .....	13
iii.	Flocons laine de roche neufs .....	14
iv.	Flocage neuf .....	14
v.	Flocage vieilli .....	15
vii.	Flocons vrac vieillis .....	16
viii.	Dalle de plafond vieillie .....	16
d.	Synthèse .....	16
3.	Caractérisation du relargage des fibres par les matériaux .....	17
a.	Démarche .....	17
b.	Méthodologie appliquée à la caractérisation des FMA émises par 2 dalles de faux plafond vieillis lors de sollicitations acoustiques sonores .....	18
i.	Echantillonnage des produits isolants testés .....	18
ii.	Suivi des échantillons .....	18
iii.	Préparation des éprouvettes d'essai .....	18
iv.	Description de la chambre d'essai d'émission .....	19
v.	Dispositif de sollicitation acoustique .....	19
vi.	Conditions d'essai .....	20
vii.	Appareils de mesure .....	20
viii.	Protocole d'essai .....	22
c.	Résultats .....	23
d.	Synthèse .....	23
4.	Caractérisation de laines minérales isolantes vieilles naturellement .....	24
a.	Caractérisation du liant par Analyse ThermoGravimétrique (ATG) et ATG-DSC .....	24
i.	Méthodologie .....	24
ii.	Résultats .....	26
iii.	Synthèse .....	27
b.	Caractérisation physico-chimique des matériaux FMA .....	27
i.	Préparation des échantillons .....	27
ii.	Résultats d'analyses .....	28
5.	Synthèse générale .....	33
ANNEXES		

## Table des illustrations

### FIGURES

Figure 1: Eprouvettes de rouleau de laine de verre avec pare-vapeur (photo de gauche) et de flocons de laine de roche (photo de droite) en boîte de conditionnement, avant introduction en chambre d'essai d'émission.....	7
Figure 2 : Eprouvette de dalle de plafond en laine de verre avant introduction en chambre d'essai d'émission.....	7
Figure 3 : Rouleau en laine de verre neuf.....	7
Figure 4 : Dalle de plafond en laine de verre neuve.....	8
Figure 5 : Flocons vrac en laine de roche neufs .....	8
Figure 6 : Flocage neuf .....	8
Figure 7 : Flocage vieilli .....	9
Figure 8 : Rouleau de laine de verre vieillie .....	9
Figure 9: Flocons vrac vieillie.....	9
Figure 10: Dalle de plafond vieillie .....	9
Figure 11 : Facteurs d'émission spécifiques ( $\mu\text{g.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ ) en formaldéhyde pour les 4 produits neufs....	17
Figure 12 : Facteurs d'émission spécifiques ( $\mu\text{g.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ ) en formaldéhyde pour les dalles de plafond neuve et vieillie .....	17
Figure 13: Dalle de faux plafond .....	19
Figure 14 : Chambre d'essai pour dalle de faux plafond.....	19
Figure 15 : Schéma du dispositif d'essais.....	20
Figure 16: Descriptif de l'appareil de mesure Q-TRAK Plus .....	21
Figure 17: Dispositif de mesure de l'accélération.....	21
Figure 18: Balance Sartorius Série Genius .....	22
Figure 19 : logigramme du protocole d'essai .....	22
Figure 20: Spectre de dispersion d'énergie des photons X (EDX) d'une fibre du rouleau.....	29
Figure 21 : Spectre de dispersion d'énergie des photons X (EDX) d'une fibre du flocage .....	30
Figure 22 : Spectre de dispersion d'énergie des photons X (EDX) d'une fibre du vrac.....	31
Figure 23 : Spectre de dispersion d'énergie des photons X (EDX) d'une fibre de l'échantillon Dalle ....	32

### PHOTOGRAPHIES

Photographie 1: 4 paires d'échantillons de FMA de gauche à droite et de haut en bas : Flocage, Vrac, Dalle et Rouleau .....	28
Photographie 2 : Echantillons préparés pour l'observation et l'analyse au MEB (rouleau et vrac de gauche à droite) .....	28
Photographie 3 : Photographie au MEB des fibres enrobées de l'échantillon Rouleau.....	28
Photographie 4 : Image au MEB du flocage enrobé.....	30
Photographie 5 : Fibres minérales artificielles enrobées de l'échantillon Vrac.....	31
Photographie 6 : Image au MEB de l'échantillon d'une dalle de faux plafond.....	32

### TABLEAUX

Tableau 1 : Produits isolants échantillonnés pour les essais d'émission .....	5
Tableau 2 : Suivi des échantillons testés .....	6
Tableau 3: Conditions retenues pour les essais d'émission.....	10
Tableau 4: Conditions de prélèvement des COV et aldéhydes.....	11
Tableau 5 : Conditions analytiques pour la mesure des COV .....	11

Tableau 6 : Conditions analytiques pour la mesure des aldéhydes .....	12
Tableau 7 : Concentrations moyennes ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ ) en COV pour le rouleau de laine de verre.....	13
Tableau 8 : Concentrations moyennes ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ ) en aldéhydes pour le rouleau de laine de verre .....	13
Tableau 9: Concentrations moyennes ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ ) en COV pour la dalle de plafond laine de verre .....	13
Tableau 10: Concentrations moyennes ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ ) en aldéhydes pour la dalle de plafond laine de verre.	13
Tableau 11: Concentrations moyennes ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ ) en COV pour les flocons en laine de roche neufs .....	14
Tableau 12: Concentrations moyennes ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ ) en aldéhydes pour les flocons en laine de roche neufs .....	14
Tableau 13 : Concentrations moyennes ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ ) en COV pour le flocage neuf .....	14
Tableau 14 : Concentrations moyennes ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ ) en aldéhydes pour le flocage neuf .....	14
Tableau 15 : Concentrations moyennes ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ ) en COV pour le flocage vieilli .....	15
Tableau 16 : Concentrations moyennes ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ ) en aldéhydes pour le flocage vieilli .....	15
Tableau 17 : Concentrations moyennes ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ ) en COV pour le rouleau en laine de verre vieilli .....	15
Tableau 18 : Concentrations moyennes ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ ) en aldéhydes pour le rouleau en laine de verre vieilli	15
Tableau 19 : Concentrations moyennes ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ ) en COV pour les flocons vrac vieillis.....	16
Tableau 20 : Concentrations moyennes ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ ) en aldéhydes pour les flocons vrac vieillis .....	16
Tableau 21 : Concentrations moyennes ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ ) en COV pour la dalle de plafond vieillie (échantillon A) .....	16
Tableau 22 : Concentrations moyennes ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ ) en aldéhydes pour la dalle de plafond vieillie (échantillon A) .....	16
Tableau 23 : Suivi des échantillons testés .....	18
Tableau 24 : Conditions retenues pour les essais d'émission.....	20
Tableau 25 : Emissions de particules de l'essai à blanc (en mg et $\text{mg/m}^2$ ) .....	23
Tableau 26: Emissions de particules de l'essai n° 1 sur la dalle (en mg et $\text{mg/m}^2$ ) .....	23
Tableau 27: Emissions de particules de l'essai n° 2 sur la dalle (en mg et $\text{mg/m}^2$ ) .....	23
Tableau 28 : Produits isolants prélevés pour les analyses de caractérisation .....	24
Tableau 29 : Suivi des échantillons analysés.....	25
Tableau 30 : Masses des échantillons analysées. ....	25
Tableau 31: Conditions analytiques pour les mesures ATG et ATG-DSC .....	25
Tableau 32: Détermination des températures de décomposition par ATG.....	26
Tableau 33 : Détermination des températures de décomposition par ATG-DSC.....	27
Tableau 33 : Composition élémentaire des fibres des échantillons de rouleau 1 et 2.....	29
Tableau 34: Oxydes composant les FMA des échantillons de rouleau 1 et 2.....	30
Tableau 35 : Oxydes composant les FMA des échantillons de flocage 1 et 2.....	31
Tableau 36 : Oxydes composant les FMA des échantillons de Vrac 1 et 2.....	32
Tableau 37 : Oxydes composant les FMA des échantillons de Dalle 1 et 2.....	33

## CARACTERISATION DES LIBERATIONS DE FIBRES MINERALES ARTIFICIELLES SUR LES CHANTIERS DE RETRAIT DE LAINE MINERALE ISOLANTE

### 1. Contexte

Pour répondre à la pénurie de logements consécutive à la seconde guerre mondiale, les gouvernements et les professionnels du bâtiment se sont vus contraints de reconstruire rapidement. C'est à cette époque qu'apparaissent des bâtiments prémanufacturés plus légers, rendant indispensable l'installation d'une isolation phonique et thermique, rôle joué, jusqu'à l'apparition des fibres minérales artificielles (FMA) au milieu des années 50, par les fibres minérales naturelles telles l'amiante.

Aujourd'hui, les FMA telles que les laines de roche, de verre et laitier sont privilégiées comme isolants notamment suite à la découverte de la pathogénicité avérée de l'amiante. Ainsi les FMA représentent environ 75% des isolants utilisés en France actuellement, leur production est estimée, en 2001, à 9 millions de tonnes par an.

Or, de nombreuses études ont démontré que ces fibres, présentes dans les matériaux d'isolation, sont des contaminants potentiels de l'air intérieur susceptibles d'induire des pathologies.

Dans ce contexte, l'Agence française de sécurité sanitaire environnementale (AFSSET) a été saisie par les ministères chargés de la santé, du travail et de l'environnement, afin d'évaluer l'exposition de la population générale et des travailleurs aux fibres minérales artificielles silicieuses.

Dans le cadre de cette saisine « fibres minérales artificielles » FMA (fibres céramiques réfractaires, fibres de verre spéciales visées dans la saisine et laines minérales isolantes), le CSTB et le LEPI (Laboratoire d'Etude des Particules Inhalées) se sont associés afin de caractériser d'une part les matériaux isolants neufs ou vieillis (prélèvement sur sites) et d'autre part les libérations de fibres minérales artificielles sur les chantiers de retrait de laine minérale isolante.

Ainsi, cette étude a consisté en :

- La caractérisation des émissions de COV et d'aldéhydes
- La caractérisation du relargage en fibres des matériaux
- Des analyses de caractérisation
- La caractérisation de la pollution atmosphérique en termes de FMA

### 2. Caractérisation des émissions de COV et d'aldéhydes

#### a. Démarche

Huit matériaux à base de laines minérales isolantes ont été testés par le CSTB selon les méthodes normalisées des chambres d'essais d'émission à savoir :

- ✓ NF EN ISO 16000-9 : Air intérieur – Partie 9 : Dosage de l'émission de composés organiques volatils de produits de construction et d'objets d'équipement – Méthode de la chambre d'essai d'émission (AFNOR, 2006).
- ✓ NF ISO 16000-6 : Air intérieur – Partie 6 : Dosage des composés organiques volatils dans l'air intérieur des locaux et enceintes d'essai par échantillonnage actif sur le sorbant Tenax TA, désorption thermique et chromatographie en phase gazeuse utilisant MS/FID (AFNOR, 2005).
- ✓ NF ISO 16000-3 : Air intérieur – Partie 3 : Dosage du formaldéhyde et d'autres composés carbonylés – Méthode par échantillonnage actif (AFNOR, 2002).

Les produits neufs consistent en :

1. Rouleau de laine de verre,
2. Dalle de plafond laine de verre,
3. Flocons laine de roche,

## 4. Flocage.

Les produits vieillis sont :

5. Flocage de plafond
6. Rouleau laine de verre
7. Flocons vrac
8. Dalle de plafond

**b. Méthodologie**

**i. Echantillonnage des produits isolants testés**

Les produits d'isolation neufs étudiés, à l'exception du flocage de plafond, réalisé, à la demande du CSTB par une entreprise du bâtiment, ont été achetés en grande surface de bricolage (GSB).

Les produits vieillis ont été échantillonnés sur le chantier de réhabilitation de certains bâtiments du CSTB (dalle de plafond vieillie, flocage vieilli) ou dans les logements de certains agents du CSTB (rouleau laine de verre vieillie, flocons vrac vieillie).

Les données relatives aux huit produits échantillonnés sont reportées dans le Tableau 1

N°	Type produit	Origine	Date pose	Date prélèvement pour analyse
1	Rouleau laine de verre	Achat GSB		08/2006
2	Dalle plafond laine de verre	Achat GSB		08/2006
3	Flocons vrac laine de roche	Achat GSB		08/2006
4	Flocage plafond	Entreprise BTP		04/2007
5	Flocage vieilli	Chantier réhabilitation CSTB (salle compresseur)	1984	04/2007
6	Rouleau laine de verre vieilli	Combles habitation	1977	01/2007
7	Flocons vrac vieillie	Combles habitation	1998	03/2007
8	Dalle plafond vieillie	Chantier réhabilitation CSTB (B53)	1998	04/2007

Tableau 1 : Produits Isolants échantillonnés pour les essais d'émission

## ii. Suivi des échantillons

Le suivi des échantillons au laboratoire POLLEM du CSTB est synthétisé dans le Tableau 2.

N°	Type produit	Déballage et préparation éprouvette d'essai	Début de l'essai	Fin de l'essai
1	Rouleau laine de verre	08/08/2006 (11 h 10)	08/08/2006 (12 h 10)	05/09/2006 (16 h 35)
2	Dalle plafond laine de verre	08/08/2006 (12 h 00)	08/08/2006 (16 h 10)	05/09/2006 (16 h 35)
3	Flocons vrac laine de roche	22/08/2006 (10 h 30)	08/08/2006 (14 h 05)	19/09/2006 (9 h 50)
4	Flocage plafond	17/07/2007 (12 h 30)	17/07/2007 (12 h 35)	14/08/2007 (11 h 50)
5	Flocage vieilli	22/05/2007 (13 h 15)	22/05/2007 (15 h 00)	25/05/2007 (15 h 10)
6	Rouleau laine de verre vieilli	18/06/2007 (14 h 50)	18/06/2007 (15 h 05)	21/06/2007 (15 h 35)
7	Flocons vrac vieilli	19/06/2007 (14 h 35)	19/06/2007 (14 h 50)	22/06/2007 (14 h 30)
8	Dalle plafond vieilli	11/06/2007 (11 h 55)	11/06/2007 (12 h 05)	14/06/2007 (11 h 15)

**Tableau 2 : Suivi des échantillons testés**

Les essais sur les produits neufs ont duré 28 jours avec des prélèvements réalisés après 1, 3 et 28 jours de conditionnement en chambre d'essai d'émission.

Les essais sur les produits vieillis ont duré 3 jours avec des prélèvements réalisés après 1 et 3 jours de conditionnement en chambre d'essai d'émission. Pour les produits vieillis, 2 éprouvettes ont été testées.

## iii. Préparation des éprouvettes d'essai

Pour les produits isolants en rouleau et en vrac (flocons), le CSTB a utilisé des boîtes inox pour le conditionnement des éprouvettes d'essai (Figure 1). Ces boîtes (longueur = 0,78 m, largeur = 0,19 m, profondeur = 0,10 m) permettent de simuler l'émission du matériau par la face supérieure de l'éprouvette. L'éprouvette d'essai est ajustée à la taille de la boîte de conditionnement. La surface d'émission effective de l'éprouvette d'essai ainsi constituée est de 0,15 m<sup>2</sup> (0,78 m x 0,19 m).



**Figure 1 :** Eprouvette de rouleau de laine de verre avec pare-vapeur (photo de gauche) et de flocons de laine de roche (photo de droite) en boîte de conditionnement, avant introduction en chambre d'essai d'émission

Concernant les dalles de plafond, le CSTB a découpé un élément d'une dimension de 0,79 m x 0,19 m. L'envers de cet élément (laine de verre apparente) a été masqué à l'aide d'une plaque inox et d'un adhésif non émissif (figure 2). La surface d'émission effective de l'éprouvette d'essai ainsi constituée est de 0,15 m<sup>2</sup>.



**Figure 2 :** Eprouvette de dalle de plafond en laine de verre avant introduction en chambre d'essai d'émission

Les éprouvettes d'essai ainsi préparées sont ensuite introduites directement en chambre d'essai d'émission pour toute la durée de l'essai :

- ✓ 28 jours pour les produits neufs,
- ✓ 3 jours pour les produits vieillis.

Les figures 3 à 10 présentent les 8 matériaux testés.



**Figure 3 :** Rouleau en laine de verre neuf



Figure 4 : Dalle de plafond en laine de verre neuve



Figure 5 : Flocons vrac en laine de roche neufs



Figure 6 : Flocage neuf



Figure 7 : Flocage vieillesse



Figure 8 : Rouleau de laine de verre vieillesse



Figure 9: Flocons vrac vieillesse



Figure 10: Dalle de plafond vieillesse

#### iv. Conditionnement en chambre d'essai d'émission

Chacune des éprouvettes d'essai préparées a été introduite en chambre d'essai d'émission dans des conditions maîtrisées de température ( $23 \pm 2$  °C) et d'humidité relative ( $50 \pm 5$  %), selon les recommandations de la norme de référence :

- ✓ NF EN ISO 16000-9 : Air intérieur – Partie 9 : Dosage de l'émission de composés organiques volatils de produits de construction et d'objets d'équipement – Méthode de la chambre d'essai d'émission (AFNOR, 2006).

Le rouleau de laine de verre neuf a été testé selon un scénario d'émission « murs ». Tous les autres produits ont été testés selon un scénario d'émission « plafond ou sol ».

On rappelle que la durée totale de l'essai a été de 28 jours pour les produits neufs (prélèvements après 1, 3 et 28 jours) et de 3 jours pour les produits vieillis (prélèvements après 1 et 3 jours).

Les paramètres d'essais retenus pour les essais d'émission sont présentés dans le Tableau 3.

Produits testés	Rouleau laine de verre neuve	Autres produits
Scénario d'émission	Murs	Plafond ou sol
Chambre d'essai d'émission	CLIMPAQ (verre)	CLIMPAQ (verre)
Volume de la chambre	0,0509 m <sup>3</sup>	0,0509 m <sup>3</sup>
Température	$23 \pm 2$ °C	$23 \pm 2$ °C
Humidité relative	$50 \pm 5$ %	$50 \pm 5$ %
Surface de l'éprouvette	0,15 m <sup>2</sup>	0,15 m <sup>2</sup>
Débit d'air	0,06 m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>	0,19 m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>
Taux de renouvellement d'air	1,18 h <sup>-1</sup>	3,76 h <sup>-1</sup>
Taux de charge	2,95 m <sup>2</sup> .m <sup>-3</sup>	2,95 m <sup>2</sup> .m <sup>-3</sup>
Taux de ventilation spécifique (q)	0,4 m <sup>3</sup> .m <sup>-2</sup> .h <sup>-1</sup>	1,25 m <sup>3</sup> .m <sup>-2</sup> .h <sup>-1</sup>
Durée de l'essai	$28 \pm 2$ jours	Produits neuf : $28 \pm 2$ jours Produits vieillis : $72 \pm 2$ heures

Tableau 3: Conditions retenues pour les essais d'émission

#### v. Conditions de prélèvements des COV et aldéhydes

Les prélèvements des COV et aldéhydes sont réalisés, par pompage sur supports adsorbants spécifiques, en duplicata :

- avant le début de l'essai (J0)
- après  $24 \pm 2$  heures (J1) de conditionnement de l'éprouvette en chambre d'essai d'émission.,
- après  $72 \pm 2$  heures (J3) de conditionnement de l'éprouvette en chambre d'essai d'émission
- et après  $28 \pm 2$  jours (J28) de conditionnement de l'éprouvette en chambre d'essai d'émission

Les conditions de prélèvement sont précisées dans le Tableau 4.

Prélèvements	COV	Aldéhydes
Nombre de tubes prélevés	2	2
Support adsorbant	Tenax TA	DNPH
Durée de prélèvement	60 min.	60 min.
Débit	75 ml.min <sup>-1</sup>	750 ml.min <sup>-1</sup>
Volume de l'échantillon	4,5 l	45 l

Tableau 4: Conditions de prélèvement des COV et aldéhydes

#### vi. Conditions d'analyse des COV

Les prélèvements et analyses des COV ont été réalisés selon les recommandations de la norme NF ISO 16000-6 :

- ✓ NF ISO 16000-6 : Air intérieur – Partie 6 : Dosage des composés organiques volatils dans l'air intérieur des locaux et enceintes d'essai par échantillonnage actif sur le sorbant Tenax TA, désorption thermique et chromatographie en phase gazeuse utilisant MS/FID (AFNOR, 2005).

Les équipements utilisés pour l'analyse des COV dans le laboratoire POLLEM du CSTB sont un thermo-désorbeur Perkin Elmer ATD 400 et un chromatographe en phase gazeuse VARIAN Saturn 3800 couplé à un spectromètre de masse (MS) pour l'identification et à un détecteur à ionisation de flamme (FID) pour la quantification. Les conditions analytiques sont détaillées dans le Tableau 5.

Paramètres	Conditions analytiques
Thermo désorbeur	Perkin Elmer ATD 400
Température de désorption	260 °C
Débit d'azote	50 ml / min
Durée de désorption	15 min.
Température du piège secondaire	280 °C
Chromatographe gaz / Spectromètre de masse	VARIAN GC 3800 / MS Saturn 2000
Cycle de température	40 °C pendant 5 min. 2,5 °C / min. jusqu'à 170 °C 7,5 °C / min. jusqu'à 250 °C 250 °C pendant 13 min.
Colonne capillaire	DB-5 ms (longueur : 60 m, diamètre interne : 0.25 mm, épaisseur de la phase : 1 µm)
Température FID	270 °C
Paramètres du spectromètre de masse	Trappe (MS Saturn 2000) 70 eV 33-425 amu

Tableau 5 : Conditions analytiques pour la mesure des COV

Les COV sont identifiés par spectrométrie de masse et quantifiés par FID. La concentration en COV totaux (TVOC) est calculée, pour les composés éluant entre le n-hexane et le n-hexadécane (inclus), comme la somme des COV identifiés et non identifiés quantifiés avec le facteur de réponse du toluène.

Les COV individuels sont quantifiés en utilisant le facteur de réponse du toluène (concentrations exprimées en toluène équivalent) ou, le cas échéant, avec leur facteur de réponse spécifique.

### vii. Conditions d'analyse des aldéhydes

Les prélèvements et analyses des aldéhydes ont été réalisés selon les recommandations de la norme NF ISO 16000-3 :

- ✓ NF ISO 16000-3 : Air intérieur – Partie 3 : Dosage du formaldéhyde et d'autres composés carbonylés – Méthode par échantillonnage actif (AFNOR, 2002).

Les prélèvements sont effectués sur des cartouches contenant du gel de silice garnies de 2,4-dinitrophénylhydrazine (DNPH). Au laboratoire, les cartouches sont éluées dans 5 ml d'acétonitrile. Deux injections de 20 µl de cette solution d'éluion sont ensuite analysées par chromatographie liquide hautes performances (HPLC) sur un système WATERS Alliance. Les conditions analytiques sont présentées dans le Tableau 6.

Paramètres	Conditions analytiques
Chromatographe liquide hautes performances	WATERS Alliance
Détecteur	UV (longueur d'ondes : 360 nm)
Colonne capillaire	WATERS Novapack C18 (longueur : 150 mm, diamètre interne : 3,9 mm, épaisseur de la phase : 4 µm, diamètre pores : 60 Å)
Débit d'éluion	1,5 ml.mn <sup>-1</sup>
Température colonne	35 °C

Tableau 6 : Conditions analytiques pour la mesure des aldéhydes

Les aldéhydes sont identifiés et quantifiés par étalonnage spécifique.

### c. Résultats

Les concentrations en COV et aldéhydes présentées dans ce rapport correspondent à la moyenne arithmétique des 2 échantillons prélevés et analysés. Elles sont corrigées de la valeur du blanc de chambre mesurée à J0.

Les concentrations en COV et aldéhydes calculées à l'aide d'un étalonnage spécifique sont écrites **en gras** dans les tableaux de résultats.

Pour les produits vieilliss, deux échantillons ont été testés. Dans ce chapitre, nous présentons les résultats du premier échantillon. Les résultats (concentrations) du second échantillon testé sont présentés en Annexes.

Les résultats des essais peuvent également être exprimés sous la forme de facteurs d'émission spécifiques (SER<sub>a</sub> en µg.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>), calculés selon la formule suivante (d'après NF EN ISO 16000-9) :

$$SER_a = C \cdot q$$

Où C représente la concentration individuelle en COV (ou en TVOC) au temps t (en  $\mu\text{g.m}^{-3}$ ) et q le taux de ventilation spécifique de l'essai (1,25 ou 0,4  $\text{m}^3.\text{m}^{-2}.\text{h}^{-1}$  pour les scénarios respectifs « plafond ou sol » et « murs », voir Tableau 3).

Ces facteurs d'émissions spécifiques, présentés en annexe, permettent une comparaison directe des émissions de produits isolants testés dans des scénarios d'émission différents.

#### i. Rouleau laine de verre neuf

COV GC	jour 1	jour 3	jour 28
toluène	1,0	< 0,3	0,6
éthylbenzène	0,8	< 0,3	1,4
xyène	0,6	< 0,3	0,5
nonane	0,4	0,3	0,4
phénol	0,6	0,4	0,3
décane	0,7	< 0,3	1,2
undécane	0,3	< 0,3	0,2
nonanal	0,3	< 0,3	0,3
dodécane	0,3	< 0,3	0,3
décanal	0,6	< 0,3	0,5
tridécane	0,3	< 0,3	< 0,3
TVOC	4,9	< 1	2,9

Tableau 7 : Concentrations moyennes ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ ) en COV pour le rouleau de laine de verre

aldéhydes HPLC	jour 1	jour 3	jour 28
Formaldéhyde	36,5	29,3	15,1
Acétaldéhyde	1,0	< 0,3	0,7
o-Tolualdéhyde	< 0,3	0,3	1,1
m/p-Tolualdéhyde	0,3	0,3	1,8

Tableau 8 : Concentrations moyennes ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ ) en aldéhydes pour le rouleau de laine de verre

#### ii. Dalle de plafond laine de verre neuve

COV GC	jour 1	jour 3	jour 28
inconnu (pentane ?) (tr = 5,6 min)	1,3	< 0,3	< 0,3
toluène	0,7	< 0,3	0,8
2-éthyl-1-hexanol	4,9	0,9	0,6
nonanal	< 0,3	< 0,3	0,7
inconnu (tr = 72,7 min)	2,9	2,7	< 0,3
1,1,3-triméthyl-3-phényl-indane	6,9	6,5	0,7
bicumène	2,1	2,1	0,3
TVOC	11,5	3,5	26,1

Tableau 9: Concentrations moyennes ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ ) en COV pour la dalle de plafond laine de verre

aldéhydes HPLC	jour 1	jour 3	jour 28
Formaldéhyde	50,6	40,0	19,0
Acétaldéhyde	< 0,3	< 0,3	0,7
m/p-Tolualdéhyde	< 0,3	< 0,3	2,1

Tableau 10: Concentrations moyennes ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ ) en aldéhydes pour la dalle de plafond laine de verre

## iii. Flocons laine de roche neufs

COV GC	jour 1	jour 3	jour 28
undécane	0,9	0,7	0,8
TVOC	2,7	< 1	< 1

Tableau 11: Concentrations moyennes ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ ) en COV pour les flocons en laine de roche neufs

aldéhydes HPLC	jour 1	jour 3	jour 28
Formaldéhyde	78,7	69,2	30,6
Acétaldéhyde	0,5	< 0,3	< 0,3

Tableau 12: Concentrations moyennes ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ ) en aldéhydes pour les flocons en laine de roche neufs

## iv. Flocage neuf

COV GC	jour 1	jour 3	jour 28
benzène	0,4	< 0,3	0,4
trichloroéthylène	2,0	1,6	1,5
toluène	2,5	< 0,3	< 0,3
m-xylène	< 0,3	1,8	1,9
p-xylène	< 0,3	0,6	< 0,3
o-xylène	0,3	0,8	0,6
alpha-pinène	0,4	< 0,3	0,5
décane	< 0,3	< 0,3	0,5
undécane	< 0,3	< 0,3	0,6
dodécane	0,6	< 0,3	< 0,3
4-phénylcyclohexène	2,1	1,7	0,9
TVOC	43,6	16,6	4,5

Tableau 13 : Concentrations moyennes ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ ) en COV pour le flocage neuf

aldéhydes HPLC	jour 1	jour 3	jour 28
formaldéhyde	< 0,3	< 0,3	< 0,3
acétaldéhyde	0,3	0,3	< 0,3
valéraldéhyde	0,3	0,3	< 0,3
hexaldéhyde	0,3	0,3	< 0,3

Tableau 14 : Concentrations moyennes ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ ) en aldéhydes pour le flocage neuf

## v. Flocage vieilli

Echantillon A	jour 1	jour 3
2-butanone	4,2	1,6
pentanone	2,4	1,3
toluène	< 0,3	10,9
éthylbenzène	4,4	4,2
m-xylène	3,0	2,5
p-xylène	2,1	4,0
o-xylène	2,9	2,7
cyclohexanone	2,2	2,1
décane	1,1	0,9
1,2,4-triméthyl benzène	2,0	1,9
undécane	2,6	2,0
nonanal	3,2	4,3
dodécane	1,1	1,0
décanal	1,3	1,6
TVOC	35,5	31,5

Tableau 15 : Concentrations moyennes ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) en COV pour le flocage vieilli

Echantillon A	jour 1	jour 3
Formaldéhyde	< 0,3	< 0,3
Acétaldéhyde	3,2	3,8
Propionaldéhyde	1,3	1,5
Butyraldéhyde	1,3	1,4
Valéraldéhyde	2,0	1,4
Hexaldéhyde	4,1	2,3

Tableau 16 : Concentrations moyennes ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) en aldéhydes pour le flocage vieilli

## vi. Rouleau de laine de verre vieilli

Echantillon A	jour 1	jour 3
hexanal	nm	0,3
nonanal	nm	4,6
dodécane	nm	< 0,3
décanal	nm	3,2
diisobutyl phtalate	nm	1,4
TVOC	nm	13,0

Tableau 17 : Concentrations moyennes ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) en COV pour le rouleau en laine de verre vieilli

Echantillon A	jour 1	jour 3
Formaldéhyde	2,0	< 0,3
Acétaldéhyde	1,2	< 0,3
Hexaldéhyde	0,3	< 0,3

Tableau 18 : Concentrations moyennes ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) en aldéhydes pour le rouleau en laine de verre vieilli

## vii. Flocons vrac vieillis

Echantillon A	jour 1	jour 3
benzène	0,9	1,0
éthylbenzène	1,2	1,3
p-xylène	1,3	1,4
benzaldéhyde	2,7	3,2
1,2,4-triméthylbenzène	0,5	0,5
nonanal	0,7	1,0
inconnu (tr = 45 min)	< 0,3	5,3
décanal	0,5	0,5
siloxane (tr = 55,8 min)	< 0,3	4,6
diisobutyl phtalate	2,6	0,3
TVOC	6,0	18,0

Tableau 19 : Concentrations moyennes ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) en COV pour les flocons vrac vieillis

Echantillon A	jour 1	jour 3
Formaldéhyde	9,7	6,1
Acétaldéhyde	0,5	< 0,3

Tableau 20 : Concentrations moyennes ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) en aldéhydes pour les flocons vrac vieillis

## viii. Dalle de plafond vieillie

Echantillon A	jour 1	jour 3
2-éthylhexanol	< 0,3	0,4
TVOC	< 3,0	< 3,0

Tableau 21 : Concentrations moyennes ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) en COV pour la dalle de plafond vieillie (échantillon A)

Echantillon A	jour 1	jour 3
Formaldéhyde	18,7	16,7

Tableau 22 : Concentrations moyennes ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) en aldéhydes pour la dalle de plafond vieillie (échantillon A)

## d. Synthèse

Cette étude a permis de caractériser les émissions de COV et de formaldéhyde de huit produits isolants en laine minérale neufs ou vieillis, à l'aide des méthodes normalisées de chambre d'essai d'émission :

1. Rouleau laine de verre neuf
2. Dalle de plafond laine de verre neuve
3. Flocons vrac laine de roche neufs
4. Flocage neuf
5. Flocage vieilli
6. Rouleau laine de verre vieilli
7. Flocons vrac vieillis
8. Dalle de plafond vieillie.

Les résultats obtenus montrent, dans un premier temps, que, pour tous les produits testés, les émissions de COV individuels et de COV totaux (TVOC) sont relativement faibles.

Le principal composé émis par ces différents produits d'isolation est le formaldéhyde, reflétant vraisemblablement la présence d'un liant urée-formol (ou son absence pour le flocage neuf) (Figure 11).

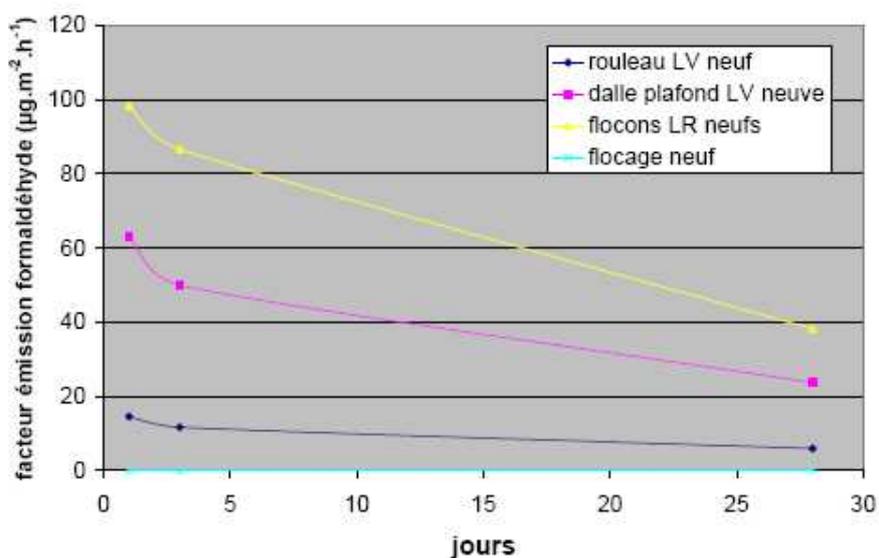


Figure 11 : Facteurs d'émission spécifiques ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ ) en formaldéhyde pour les 4 produits neufs

Par ailleurs, les essais réalisés sur les produits vieillissants montrent que les émissions de formaldéhyde peuvent rester significatives, même après plusieurs années de pose. Ainsi, il est frappant de constater que le niveau d'émission de formaldéhyde à 3 jours des 2 éprouvettes de la dalle de plafond vieillie (9 ans) est équivalent au niveau d'émission à 28 jours de la dalle neuve (Figure 12).

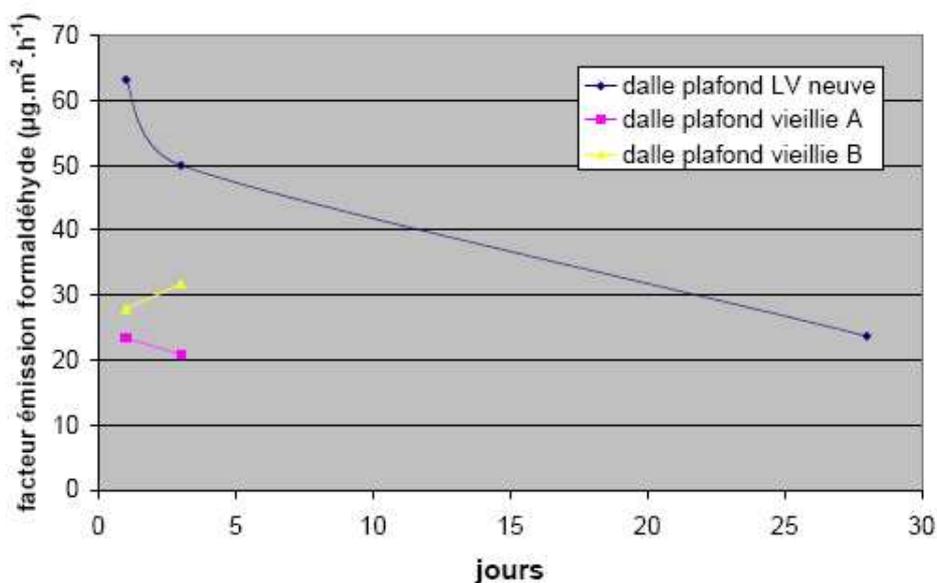


Figure 12 : Facteurs d'émission spécifiques ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ ) en formaldéhyde pour les dalles de plafond neuve et vieillie

Sur les 2 éprouvettes testées pour les produits vieillissants, on constate une certaine variabilité des émissions qui peut traduire l'hétérogénéité des produits (composition initiale et phénomènes de vieillissement).

### 3. Caractérisation du relargage des fibres par les matériaux

#### a. Démarche

Cette étude comporte trois sous-parties :

- Caractérisation des FMA émises par des matériaux isolants lors des opérations de dépose sur divers chantiers
- Caractérisation des FMA libérées par des matériaux vieillis soumis à des contraintes physiques
- Caractérisation des FMA libérées par deux dalles de faux plafond soumises à des contraintes acoustiques

Les deux premières sous parties ont été traitées par le LEPI. Le rapport d'étude correspondant figure en intégralité en annexe.

**b. Méthodologie appliquée à la caractérisation des FMA émises par 2 dalles de faux plafond vieillis lors de sollicitations acoustiques sonores**

Deux dalles identiques de faux plafond à base de laines minérales isolantes vieilles naturellement pendant plus de 9 ans et prélevées sur sites ont été testées en chambre d'essai.

**i. Echantillonnage des produits isolants testés**

Les deux dalles de faux plafond vieilles naturellement pendant plus de 9 ans faisant l'objet de ces essais ont été retirées sur un chantier de rénovation sur le site du CSTB de Champs/Marne et plus précisément au bâtiment B53.

**ii. Suivi des échantillons**

Le suivi des échantillons au laboratoire du CSTB est synthétisé dans le Tableau 23.

Echantillons	
Retrait des échantillons	13 avril 007
Réception au laboratoire	13 avril 007
Préparation des éprouvettes d'essai	28 mai 2007
Début des essais	29 mai 2007
Fin des essais	29 juin 2007

Tableau 23 : Suivi des échantillons testés

**iii. Préparation des éprouvettes d'essai**

Pour cet essai, deux éprouvettes d'essai (Figure 13) de 0,36 m<sup>2</sup> (0,6 x 0,6 m) de dalles de faux plafond ont été découpées et disposées sur le dessus de la chambre d'essai (Figure 14) pour en constituer le plafond.

Les dalles de faux plafond sont composées de laine de verre collée à une plaque de carton fin.

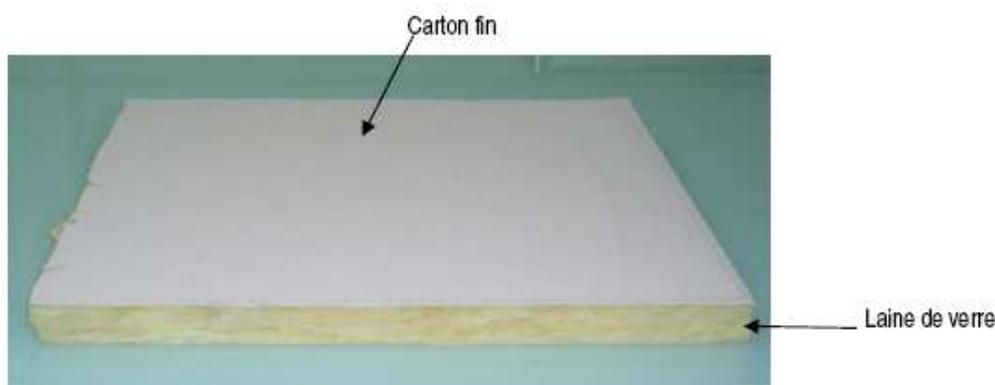


Figure 13: Dalle de faux plafond

#### iv. Description de la chambre d'essai d'émission

La chambre utilisée pour la réalisation de ces essais est inspirée de la méthode d'essai danoise établie par le DSIC (Danish Society of Indoor Climate). Ce volume, de surface au sol égale à 0,36 m<sup>2</sup> (0,6 x 0,6 m) et de hauteur 0,56 m, a été développé lors de différents stages d'I.U.T. réalisés au CSTB. (D.NGUYEN, 2004, D.SARDA, 2005) (Figure 14). L'intérieur de la chambre est recouvert d'aluminium afin de limiter les dépôts particuliers sur les surfaces par électrostatisme. Les membranes des haut-parleurs sont en aluminium également.

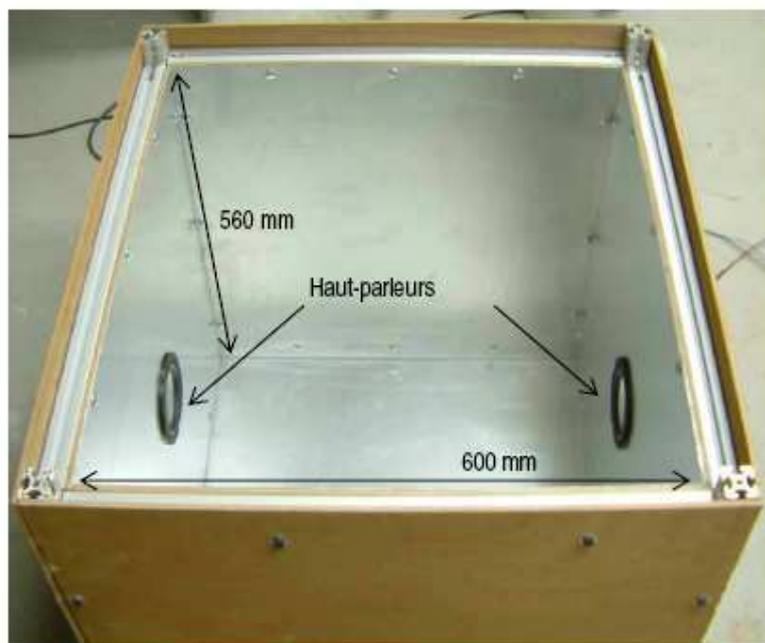


Figure 14 : Chambre d'essai pour dalle de faux plafond

Les particules sédimentent dans trois boîtes de pétri en verre (h 20mm, Ø 114mm) placées au sol de la chambre et perpendiculairement à l'axe des haut-parleurs. Chaque boîte de pétri est pesée après n [1, 5, 10, 20, 30] répétitions de séquence de vibrations acoustiques.

Les mesures de l'humidité relative et de la température sont contrôlées au cours de l'essai.

Les conditions de l'essai sont les suivantes :

- Température :  $23 \pm 2$  °C
- Humidité :  $50\% \pm 5\%$

#### v. Dispositif de sollicitation acoustique

Le dispositif de sollicitations acoustiques consiste en un générateur de bruit rose, un amplificateur et deux haut-parleurs.

Pour rappel, le bruit rose est un bruit dont la puissance décroît de 3dB par octave. (c'est à dire à chaque doublement de fréquence) (Figure 15).

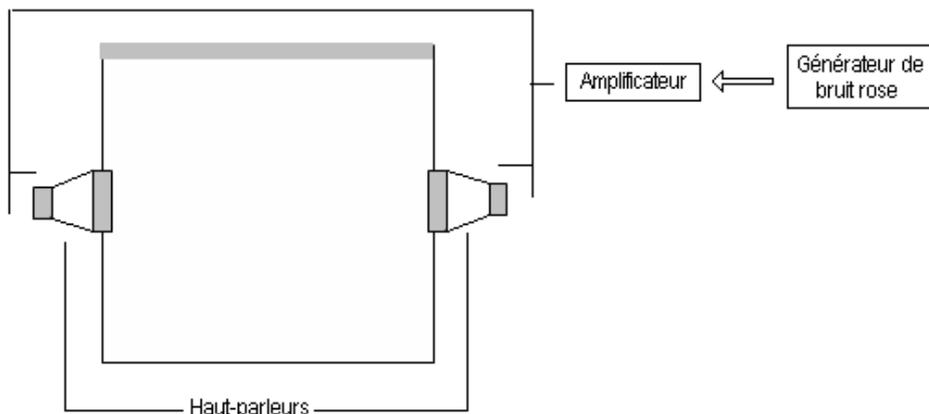


Figure 15 : Schéma du dispositif d'essais

Les bruits roses sont générés à l'aide du logiciel professionnel Audio Wave V.2.0.

De manière à éviter que la sollicitation acoustique des haut-parleurs sur la paroi ne se convertisse en sollicitation mécanique, l'accélération sur la paroi est fixée à  $2,4 \text{ m/s}^2$ . Pour obtenir cette vitesse, le volume du contrôleur de son du système d'exploitation est au maximum, le niveau d'amplitude programmé à partir du logiciel AudioWave est fixé à 90% et à  $-30 \text{ dB}$ .

#### vi. Conditions d'essai

Les conditions retenues, et présentées dans le Tableau 24, sont standards d'une salle de séjour.

Paramètres d'essai	Conditions standard
Température	$23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$
Humidité relative	$50 \pm 5 \%$
Accélération sur la paroi	$2,4 \pm 0,2 \text{ m/s}^2$

Tableau 24 : Conditions retenues pour les essais d'émission

#### vii. Appareils de mesure

##### 1. Mesure de la température et de l'humidité relative

Afin de contrôler les conditions du test, on dispose d'un appareil le Q-TRAKTM Plus modèle 8552 (Figure 16) qui mesure la température et l'humidité relative.

La sonde de température est une thermistance permettant de mesurer une température de  $0^\circ\text{C}$  à  $50^\circ\text{C}$  ( $32^\circ$  à  $122^\circ\text{F}$ ) avec une exactitude de  $0,1^\circ\text{C}$  ( $0,6^\circ\text{F}$ ) et une résolution de  $0,1^\circ\text{C}$  ( $0,1^\circ\text{F}$ ).

La sonde d'humidité est un capteur capacitif en couche mince qui mesure de 5 à 95% RH avec une exactitude de  $\pm 3\%$  RH et une résolution de  $0,1\%$  RH.



Figure 16: Descriptif de l'appareil de mesure Q-TRAK Plus

## 2. Mesure de l'accélération

La mesure globale de l'accélération a été effectuée par octave de 31 à 4000 Hz. Le dispositif de mesure est composé d'un capteur (l'accéléromètre), d'un amplificateur de charge, d'un analyseur couplé à un ordinateur pour permettre les acquisitions et le traitement (Figure 17). Le capteur est positionné à l'intérieur de la chambre à 30 mm du haut-parleur.

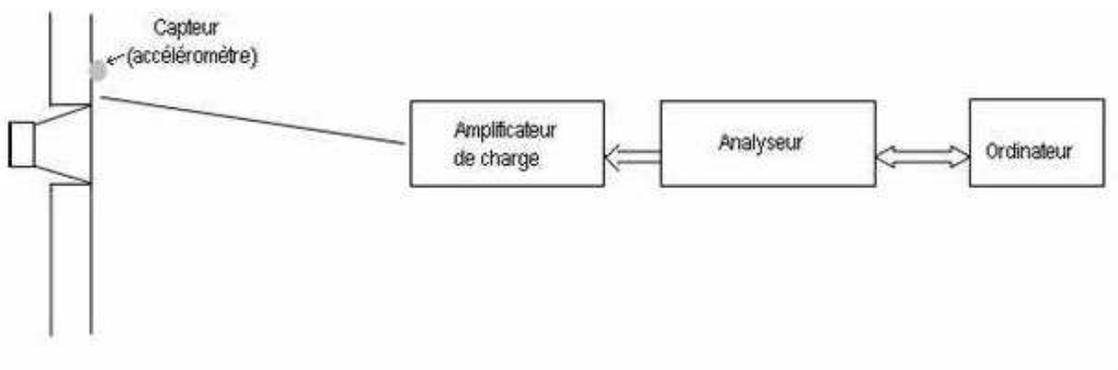


Figure 17: Dispositif de mesure de l'accélération

## 3. Mesure de la masse

La méthode d'analyse étant une mesure par gravimétrie, une balance électronique de précision à haute résolution de marque Sartorius Série Genius couvrant une étendue de pesée allant de 10 mg à 250 g, avec une précision de lecture de 0.1 mg a été utilisée (Figure 18).



Figure 18: Balance Sartorius Série Genulus

### viii. Protocole d'essai

Les dalles de faux-plafond sont soumises à une répétition de séquences de vibration acoustiques. Chaque séquence est un bruit rose d'une durée de 240 secondes réparti sur la plage des fréquences allant de 31 Hz à 4000 Hz avec la même amplitude. Chaque boîte de Pétri est pesée après n [1, 5, 10, 20, 30] répétitions de séquence.

Avant chaque expérimentation, l'enceinte est nettoyée à l'éthanol et les boîtes de Pétri sont minutieusement préparées (nettoyage de la boîte, y compris le couvercle, à l'eau du robinet, rinçage à l'eau déminéralisée, essuyage au papier, nettoyage à l'éthanol puis séchage à l'air comprimé).

Les différentes étapes de l'essai sont représentées dans la Figure 19.

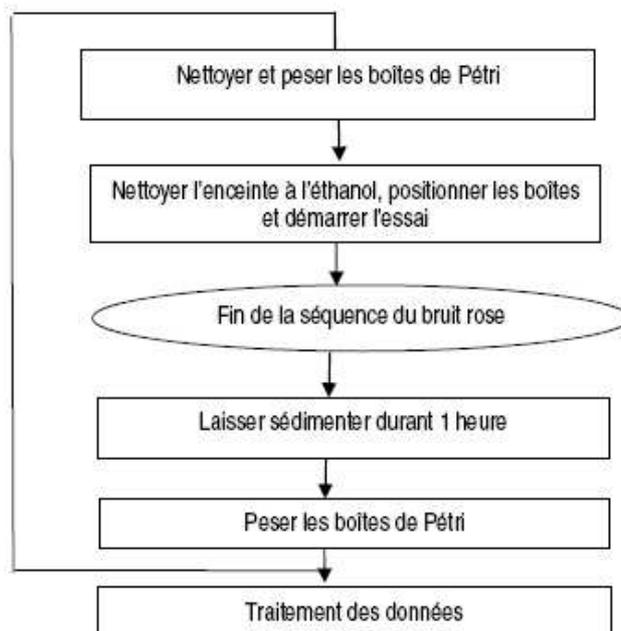


Figure 19 : logigramme du protocole d'essai

Comme mentionné dans le logigramme, après la fin de chaque essai, avant d'ouvrir l'enceinte, un temps de repos d' 1 heure est respecté, cette disposition, préconisée dans le label danois, est nécessaire au dépôt des particules encore en suspension dans l'air.

La détermination de la masse de particules émises est obtenue par différence de la mesure de la masse de la boîte de Pétri avant et après l'essai.

Cette mesure dépendant de la surface intérieure de la boîte de Pétri, la concentration de particules émises est exprimée en mg/m<sup>2</sup>.

Des essais à blanc sans dalle de faux plafond ont été réalisés afin de mesurer le bruit de fond en particules.

### c. Résultats

Les masses et concentrations des différents essais après n [1, 5, 10, 20, 30] répétitions de séquence sont présentées dans les Tableau 25 à Tableau 27.

Les masses et concentrations des émissions de particules de ce rapport d'essai correspondent à la moyenne arithmétique des trois concentrations obtenues pour chacune des trois boîtes de Pétri.

Nombre de répétitions	Temps de manipulation (en s)	Particules émises (en mg)	Particules émises (en mg/m <sup>2</sup> )
1	240	0.6	59.6
5	1200	0.5	49.1
10	2400	0	0
20	4800	0.6	59.6
30	7200	0	0

Tableau 25 : Emissions de particules de l'essai à blanc (en mg et mg/m<sup>2</sup>)

Nombre de répétitions	Temps de manipulation (en s)	Particules émises (en mg)	Particules émises (en mg/m <sup>2</sup> )
1	240	0.5	52.6
5	1200	0	0
10	2400	0.2	17.5
20	4800	0	0
30	7200	0	0

Tableau 26: Emissions de particules de l'essai n°1 sur la dalle (en mg et mg/m<sup>2</sup>)

Nombre de répétitions	Temps de manipulation (en s)	Particules émises (en mg)	Particules émises (en mg/m <sup>2</sup> )
1	240	0	0
5	1200	0	0
10	2400	0	0
20	4800	0.3	31.6
30	7200	0.2	24.6

Tableau 27: Emissions de particules de l'essai n°2 sur la dalle (en mg et mg/m<sup>2</sup>)

### d. Synthèse

Les résultats des essais obtenus avec et sans dalle de faux plafond sont du même ordre de grandeur. Les masses de particules émises obtenues par différence de la mesure de la masse de la boîte de Pétri avant et après l'essai ne dépassent pas 0,6 mg or l'incertitude élargie à deux sigmas de la balance est de ± 0,6 mg.

Compte-tenu de la dalle de faux plafond testée et de l'incertitude élargie de la balance, nous ne pouvons pas corréler le nombre de séquences de bruit rose et la masse de particules comme cela a pu être le cas lors de précédents essais réalisés au C.S.T.B. sur des dalles de faux plafond neuves où la libération de fibres était plus importante.

#### 4. Caractérisation de laines minérales isolantes vieillies naturellement

Cette partie de l'étude a porté, d'une part, sur la détermination de la température de décomposition du liant de quatre produits, vieillies naturellement, prélevés sur chantiers :

- Rouleau
- Dalle de faux plafond
- Vrac
- Flocage

D'autre part, des essais de caractérisation physico-chimique ont été réalisés à l'aide d'un Microscope Electronique à Balayage couplé à de l'analyse chimique par dispersion d'énergie des photons X. L'analyse chimique a permis notamment de déterminer la composition élémentaire des fibres et en particulier la répartition par oxydes ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ...).

##### a. Caractérisation du liant par Analyse ThermoGravimétrique (ATG) et ATG-DSC

L'analyse thermogravimétrique mesure la variation de masse d'un échantillon soumis à un programme de température, sous atmosphère contrôlée.

La thermogravimétrie couplée à l'analyse enthalpique différentielle (encore appelée ATG-DSC pour Differential Scanning Calorimetry) permet sur le même échantillon, de lier directement la mesure des températures et de chaleurs de transformation à l'évolution de la masse.

##### i. Méthodologie

Type produit	Emplacement	Date de mise en place	Date de retrait
Rouleau	Combles	1977	Janvier 2007
Dalle de plafond	Plafond du bâtiment B53, site du CSTB de Champs/Marne	1998	Avril 2007
Vrac	Combles	1998	Mars 2007
Flocage	Flocage projeté sur le plafond d'une salle de compresseur, site du CSTB de Champs/Marne	1984*	Avril 2007

Tableau 28 : Produits Isolants prélevés pour les analyses de caractérisation

\* Cette date, communiquée par la gestion du patrimoine du CSTB, est l'année de construction du bâtiment. Il est possible que le flocage ait été installé ultérieurement, toutefois nous ne disposons pas de cette information.

##### 1. Suivi des échantillons

Le suivi des échantillons, analysés au laboratoire de Physique et Chimie du Département Hydraulique et Equipement Sanitaire (H.E.S.) du CSTB de Champs/Marne, est synthétisé dans le Tableau 29.

Type produit	Date de réception au laboratoire	Date des DSC
Rouleau	13/04/07	5 et 15/06/07
Dalle de faux plafond	13/04/07	15/06/07
Vrac	13/04/07	15 et 20/06/07
Flocage	13/04/07	18/06/07

Tableau 29 : Suivi des échantillons analysés

### 2. Préparation des échantillons

Quelques dizaines de milligrammes d'échantillon sont nécessaires à ces analyses.

Le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** précise les masses des échantillons analysées.

Matériau	Masse analysée pour les analyses ATG (en mg)	Masse analysée pour les analyses ATG-DSC (en mg)
Rouleau 1	42,5	12,8
Rouleau 2	47,1	7,8
Dalle de faux plafond 1	65,8	11,0
Dalle de faux plafond 2	37,4	9,0
Vrac 1	36,1	12,3
Vrac 2	38,9	10,4
Flocage 1	62,9	10,4
Flocage 2	47,5	20,4

Tableau 30 : Masses des échantillons analysés.

### 3. Conditions d'analyses

Que ce soit pour les analyses ATG ou ATG-DSC, les échantillons sont disposés dans un creuset et placés au sein de l'appareil d'analyse. Les conditions relatives à chaque type de mesure sont présentées dans le Tableau 31

Paramètres	Analyseur ATG Modèle Labsys TG, marque SETARAM	Analyseur ATG-DSC Modèle Shimadzu DSC-50
Atmosphère	Azote	Oxygène
Débit du gaz	30 ml / min	50 ml / min
Creuset	Platine	Alumine
Volume du creuset	400 µL	100 µL
Régime de vitesse de montée en température	25°C < T < 105°C v=10° C/min T=105°C v=0° C/min pendant 15 min. 105°C < T < 750°C v=5° C/min T=750°C v=0° C/min pendant 15 min.	0°C < T < 400°C v=5° C/min

Tableau 31: Conditions analytiques pour les mesures ATG et ATG-DSC

## ii. Résultats

### 1. Analyses ATG

L'appareillage ATG permet d'obtenir des thermogrammes, c.-à-d. des courbes représentant la perte de masse de l'éprouvette en fonction de la température.

L'ensemble de ces courbes est présenté en vert et rassemblé en Annexe.

Sur le même graphique, en rouge, est présenté le régime de vitesse de montée en température, ainsi que le signal dérivé de la courbe ATG, en bleu, qui permet de mieux distinguer les sauts et par conséquent de déterminer le nombre de constituants d'un matériau complexe.

Les températures de décomposition correspondant au point d'inflexion de la courbe ATG sont présentées dans le Tableau 32

Matériau	Température de décomposition (°C)
Rouleau 1	271
Rouleau 2	287
Dalle de faux plafond 1	272
Dalle de faux plafond 2	264
Vrac 1	257
Vrac 2	258
Flocage 1	*
Flocage 2	*

Tableau 32: Détermination des températures de décomposition par ATG

\* Les températures de décomposition de la laine minérale sous forme de flocage n'ont pas pu être déterminées par cette méthode d'analyse.

### 2. Analyses ATG-DSC

L'appareillage ATG-DSC permet d'obtenir en fonction de la température et du temps, la différence d'énergie thermique qu'il faut fournir à un échantillon pour le maintenir à une température identique. Cette différence d'énergie est équivalente à l'énergie absorbée ou dégagée par le matériau au cours d'une transition.

L'appareillage DSC a permis de déterminer la température de décomposition du liant des différents matériaux isolants testés. Ces températures, présentées dans le Tableau 33 correspondent, pour chaque échantillon testé, à l'intersection des deux asymptotes, tracées en bleu, de chaque courbe, en rouge, figurant l'évolution du flux de chaleur au cours de la montée en température, dont le régime de vitesse est présenté en vert. L'ensemble des courbes est regroupé en annexe.

Matériau	Température de décomposition (°C)
Rouleau 1	213
Rouleau 2	211
Dalle de faux plafond 1	221
Dalle de faux plafond 2	218
Vrac 1	200
Vrac 2	198
Flocage 1	232
Flocage 2	235

Tableau 33 : Détermination des températures de décomposition par ATG-DSC

### iii. Synthèse

Les résultats des essais obtenus par analyse thermogravimétrique ATG, n'ont pas permis de déterminer les températures de décomposition de la laine minérale sous forme de flocage.

Pour les trois autres produits, les thermogrammes ont permis de distinguer une perte de masse continue et de déterminer des températures de décomposition lorsque la perte de masse était maximale.

Cependant les variations de masse sont faibles (de l'ordre de quelques %) et les points d'inflexion de la courbe dérivée en bleu peu accentués, ce qui implique une incertitude de mesure importante. Les courbes sont comme lissées, ceci potentiellement dû à l'atmosphère inerte d'azote qui ne favorise pas la décomposition.

Des analyses complémentaires sous atmosphère d'oxygène, également couplés à l'analyse enthalpique différentielle ont été réalisées. Cette analyse qui est répétable, nous a semblé plus appropriée afin de déterminer les températures de décomposition du liant des différentes laines minérales.

#### b. Caractérisation physico-chimique des matériaux FMA

Quatre paires d'échantillons de fibres minérales artificielles (FMA) utilisées dans des produits d'isolation ont été prélevés dans des bâtiments afin d'être observés et analysés au Microscope Electronique à Balayage (MEB).

Les 4 paires d'échantillons sont identifiés de la manière suivante :

- Rouleau 1 et 2
- Flocage 1 et 2
- Vrac 1 et 2
- Dalle 1 et 2

#### i. Préparation des échantillons

Chaque échantillon a été enrobé dans une résine de type époxy. Le cylindre obtenu après démoulage et contenant les FMA a été tronçonné puis poli, finement, sur une face, à l'aide d'une polisseuse automatique permettant le polissage simultané de 4 échantillons. Ainsi, chaque lot d'échantillons (R1, F1, V1, D1 puis R2, F2, V2, D2) a été préparé dans les mêmes conditions de grain, de vitesse de rotation, de force de poussée... (Photographie 1).



Photographie 1: 4 palettes d'échantillons de FMA de gauche à droite et de haut en bas : Flocage, Vrac, Dalle et Rouleau

Afin de pouvoir observer et analyser au MEB les échantillons dans des conditions optimales, ces derniers ont été préalablement métallisés par pulvérisation au carbone. Du ruban adhésif conducteur a été appliqué sur les faces afin d'améliorer l'évacuation des électrons susceptibles de perturber l'observation et les résultats d'analyse (Photographie 2).



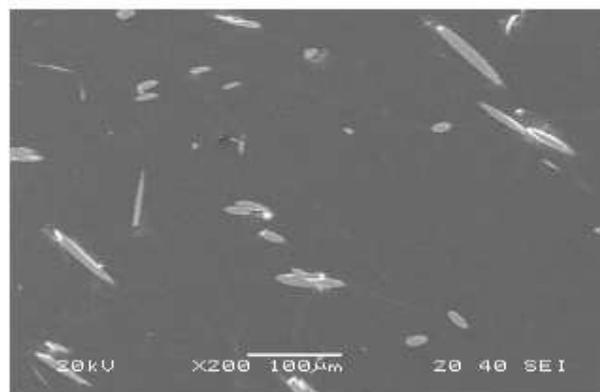
Photographie 2 : Echantillons préparés pour l'observation et l'analyse au MEB (rouleau et vrac de gauche à droite)

Les observations et analyses des échantillons ont été réalisées conformément au protocole préconisé dans le manuel d'opérateur du MEB et dans les mêmes conditions.

## ii. Résultats d'analyses

### 1. Rouleau

Sur la Photographie 3, les particules en gris clair correspondent aux fibres du rouleau en coupe.



Photographie 3 : Photographie au MEB des fibres enrobées de l'échantillon Rouleau

Chaque échantillon a fait l'objet de 10 analyses. Les spectres ainsi obtenus permettent d'établir la composition élémentaire du matériau analysé. Seuls les éléments à partir du Bore c'est-à-dire de numéro atomique supérieur ou égal à 5 dans le tableau périodique, sont détectés par la sonde.

La Figure 20 présente le spectre de dispersion d'énergie des photons X (EDX) d'une fibre du rouleau. L'axe des ordonnées correspond au nombre de photons comptés (cps : coups) pour une énergie donnée exprimée keV : Kilo électron Volt.

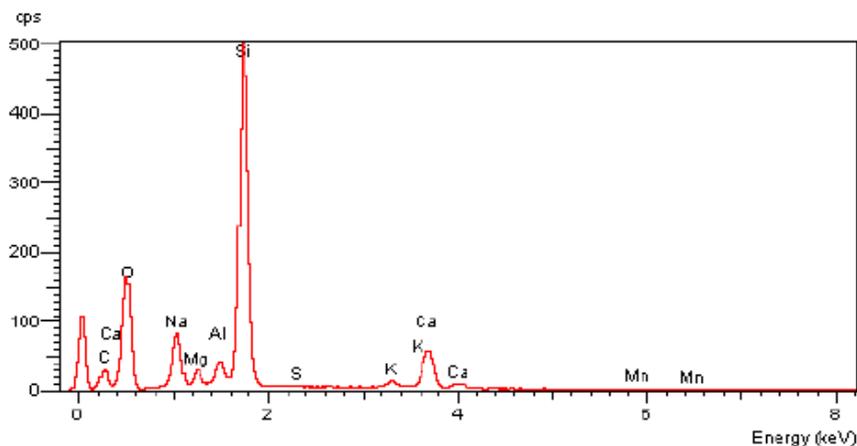


Figure 20: Spectre de dispersion d'énergie des photons X (EDX) d'une fibre du rouleau

Outre de permettre la détermination de la composition élémentaire des matériaux analysés, les spectres obtenus peuvent, dans une moindre mesure, être utilisés pour réaliser l'analyse quantitative proportionnelle de l'échantillon.

Le Tableau 34 présente la composition élémentaire pour les deux échantillons de rouleau.

Elmt	Rouleau 1		Rouleau 2	
	% moyen	Ecart type	% moyen	Ecart type
Na	8,0	1,8	7,8	1,8
Mg	1,6	0,0	1,6	0,0
Al	1,8	0,1	1,8	0,0
Si	34,0	1,0	34,1	1,0
S	0,1	0,0	0,1	0,0
K	0,9	0,0	0,8	0,1
Ca	6,2	0,2	6,2	0,2
Mn	0,2	0,0	0,2	0,0
Fe	0,2	0,1	0,2	0,1
O	47,1	0,6	47,2	0,6
	100,0		100,0	

Tableau 34 : Composition élémentaire des fibres des échantillons de rouleau 1 et 2

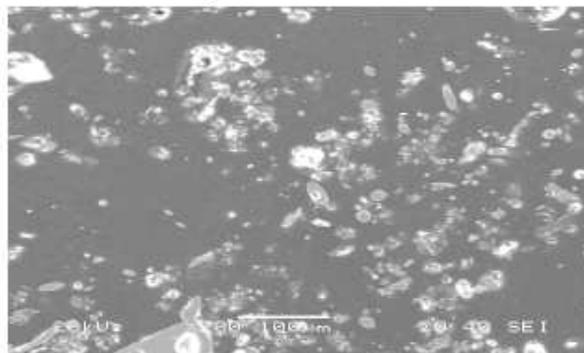
La littérature indique que les FMA sont constituées de divers oxydes (verre, silicate, calcium, magnésium...) Le logiciel associé à l'analyse X permet de combiner les éléments chimiques avec l'oxygène afin de déterminer la proportion des divers oxydes présents (valence égale à -2). Les résultats ainsi obtenus sont reportés dans le Tableau 35.

Composé	Rouleau 1		Rouleau 2	
	% moyen	Ecart type	% moyen	Ecart type
Na2O	10,5	2,4	10,8	2,4
MgO	2,7	0,1	2,7	0,1
Al2O3	3,3	0,1	3,3	0,1
SiO2	73,0	2,1	72,7	2,1
SO3	0,3	0,1	0,2	0,1
K2O	1,0	0,1	1,0	0,0
CaO	8,7	0,3	8,6	0,3
MnO	0,2	0,0	0,2	0,1
Fe2O3	0,3	0,1	0,3	0,1
Total	100,0		100,0	

Tableau 35: Oxydes composant les FMA des échantillons de rouleau 1 et 2

La comparaison de la composition ainsi déterminée avec la composition chimique moyenne pour chaque type de fibres minérales artificielles (CIRC, 2002) (c.f.annexe 1) indique que **le matériau analysé est de type laine de verre.**

## 2. Flocage



Photographie 4 : Image au MEB du flocage enrobé

Les particules qui ont une forme autre qu'ovale ou circulaire sur la Photographie 4 correspondent au mortier qui sert à lier les fibres entre elles et à les fixer sur la paroi à isoler.

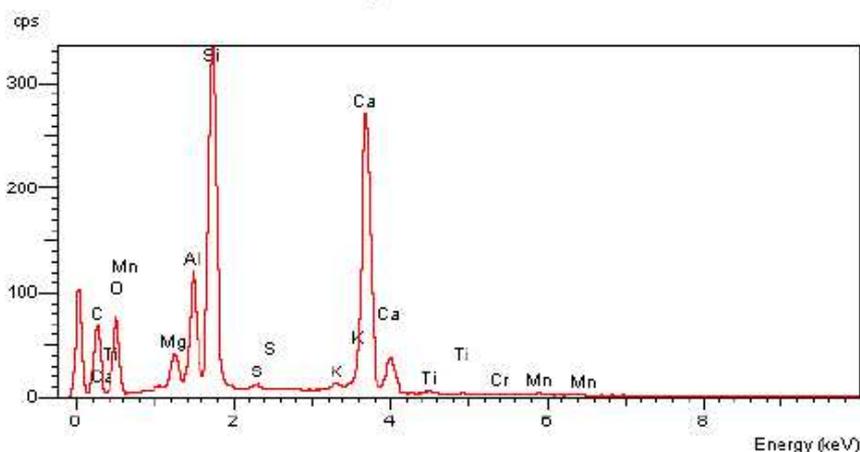


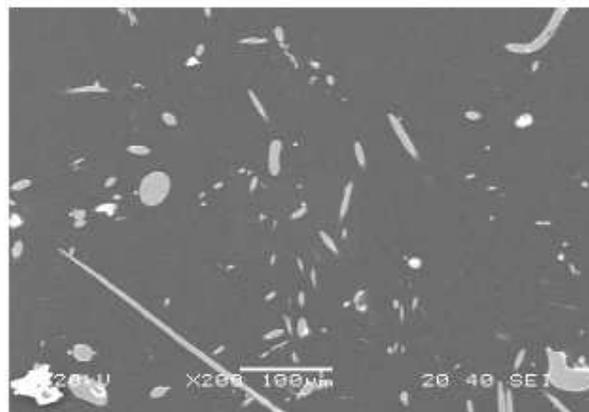
Figure 21 : Spectre de dispersion d'énergie des photons X (EDX) d'une fibre du flocage

Composé	Flocage 1		Flocage 2	
	% moyen	Ecart type	% moyen	Ecart type
Na2O	0,5	0,1	0,3	0,3
MgO	3,2	0,2	3,0	3,0
Al2O3	12,4	0,3	12,0	12,0
SiO2	44,0	1,0	42,7	42,7
SO3	0,8	0,1	0,8	0,8
K2O	0,6	0,0	0,6	0,6
CaO	37,2	1,4	39,1	39,1
TiO2	0,6	0,0	0,7	0,7
Cr2O3	NQ		0,1	0,1
MnO	0,4	0,1	0,4	0,4
Fe2O3	0,3	0,1	0,3	0,3
Total	100,0		100,0	

Tableau 36 : Oxydes composant les FMA des échantillons de flocage 1 et 2

Les fibres minérales artificielle de l'échantillon de flocage analysé correspondent à des FMA de type laine de laitier.

### 3. Vrac



Photographie 5 : Fibres minérales artificielles enrobées de l'échantillon Vrac

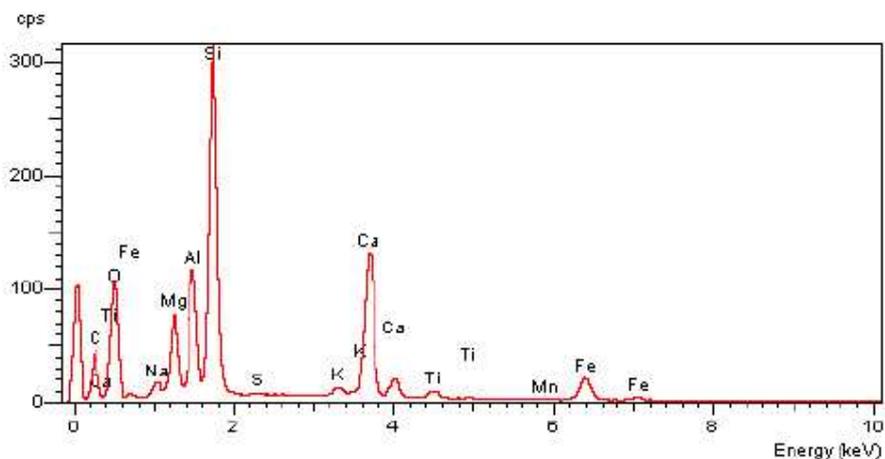


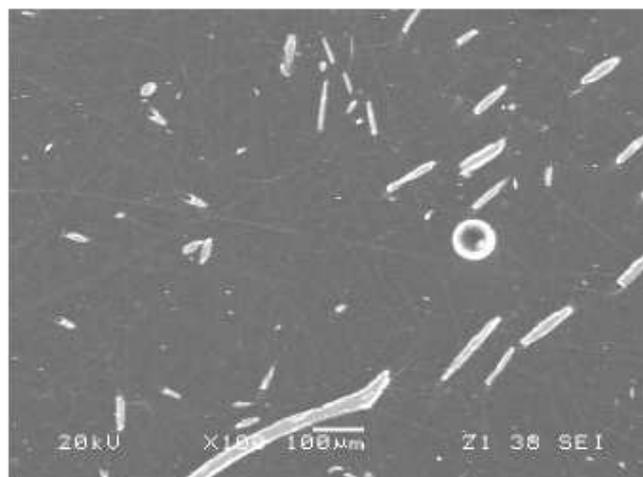
Figure 22 : Spectre de dispersion d'énergie des photons X (EDX) d'une fibre du vrac

Composé	Vrac 1		Vrac 2	
	% moyen	Ecart type	% moyen	Ecart type
Na2O	1,8	0,1	1,8	0,1
MgO	8,7	0,1	8,7	0,3
Al2O3	13,5	0,2	13,6	0,2
SiO2	46,6	0,3	46,9	0,8
SO3	0,3	0,0	0,4	0,0
K2O	0,8	0,0	0,7	0,1
CaO	18,9	0,4	18,7	0,7
TiO2	1,6	0,1	1,6	0,1
MnO	0,2	0,1	0,2	0,0
Fe2O3	7,6	0,3	7,4	0,5
Total	100,0		100,0	

Tableau 37 : Oxydes composant les FMA des échantillons de Vrac 1 et 2

Les fibres de ces échantillons de vrac correspondent à la composition de FMA de laine de roche.

4. Dalle



Photographie 6 : Image au MEB de l'échantillon d'une dalle de faux plafond

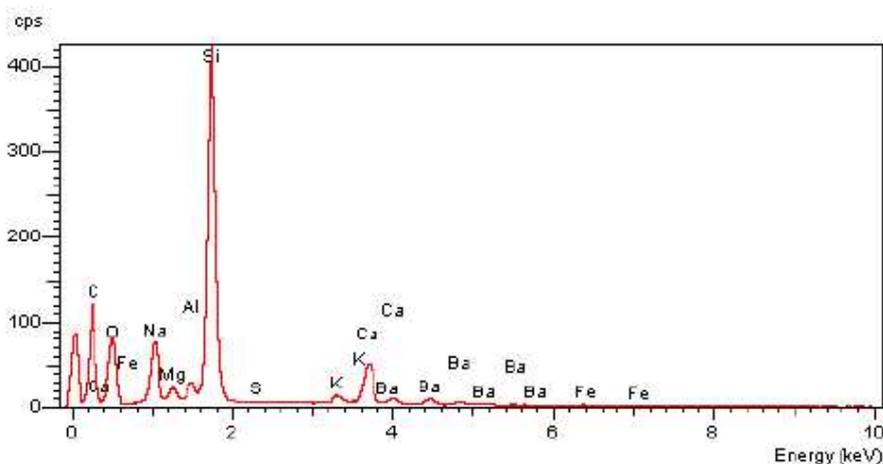


Figure 23 : Spectre de dispersion d'énergie des photons X (EDX) d'une fibre de l'échantillon Dalle

Composé	Dalle 1		Dalle 2	
	% moyen	Ecart type	% moyen	Ecart type
Na <sub>2</sub> O	9,71	1,99	10,78	0,88
MgO	2,84	0,06	2,96	0,13
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,53	0,05	2,51	0,09
SiO <sub>2</sub>	70,97	1,57	70,20	0,64
SO <sub>3</sub>	0,29	0,07	0,32	0,11
K <sub>2</sub> O	1,17	0,04	1,19	0,05
CaO	8,78	0,24	8,41	0,34
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,52	0,08	0,51	0,05
BaO	3,13	0,15	3,10	0,21
Total	99,93		99,97	

Tableau 38 : Oxydes composant les FMA des échantillons de Dalle 1 et 2

Cette composition correspond à celle d'une fibre minérale artificielle de type laine de verre.

## 5. Synthèse générale

### Emissions chimiques

Les résultats obtenus sur 8 produits testés, 4 neufs (rouleau de laine de verre, dalle de plafond laine de verre, flocons laine de roche, un flochage) et 4 vieillis (flocage de plafond, rouleau laine de verre, flocons vrac, dalle de plafond), montrent que :

- les émissions de COV individuels et de COV totaux (TVOC) sont relativement faibles.
- Le principal composé émis est le formaldéhyde, reflétant vraisemblablement la présence d'un liant urée-formol (ou son absence pour le flochage neuf). Il est à noter, par ailleurs, la persistance de ce composé au cours du temps
- sur les 2 éprouvettes testées pour les produits vieillis, on constate une certaine variabilité des émissions qui peut traduire l'hétérogénéité des produits (composition initiale et phénomènes de vieillissement).

### Caractérisation de la libération des FMA

Concernant les niveaux d'émission **en exposition professionnelle**, les résultats en MOCP des analyses des filtres prélevés sur les chantiers d'enlèvement de FMA sont tous **inférieurs à la valeur limite d'exposition (VLE) professionnelle indicative de 1F/ml**.

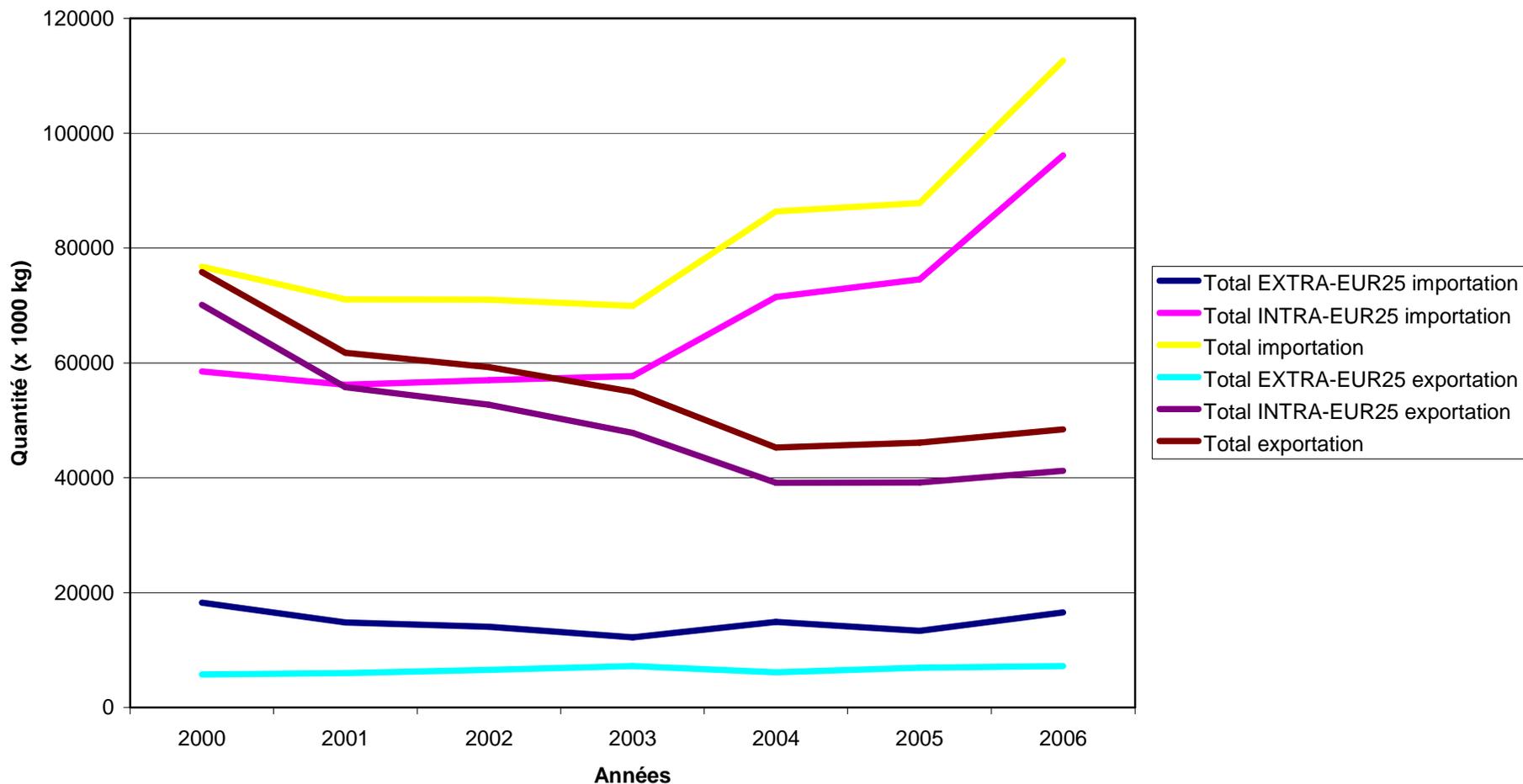
Concernant les **niveaux d'émission en exposition environnementale**, les résultats des prélèvements effectués à **proximité des opérateurs sont supérieurs aux maxima** rencontrés au travers d'études menées par le LEPI dans l'environnement général en MOLP.

Pour les **essais de simulation mécanique** et dans le cadre des sollicitations appliquées (automatique et limitée dans le temps), il apparaît que **les concentrations émises sont en général supérieures à celles mesurées sur le terrain**. Par ailleurs, il apparaît que **les FMA libérées** tant sur les chantiers de dépose que lors des essais laboratoires **sont pour la majorité respirables**. Les résultats des essais de sollicitations acoustiques appliquées au dalles de faux plafond n'ont, pour leur part, pas été probants.

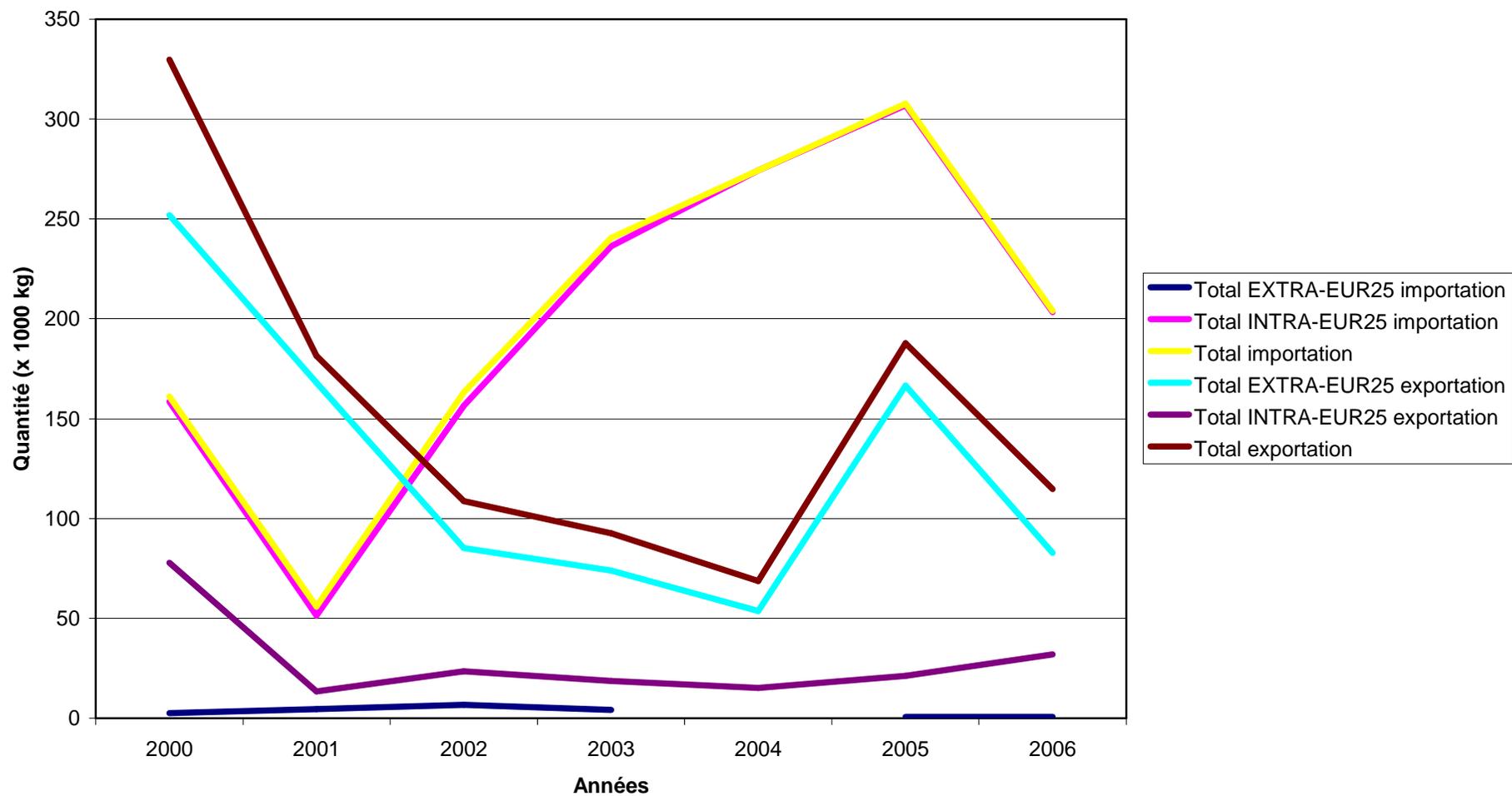
### Caractérisation physico-chimique

Les analyses ATG-DSC ont permis de déterminer les températures de décomposition de 4 types de matériaux vieillis prélevés sur sites, avec des valeurs comprises entre 198 et 235 °C.  
L'analyse X a permis de définir la nature de ces mêmes produits par comparaison de la composition chimique élémentaire obtenue et celle précisée par le CIRC.

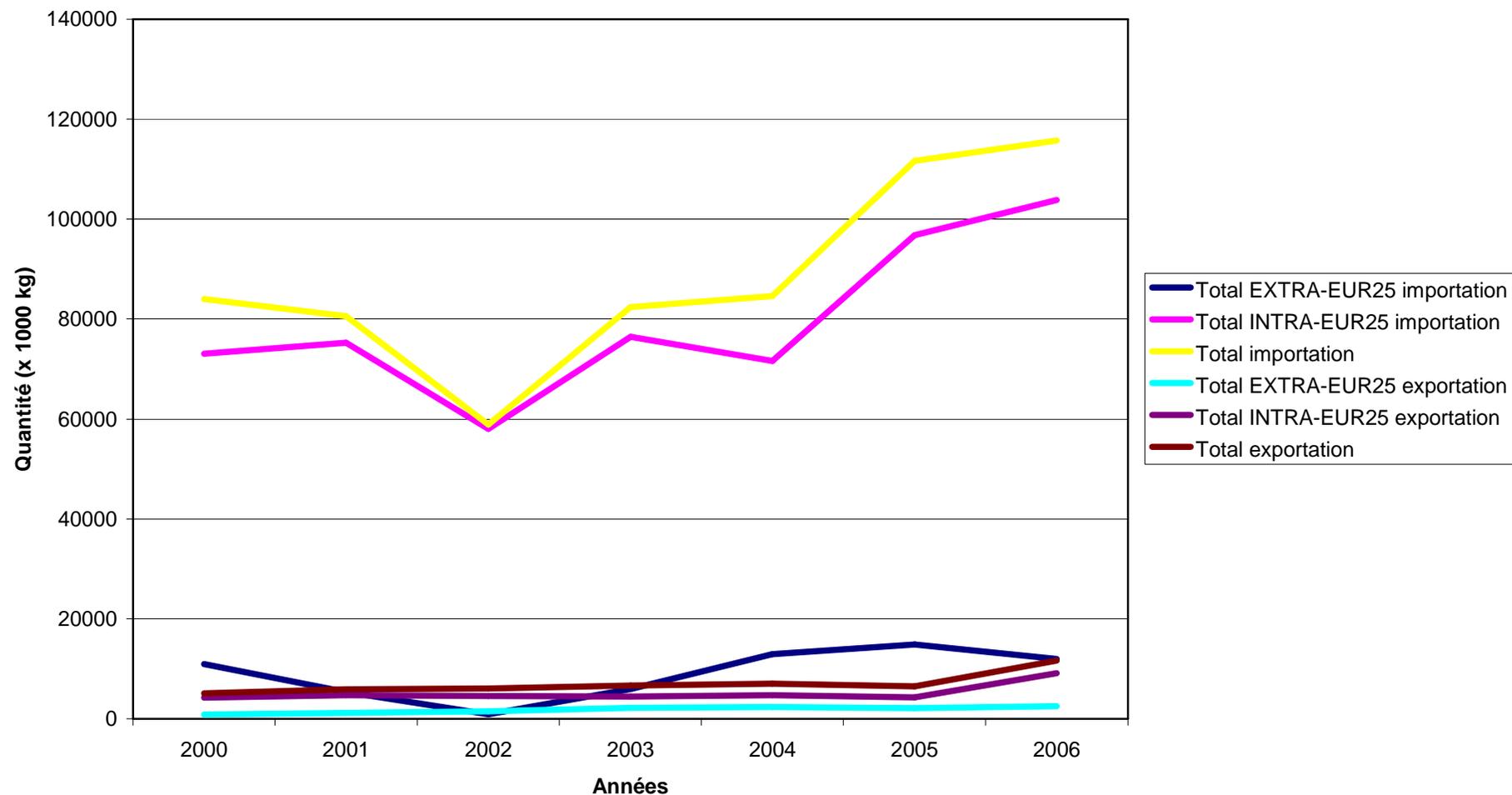
## Annexe 4 : Cessions de produits contenant des laines minérales entre sites de production pour la France et l'Europe



**Grphe 1 :** Importations et exportations françaises de laines de roche et de laitier (statistiques commerciales pour les laines de laitier, de scories, de roche et laines minérales similaires, même mélangées entre elles, en vrac, panneaux ou rouleaux) (d'après export helpdesk, 2007)



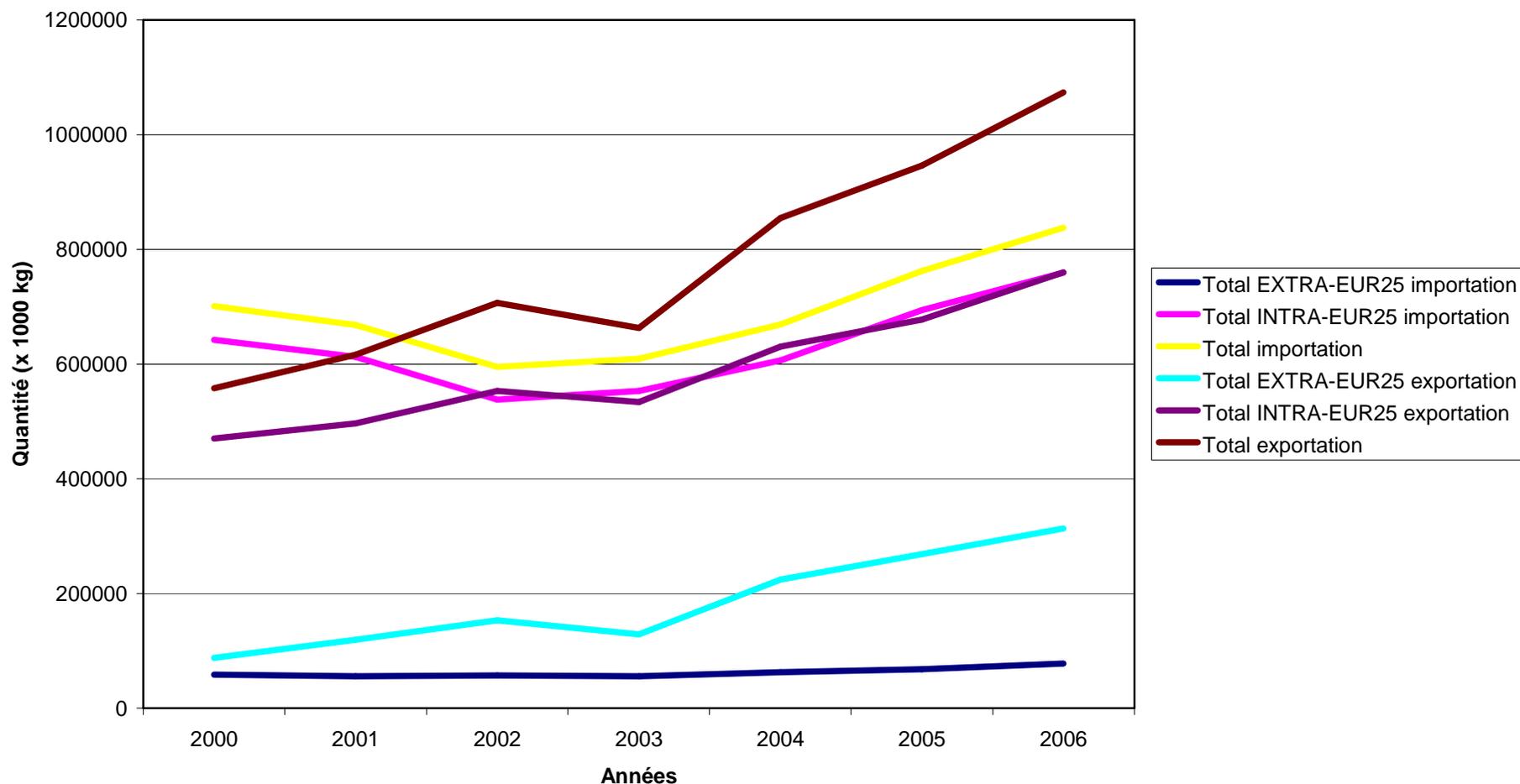
**Graphe 2 : Importations et exportations françaises de bourrelets et coquilles de laines de verre pour l'isolation des tuyauteries (d'après export helpdesk, 2007)**



**Graph 3 :** Importations et exportations françaises de nappes, matelas, panneaux et produits similaires non tissés de laines de verre (d'après export helpdesk, 2007)

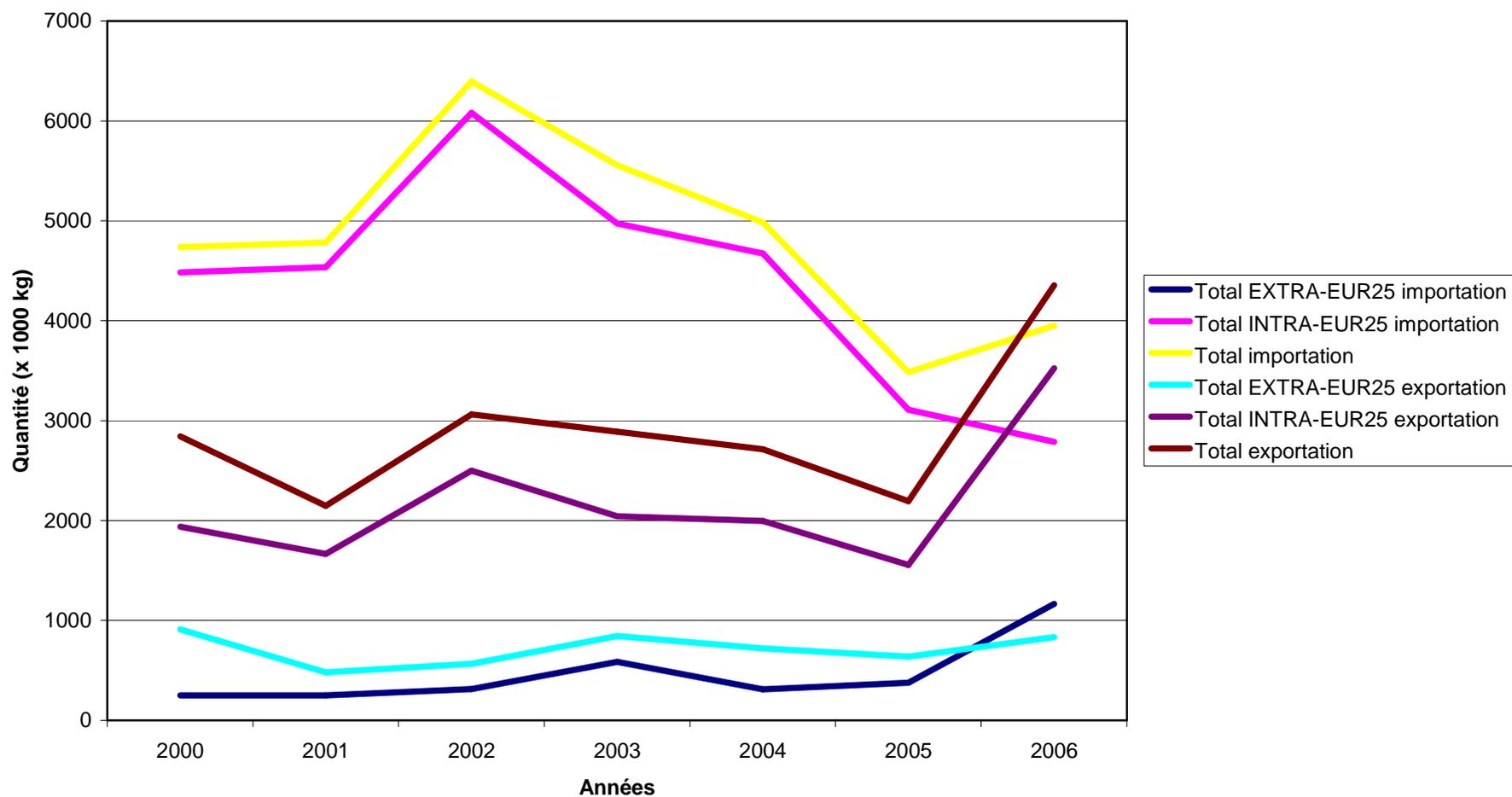
### Importations et exportations européennes de laines de roche et de laitier

(statistiques commerciales pour les laines de laitier, de scories, de roche et laines minérales similaires, même mélangées entre elles, en masses, feuilles ou rouleaux)



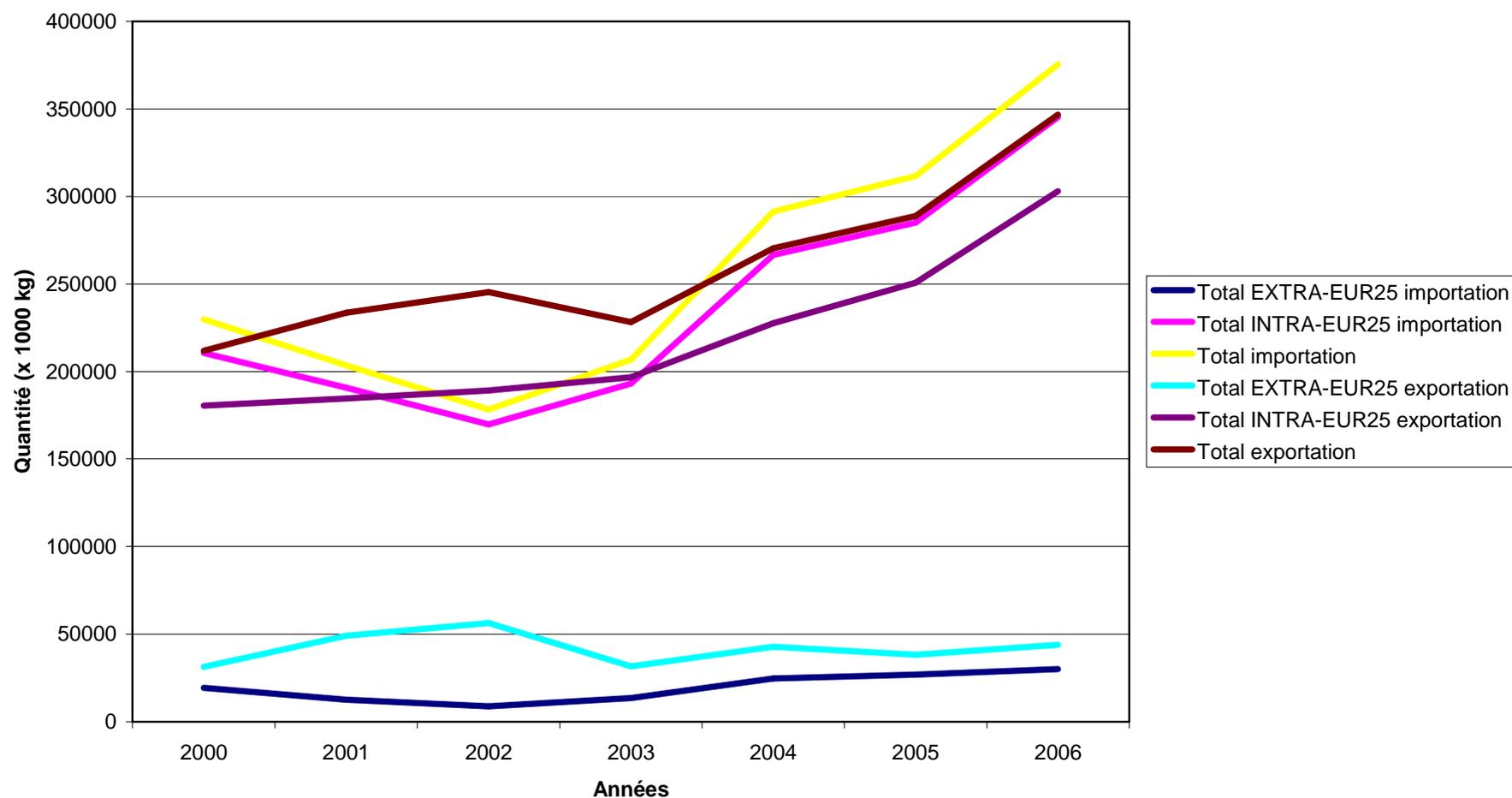
**Graphe 4 : Importations et exportations européennes de laines de roche et de laitier (statistiques commerciales pour les laines de laitier, de scories, de roche et laines minérales similaires, même mélangées entre elles, en vrac, panneaux ou rouleaux) (d'après export helpdesk, 2007)**

### Importations et exportations européennes de bourrelets et coquilles de laines de verre pour l'isolation des tuyauteries



**Graph 5 :** Importations et exportations européennes de bourrelets et coquilles de laines de verre pour l'isolation des tuyauteries (d'après export helpdesk, 2007)

### Importations et exportations européennes de de nappes, matelas, panneaux et produits similaires non tissés de laines de verre (?????)



**Graphe 3 : Importations et exportations européennes de nappes, matelas, panneaux et produits similaires non tissés de laines de verre (d'après export helpdesk, 2007)**

## **Annexe 5: Introduction sur le socle impliquant l'isolation thermique, acoustique et la protection incendie**

### **Isolation thermique**

La loi d'orientation sur l'énergie, publiée au Journal Officiel du 13 juillet 2006, fixe l'objectif de la France, à moyen et long terme, d'engager les mesures nécessaires pour diviser par 4 les émissions de CO<sub>2</sub> et limiter l'impact des augmentations du coût des énergies fossiles (pétrole et gaz).

La nouvelle réglementation RT 2005 applicable exclusivement aux bâtiments neufs articule ses exigences en cinq axes :

- baisser des consommations d'énergie de 15 % ;

Il s'agit des consommations liées au chauffage, à la climatisation, à la production d'eau chaude, à la ventilation et à l'éclairage.

- isoler pour réduire les besoins en énergie en limitant les déperditions thermiques des parois (toitures, murs, sols, ...) d'au moins 10 % ;
- valoriser l'étanchéité du logement pour une meilleure étanchéité à l'air des parois ;
- prendre en compte les énergies renouvelables et la conception bioclimatique ;
- délivrer à la réception de l'ouvrage la synthèse de l'étude thermique.

Les laines minérales contribuent à la réduction des besoins en énergie à travers l'isolation thermique dont les principes sont synthétisés dans le paragraphe suivant. Les principes du transfert de chaleur définis par trois flux aident à comprendre la manière dont l'isolation fonctionne. La chaleur s'écoule des surfaces chaudes vers des surfaces plus froides jusqu'à ce que la température de ces deux surfaces soit égale. Le transfert de chaleur s'effectue selon la conduction dans les solides et les gaz, la convection et le rayonnement.

### **La conduction**

La transmission de la chaleur par conduction est le transfert direct de chaleur entre molécules voisines. Elle concerne principalement les corps solides et liquides. Une molécule plus chaude transfère une partie de son énergie à ses voisines plus froides. Plus le matériau est isolant moins il y a de conduction.

### **La convection**

La transmission de la chaleur par convection concerne le transfert de chaleur par les gaz. L'air circule par différence de température entre deux points en raison de la variation de la masse volumique. Un exemple en est l'air chaud qui monte depuis une surface chaude et qui est remplacé par un air plus froid et plus dense qui descend. La chaleur est éloignée de la surface par l'air chaud.

### **Le rayonnement**

La transmission d'énergie par rayonnement infrarouge. Toute matière absorbe et émet un rayonnement en fonction de sa température et de son émissivité, l'échange de chaleur se fait en fonction du vecteur de propagation (le vide ou l'air) La chaleur rayonnée se déplace à la vitesse de la lumière dans l'air sans chauffer l'espace intermédiaire tout comme l'on ressent la chaleur du soleil sur son visage, la chaleur rayonne depuis le soleil vers la terre sans réchauffer l'espace qui les sépare.

La structure des laines minérales réduit la convection en retenant l'air dans la matrice de la laine. L'air parfaitement immobile est un bon isolant, sa conductivité est de 25mW/mK. Les laines minérales arrêtent aussi le rayonnement et la conduction de la chaleur. L'efficacité de des laines minérales, lorsqu'il s'agit de diminuer le transfert de chaleur, dépend de ses propriétés structurelles

comme la masse volumique, l'épaisseur, la composition et la finesse des fibres de même que la température à laquelle celle-ci est utilisée.

La conductivité thermique,  $\Lambda$  (lambda, mesurée en watts par mètre et Kelvin, (W/mK) d'un matériau représente la quantité de chaleur qui traverse une épaisseur d'un mètre par mètre carré et par unité de temps avec une différence de température de un degré entre les faces.

La conduction ou la conductivité thermique, est une caractéristique constante intrinsèque et propre à chaque matériau. Elle permet d'évaluer l'aptitude du matériau à laisser plus ou moins passer un flux de chaleur.

Plus la valeur lambda est petite et meilleur sera l'aptitude du matériau à réduire ou supprimer le flux de chaleur. A titre d'exemple, les valeurs lambda de matériaux types sont : cuivre 380 W/mK, aluminium 210 W/mK; acier 46 W/mK; bois 0,21 W/mK; laine minérale 0,040 – 0,032 W/mK; air 0,026 W/mK).

A des fins de construction, un matériau est défini comme isolant si sa conductivité thermique est inférieure à 0,065 W/mK.

La capacité d'isolation des produits à base de laines minérales est basée sur la faible conductivité thermique de l'air par l'enchevêtrement des fibres qui constitue une multitude d'interstices où l'air est emprisonné amenant ainsi la conductivité thermique des laines minérales proche de celle de l'air immobile.

La résistance thermique ou valeur R dépend de la conductivité thermique et de l'épaisseur du matériau et de la capacité d'une épaisseur donnée d'un matériau à empêcher le passage de la chaleur. La résistance thermique R d'un matériau d'une épaisseur d (mètres) et la conductivité thermique  $\Lambda$  sont égales à  $R=d/\Lambda$  (les unités sont des mètres carrés que multiplie des Kelvin par watt (m<sup>2</sup>K/W)). Plus la résistance thermique R est élevée, plus le matériau oppose une résistance au passage de la chaleur.

Cette valeur R, indiquée sur les emballages des produits isolants marqués CE et/ou certifiés, permet de choisir l'épaisseur pour chaque paroi selon la zone climatique où est située l'habitation et garantit ainsi la performance du produit. L'ACERMI est une certification qui garantit la performance thermique des produits mis sur le marché mesurées selon les normes européennes. L'étiquetage des produits comprend dorénavant une partie réglementaire concernant le marquage CE accompagnée des caractéristiques selon la norme européenne EN 13162.

Ainsi, la résistance thermique R est l'inverse du coefficient de transmission thermique ; elle permet de caractériser l'isolation de différentes parties d'un bâtiment (par exemple, pour un toit) alors que la conductivité thermique est une propriété inhérente à un matériau (Site EURIMA, 2007).

La figure ci-dessous décrit le principe inhérent à la conductivité thermique et propose les valeurs de ce paramètre pour différents matériaux d'isolation.

## Conductivité thermique □

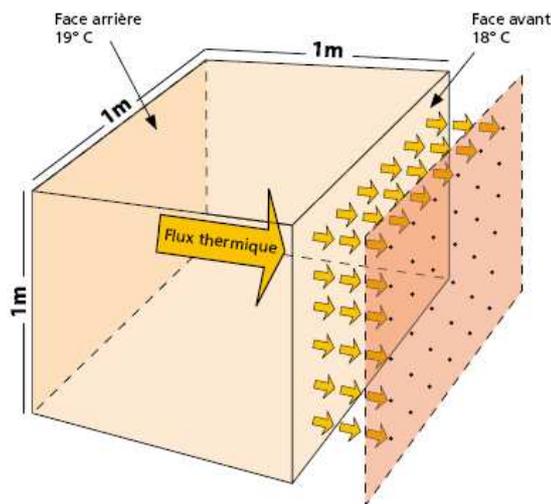
- Capacité des matériaux à transmettre la chaleur par conduction
- □ est exprimé en W/m.K
- Plus □ est grand, plus le matériau est conducteur
- Plus □ est petit, plus le matériau est isolant

### Isolants :

Polystyrène extrudé (CO <sub>2</sub> ) :	0,034 à 0,036 W/m.K
Polystyrène extrudé (HFC) :	0,029 W/m.K
Polystyrène expansé :	0,030 à 0,045 W/m.K
Laine de verre :	0,032 à 0,040 W/m.K
Laine de roche :	0,033 à 0,042 W/m.K

### Autres :

Cuivre :	380,000 W/m.K
Acier doux :	52,000 W/m.K
Béton :	1,500 W/m.K
Verre :	1,150 W/m.K
Eau :	0,600 W/m.K
Sapin :	0,120 W/m.K
Air sec immobile :	0,024 W/m.K



PRINCIPE DE LA CONDUCTIVITE THERMIQUE ET VALEURS POUR DIFFERENTS MATERIAUX D'ISOLATION (SITE INTERNET ISOVER, 2007)

L'eau sous forme gazeuse (vapeur d'eau, ambiance saturée) ou liquide (eau de condensation ou d'infiltration accidentelle) peut pénétrer dans des isolants en diminuant leur résistante thermique nominale à l'état sec (techniques de l'ingénieur, Langlais et Klarsfeld, 2004).

### Isolation acoustique

La nature du son dépend explicitement de trois facteurs influençant l'expérience et la perception du son par les personnes.

#### Le Niveau

Les niveaux sonores sont exprimés en décibels (dB). Une augmentation de 3 dB correspond au doublement de la puissance sonore donc du niveau de bruit. Une augmentation de 1 dB constitue le changement audible le plus petit qui puisse être détecté.

#### La Durée

Le potentiel de dommage auditif d'un bruit dépend également de la durée de l'exposition au bruit. En règle générale, les risques de dommage sont évalués sur la base d'un cycle d'exposition de huit heures par jour.

#### La Fréquence

La fréquence est exprimée en Hertz (Hz). De nombreuses sources de bruit comportent un large éventail de fréquences. Toutefois, l'oreille humaine ne réagit pas dans la même mesure aux niveaux de pression acoustique pour différentes fréquences. Pour compenser la sensibilité variable de l'oreille, on mesure le son à l'aide du dB (A), une pondération convenue au niveau international qui imite la capacité de réponse de l'oreille humaine. Les sonomètres comportent un filtre pour la mesure en dB (A).

La qualité acoustique d'un local est liée à des phénomènes physiques correspondant à deux notions :

L'isolation acoustique : regroupe l'ensemble des techniques et procédés mis en œuvre pour obtenir un isolement d'un local vers un autre. Elle consiste à réduire ou à éviter la transmission sonore d'un local à un autre ou de l'extérieur vers un local et vice et versa. L'isolation acoustique est exprimée par la valeur de l'isolement acoustique, aux bruits aériens d'un local (DnTA exprimé en dB), aux bruits de chocs (LnTW exprimé en dB) et aux bruits d'équipements (LnAT exprimé en dBA).

La correction acoustique : c'est le fait de maîtriser l'énergie sonore propagée dans un local et réfléchi sur les parois d'un local pour diminuer le niveau sonore et améliorer les qualités d'écoute. Elle consiste à concevoir et utiliser des systèmes absorbants dans lesquels la qualité et la nature de l'isolant joue un rôle. La correction acoustique est exprimée par le pouvoir d'absorption d'une paroi  $\alpha W$  et la durée de réverbération d'un local ( $T_r$  exprimé en secondes).

Réduire les bruits dans les logements s'inscrit dans la nouvelle réglementation acoustique des bâtiments et a fait l'objet de deux arrêtés en date du 28 novembre 1994, l'un relatif aux caractéristiques acoustiques des bâtiments d'habitation, et l'autre relatif aux modalités d'application de la réglementation acoustique.

Des exigences réglementaires existent dans le code de la construction et de l'habitation ainsi que dans les textes du code de l'environnement pour améliorer la qualité acoustique des logements, locaux non résidentiels et de travail. Ces dispositions sont applicables aux bâtiments dont le permis de construire ou la déclaration de travaux pour les surélévations et additions aux bâtiments existants et bâtiments neufs, a été déposé depuis le 1er janvier 1996.

La structure poreuse à cellules ouverte et élastique des laines minérales diminue la résistance au passage de l'air comprise entre les deux parois, augmentant ainsi la performance acoustique du système. Grâce à leur élasticité, les laines minérales permettent une parfaite désolidarisation entre chape et dalle pour traiter efficacement les bruits de choc. De même, grâce à leur porosité qui piège les ondes sonores, les laines minérales sont utilisées comme absorbant acoustique en plafonds ou en parois verticales dans les systèmes masse-ressort-masse.

Par conséquent, la structure des fibres dans les matériaux à base de laine minérale les rend propres à absorber le son. La laine minérale de verre et la laine minérale de roche présentent des caractéristiques d'absorption acoustique similaires et sont de qualité égale et proche de  $\alpha W = 1$  pour améliorer les performances d'isolation acoustique des constructions. Toutefois, une augmentation de l'absorption acoustique à l'intérieur d'un espace ne signifie pas que l'on améliore l'isolation acoustique entre les locaux. Il n'existe pas de lien direct univoque entre absorption et isolation. D'autres facteurs supplémentaires contribuent à une isolation acoustique efficace.

Pour l'utilisation des laines minérales à des fins de correction ou d'isolation acoustique, les caractéristiques nécessaires sont la valeur de  $\alpha W$ , la résistance au passage de l'air, la raideur dynamique qui sont définies dans les normes produits et d'essais européens. Selon le positionnement dans l'ouvrage c'est l'une ou l'autre de ces caractéristiques qui sera retenue.

## Protection incendie

A la fois non combustible par la nature des matières premières et non conductrice de la chaleur, les laines minérales s'avèrent un matériau de protection incendie efficace. En cas d'incendie, la laine minérale n'alimente pas l'incendie, évite la propagation des flammes et ne contribue pas au dégagement des fumées et de leur opacité, ni l'émission de gaz toxiques (FILMM). Elle est donc naturellement utilisée dans les systèmes de construction pour contribuer à la performance de stabilité au feu, de pare-flamme ou de coupe-feu. Elle est particulièrement adaptée pour des applications à risque et la protection des structures des bâtiments, le recouvrement de plafonds, les cloisons coupe-feu l'inclusion dans les portes coupe feu, la protection des façades et des planchers.

### ***Le comportement en réaction au feu des matériaux et produits***

Le comportement en réaction au feu des matériaux qualifie la capacité calorifique, leur facilité à s'enflammer et à propager le feu. Leur classification prend en compte la combustibilité (la masse combustible, l'énergie apportée au feu) et l'inflammabilité (longueur et durée des flammes).

Pour un même classement en réaction au feu, les produits peuvent avoir un pouvoir calorifique différent. Les laines minérales sont non combustibles ; leur masse combustible est toujours faible. D'autre part, les isolants en laine minérale de verre ou de roche ne contribuent pas à l'incendie.

Les produits d'isolation de construction comme les laines minérale font l'objet d'un marquage CE réglementaire et leur classement en réaction au feu se fait suivant le système de classification européen Euroclasses qui comprend 7 classes principales présentées dans le tableau ci-dessous.

### Euroclasses et propriétés de réaction au feu associées

Euroclasse	Contribution à l'incendie	Classement du matériau
<b>Euroclasse F</b>	<b>pas de comportement en réaction au feu déterminé</b>	<b>produit non classé ou non testé</b>
<b>Euroclasse E</b>	<b>contribution importante</b>	<b>produit très inflammable et propagateur de flamme</b>
<b>Euroclasse D</b>	<b>contribution élevée</b>	<b>produit très combustible</b>
<b>Euroclasse C</b>	<b>contribution significative</b>	<b>produit combustible</b>
<b>Euroclasse B</b>	<b>contribution faible</b>	<b>produit faiblement combustible</b>
<b>Euroclasse A2</b>	<b>contribution très faible</b>	<b>produits non combustibles</b>
<b>Euroclasse A1</b>	<b>contribution nulle</b>	

Le système européen comprend des critères complémentaires gouttes et fumées qui complètent les Euroclasses de A à D :

- Classement s pour la production de fumées ; les niveaux s1 (critères stricts), s2 (production totale de fumée et débit d'augmentation de la production de fumée limités) et s3 (aucune limite requise) correspondent au dégagement de fumées du plus faible au plus élevé ;
- Classement d pour la production de gouttelettes / particules enflammées; d0 (pas de gouttes/débris enflammés) d1 (pas de gouttes/débris enflammés persistants plus de 10s), d2 (ni d0 ni d1, inflammation du papier à l'allumabilité) et d3 correspondent à la présence et la durée de gouttes ou de débris enflammés.

Enfin, pour les produits ne faisant pas encore l'objet d'un marquage CE le classement national de réaction au feu comporte 5 catégories symbolisées par la lettre M et affectée d'un indice de 0 à 4, donnant la classification de réaction au feu des matériaux (combustion, faculté d'inflammation, propagation de la flamme).

Les 5 classes se déclinent ainsi : M0 non combustible (mesure du Pouvoir Calorifique Supérieur < 2,4 MJ/kg), M1 non inflammable, M2 difficilement inflammable, M3 moyennement inflammable et M4 facilement inflammable. Pour les isolants, cette classification n'est plus autorisée depuis le 1<sup>er</sup> mars 2003.

Le tableau suivant synthétise la transposition française des équivalences entre système européen et national (arrêté 21 novembre 2002).

### Classement européen de réaction au feu pour les matériaux isolants et équivalences

Classes selon la NF 13 501-1	s	d	Exigences	
Aucune contribution au feu même dans le cas d'un feu très développé	A1	-	-	Incombustible
	A2	s1	d0	M0
	A2	s1	d1	M1
	A2	s2	d0	
Contribution au feu très limitée. De plus dans les conditions d'un feu bien engagé, ces produits ne contribuent que très peu au développement et à la charge combustible	B	s1	d0	M1
		s2	d1	
		s3		
Contribution au feu limitée	C	s1	d0	M2
		s2	d1	
		s3		
Produit combustible mais résiste à une attaque brève de petites flammes	D	s1	d0	M3
		s2	d1	M4
		s3		(non gouttant)
Produit combustible et propagateur de flamme, mais résiste à une attaque brève de petites flammes	E			M4
Aucune performance déterminée	F			

### **La résistance au feu des parois**

La résistance au feu concerne exclusivement l'intégralité des systèmes constitutifs des parois (planchers, plafonds, murs, cloisons,...). La résistance au feu des éléments de construction qualifie les aptitudes à conserver leur rôle d'isolant (Pare Flamme, PF ou Coupe Feu, CF) ou de porteur (Stable au Feu, SF) durant le temps nécessaire à l'évacuation, au sauvetage et à la lutte contre l'incendie (Arrêté du 5 janvier 1959 - arrêté août 1999). Les éléments PF assurent la non-propagation des fumées et des gaz toxiques, qui constituent le danger majeur.

La résistance au feu d'un système constructif se définit par la durée pendant laquelle un élément de construction va conserver ses caractéristiques mécanique et d'isolation en cas d'incendie. En France comme en Europe, la résistance au feu s'exprime toujours en durée de temps en minutes ou heure (1/4 h - 1/2h - 1h ...). La résistance au feu comporte trois classements qui sont à la fois distincts et progressifs retenus en fonction de la partie d'ouvrage et de son rôle en matière de sécurité en cas d'incendie (coupe feu pour un plancher, pare flamme pour une porte.... Comme la réaction au feu, un système européen Euroclasses est valide pour le domaine de la résistance.

Le tableau XXVI récapitule la synthèse du classement destiné à caractériser les produits, éléments de construction et ouvrages quant à leur résistance au feu (arrêté 22 mars 2004).

**Tableau I : classement européen de résistance au feu pour les produits, éléments de construction et ouvrages**

Classement français	Classement européen
<b>Stable au feu : SF &gt; capacité portante</b> <b>Temps pendant lequel un élément porteur assume sa fonction</b>	<b>R</b>
<b>Pare flamme : PF &gt; étanchéité au feu</b> <b>Temps pendant lequel un élément de construction est stable au feu, étanches aux flammes et aux gaz chauds</b>	<b>E</b> <b>(RE si élément porteur)</b>
<b>Coupe feu CF &gt; isolation thermique</b> <b>Temps pendant lequel un élément de construction est stable au feu, pare flamme et où le transfert de chaleur côté non exposé ne dépasse pas 140 °C en moyenne</b>	<b>EI</b> <b>(REI si élément porteur)</b>

Les laines minérales contribuent à la réalisation de l'efficacité en matière de sécurité incendie des ouvrages vis-à-vis de ces exigences ; on peut les définir comme un matériau de protection passive de sécurité incendie efficace étant donné qu'elle est à la fois non combustible et n'est pas conductrice de la chaleur. Elle est appropriée à des utilisations retardatrices d'incendie, par exemple comme gainage de supports de constructions et de poutres, comme revêtement pour les plafonds et pour une intégration à des portes et des cloisons de séparation résistant au feu.

Les produits d'isolation et de protection anti-incendie à base de laine minérale peuvent être utilisés dans tous les types de bâtiments. Ils sont également utilisés dans des applications pratiques sur des plateformes pétrolières et dans des raffineries de produits pétroliers où ils protègent contre les incendies d'hydrocarbures.

Le tableau ci dessous propose pour quelques matériaux l'Euroclasse de classification en réaction au feu associée.

**Matériaux communs et Euroclasses associées**

EXEMPLES DE MATERIAUX	EUROCLASSE POTENTIEL D'EMBRASEMENT
BETON, BRIQUE, LAINE DE ROCHE, LAINE DE VERRE	A1 NEANT
PANNEAU DE PLATRE, PANNEAU EN PARTICULES DE CIMENT, LAINE DE VERRE – CONTREPLAQUEE, LAINE DE ROCHE - CONTREPLAQUEE	A2 NON
PLACOPLATRE PEINT, CERTAINS MDF RESISTANT AU FEU, CERTAINS CONTREPLAQUES DE BOULEAU	B NON
LA PLUPART DES MDF RESISTANT AU FEU, CERTAINS CONTREPLAQUES EUROPEENS, CERTAINS CONTREPLAQUES EUROPEENS	C OUI
POLYSTYRENE EXPANSE TYPE A, MOUSSE DE POLYISOCYANURATE (FEUILLE MINCE CONTREPLAQUEE), POLYSTYRENE EXTRUDE, REVETEMENT MURAL EN VINYLE (IMPRESSION GRAVURE)	D OUI
MOUSSE DE POLYURETHANE (STRATIFIEE), MOUSSE DE POLYISOCYANURATE (PROJETEE), PANNEAU EN FIBRES DE BOIS (COMPRIME SOUS VIDE)	E OUI
POLYSTYRENE EXPANSE TYPE N, NON TESTE OU ECHEC EUROCLASSE E	F OUI

Les laines de verre sont issues principalement de verre recyclé et de sable. Ces constituants donnent tout naturellement aux produits les propriétés nécessaires pour la construction : imputrescibilité, tenue au feu, etc. Le caractère naturellement ininflammable du sable ou du verre évite l'incorporation d'additifs pour l'ignifugation. Ainsi une laine de verre contient de trois à quatre fois moins d'additifs organiques que des isolants végétaux.

Une partie des laines de roche et des laines de laitier produites aux Etats-Unis se destine à la fabrication de matériaux pour la protection incendie. Les données indiquent que la température s'élève approximativement, pour un incendie typique dans un immeuble, entre 925 et 1 030 °C après 1 et 2 heures respectivement. Lorsque les laines de laitier ou les laines de roche sont exposées à des températures supérieures à 850 °C, les laines se dévitrifient partiellement et forment une structure polycristalline demeurant thermiquement et dimensionnellement stable. La structure cristalline se compose souvent d'anorthite, d'une variante de la wollastonite (composition minérale similaire mais structure cristalline légèrement divergente) ou d'autres phases variées dépendant de la composition initiale. Cependant, la structure dévitrifiée ne contient pas de cristobalite ou d'autres formes de silice cristalline. La température de fusion de cette structure polycristalline s'élève entre 1 225 et 1 360 °C, selon la structure cristalline formée, et permet de contenir un incendie pendant plusieurs heures. Pour des applications d'isolation à hautes températures, la température continue d'utilisation peut être une variable critique pour l'utilisation des laines de laitier et des laines de roche. Les laines de laitier produites aux Etats-Unis présentent, selon la TIMA (1991), une température continue d'utilisation maximale s'élevant à 650 °C et une température de fusion à 1 100 °C.

En France, le FILMM (2007) indique que les laines de laitier se limitent à des applications spécifiques de projection centrées sur la protection incendie notamment dans les parkings, les sous faces de planchers...et toute structure qu'il est impossible d'encoffrer du fait de la géométrie.

La laine de roche (ou de laitier) est plus spécialement employée quand :

- La résistance au feu de la paroi initiale doit être complétée pour des durées excédant la demi-heure en bâtiment, thermique industrielle et ouvrage de génie civil ;
- Les températures de service s'avèrent très élevées entre 500 °C et 800°C.

## Annexe 6: Détails sur les procédés d'isolation

---

### Climatisation

Conduits aérauliques à l'intérieur des bâtiments

- Isolation thermo-acoustique des conduits aérauliques isolants autoporteur
- Isolation thermo-acoustique des conduits aérauliques par l'intérieur
- Isolation thermo-acoustique par conduits aérauliques isolants autoporteurs
- Isolation thermique des conduits aérauliques par l'extérieur

### Chauffage

#### *Eléments de chauffage*

- Protection des foyers et hottes de cheminée
- Isolation des conduites d'eau chaude sanitaires
- Protection des murs derrière un radiateur
- Isolation et protection thermique des tuyauteries à fluides chauds jusqu'à 500°
- Isolation et protection thermique des tuyauteries à fluides chauds jusqu'à 250°

Le surfaçage aluminium doit être disposé côté chaud. Une lame d'air est impérative entre le surfaçage aluminisé du panneau et le foyer fermé afin de favoriser les mouvements de convection de la chaleur. Les panneaux devront être plaqués et fixés dans la hotte décorative par collage (colle résistante aux hautes températures) ou fixation mécanique. Les éventuels panneaux disposés à l'horizontale seront fixés sans flèche ou porte à faux. Les arrivées d'air et les sorties ne devront pas être obstruées.

- Isolation avec "panneau radiateur" semi-rigide servant de réflecteur
- La feuille aluminium est toujours disposée côté chaud.
- Isolation et protection thermique des tuyauteries, avec bourrelet, en cordon torsadé
- Pour faciliter la mise en oeuvre, les spires du bourrelet pourront être tournées ensemble autour du tuyau.
- Isolation et protection thermique des tuyauteries, avec coquilles
- Les coquilles surfacées bénéficient toutes d'une languette adhésive longitudinale pour assurer leur fixation sur la tuyauterie.

#### *Toitures étanchées sur bacs acier*

Toitures inaccessibles

- Isolation support d'étanchéité bicouche fixée mécaniquement pour étanchéité bicouche
- Isolation (sur bacs longue portée) support d'étanchéité monocouche fixée mécaniquement
- Isolation (sur bacs à grande largeur de vallée) support d'étanchéité bicouche fixée mécaniquement
- Isolation support d'étanchéité sur bacs acier perforés.
- Isolation support d'étanchéité fixée mécaniquement sur bacs acier perforés

Le domaine d'emploi concerné correspond aux toitures inaccessibles ainsi qu'à leurs chemins de circulation. Les toitures inaccessibles reçoivent une circulation réduite à l'entretien normal du revêtement d'étanchéité et de ses accessoires. La pente des aires ou chemins de circulation est inférieure ou égale à 50%. Lorsque la toiture présente une pente supérieure à 100%, les panneaux isolants doivent être butés à l'égout sur un élément rigide continu préalablement fixé sur l'élément porteur. Le traitement des tôles doit être conforme aux exigences de la norme XP P 34 301. Les tôles d'acier nervurées perforées ou crevées sont admises sur des locaux classés à faible ou moyenne hygrométrie. Seules les tôles d'acier nervurées pleines sont admises sur les locaux classés à forte ou très forte hygrométrie; dans ce cas, un traitement spécifique est impératif : bandes auto-adhésives ou écran pare-vapeur continu collé sur un platelage métallique dans le cas d'un bâtiment à très forte hygrométrie et avec étanchéité auto-protégée. Pour répondre à la RT 2005, les épaisseurs d'isolant seront adaptées en fonction des résistances thermiques de l'isolant et des performances thermiques du système.

- Toitures techniques ou zones techniques
- Isolation support d'étanchéité auto-protégée fixée mécaniquement

### ***Toitures étanchées sur maçonnerie***

Toitures inaccessibles avec chemin de circulation

- Isolation support d'étanchéité sous protection lourde
- Isolation support d'étanchéité auto-protégée
- Isolation inversée à protection intégrée
- Isolation inversée XPS sous protection lourde
- Isolation inversée XPS sur isolation existante

Toitures ou zones techniques

- Isolation support d'étanchéité sous protection lourde
- Isolation inversée avec chemin de nacelle ou massif technique d'équipement technique
- Isolation inversée sous protection dalles sur sable
- isolation inversée à retenue temporaire des eaux pluviales

Toitures accessibles

- Isolation inversée de terrasse avec protection dalles sur plots
- Isolation inversée de terrasse avec protection dalles préfabriquées sur gravillons
- Isolation inversée de terrasse avec protection pavés sur lit de sable
- Isolation inversée de terrasse avec protection carrelage sur chape de mortier
- Isolation inversée de terrasse sous dalle de compression pour véhicules légers
- Isolation inversée de terrasse sous dalle de compression pour véhicules lourds
- Isolation sous dalles sur plots

Toitures végétalisées ou jardins

- Isolation inversée pour toiture terrasse jardin
- isolation inversée pour toiture végétalisée

### **Combles et plafonds**

**Solutions d'isolation thermique combles perdus**

- Isolation entre solives
- Isolation entre entrants de fermettes
- Isolation en vrac entre solives
- Isolation à dérouler sur plancher

**Solutions d'isolation thermique combles aménagés**

- Isolation en double couche entre et sous chevrons avec écran de sous-toiture HPV et pare-vapeur hygrorégulant.
- Isolation en simple couche entre fermettes avec écran de sous-toiture HPV et pare-vapeur hygrorégulant.
- Isolation en une couche sous chevrons et entre pannes
- Isolation en une couche sous fermettes
- Isolation en double couche entre et sous chevrons
- Isolation en double couche entre chevrons et agrafée entre contre-chevrons

**Solutions d'isolation thermique combles aménagés par l'extérieur**

- Isolation thermo-acoustique de la toiture par l'extérieur avec écran de sous-toiture HPV et pare-vapeur membrane hygrorégulante.
- Isolation thermique de la toiture par l'extérieur (panneaux isolant de polystyrène extrudé)
- Isolation thermo-acoustique de la toiture par l'extérieur (panneau isolant en laine de verre)

**Murs et cloisons****Solutions d'isolation thermique et acoustique par l'intérieur**

- isolation thermo-acoustique des murs extérieurs sous ossature métallique et plaque de plâtre.
- Isolation thermo-acoustique des murs extérieurs derrière une contre cloison maçonnée (laine de verre)
- Isolation thermique des murs extérieurs derrière une contre cloison maçonnée (polystyrène extrudé)
- Complexe collé de doublage thermo-acoustique des murs extérieurs

**Solutions d'isolation acoustique faible épaisseur**

- Isolation acoustique de faible épaisseur sous ossature métallique et plaque de plâtre.
- Isolation acoustique sous ossature métallique de cloisons existantes en carreaux de plâtre
- Isolation acoustique sous ossature métallique de cloisons alvéolaires existantes

**Solutions d'isolation thermique et acoustique Maisons à ossature bois**

- Isolation double couche sous ossature métallique des murs à ossature bois avec contreventement extérieur
- Isolation simple couche des murs à ossature bois avec contreventement extérieur

- Isolation acoustique des cloisons à ossature bois
- Isolation acoustique renforcée des cloisons à ossature bois

#### ***Solutions d'isolation acoustique de cloison "résidentiel"***

- Isolation de cloison légère
- Isolation de cloison légère avec double parement (cloison type 98/48)
- Isolation de cloison légère avec ossature décalée, double parement et double couche d'isolant (cloison type 160/110)

#### ***Solutions d'isolation acoustique de cloison "tertiaire et industriel"***

- Isolation acoustique de cloisons modulaires
- Cloisons et doublages de très hautes performances acoustiques.
- Panneau sandwich isolant de hautes performances et absorption acoustique

#### ***Solutions d'isolation thermique et acoustique par l'extérieur***

- Isolation de façade préfabriquée
- Isolation de façade rideau et semi-rideau
- Isolation en laine de verre derrière un bardage ventilé
- Isolation par panneaux en mousse derrière un bardage ventilé
- Isolation et drainage des murs enterrés et fondations

### **Sols et planchers**

#### ***Solutions d'isolation thermique planchers bas maçonnés***

- Isolation thermique sous chape flottante
- Isolation thermique sous chape flottante avec chauffage intégré basse température
- Isolation thermique sur terre-plein

#### ***Solutions d'isolation acoustique planchers d'étage maçonnés***

- Isolation thermo-acoustique sous chape flottante
- isolation thermo-acoustique sous chape flottante avec chauffage intégré basse température
- Isolation acoustique de faible épaisseur sous dalles de panneau de particules
- Sous-couche mince sous chape flottante
- Sous-couche mince sous parquet flottant

#### ***Solutions d'isolation thermique et acoustique planchers par le dessous***

- Isolation thermo-acoustique sous plancher bois, sur ossature métallique
- Isolation thermo-acoustique sous plancher bois ou maçonné sur ossature longue portée
- Isolation thermo-acoustique sous plancher maçonné sur ossature métallique
- Isolation thermo-acoustique en fond de coffrage
- isolation thermo-acoustique en pose rapportée

**Solutions d'isolation thermique et acoustique planchers légers en rénovation**

- Isolation thermo-acoustique avec création d'un sur-plancher sur pieds
- isolation thermo-acoustique sous chape allégée
- Isolation acoustique mince sous dalles de panneau de particules
- Isolation thermo-acoustique de part et d'autre du plancher

**Bardages métalliques****Bâtiments à enveloppe métallique**

- Bardage double peau sans écarteur et isolation en une couche
- Bardage double peau sans écarteur et isolation en deux couches
- Bardage double peau avec écarteur et isolation en deux couches
- Bardage double peau avec fixations entretoises.
- Bardage double peau avec fixations entretoises.
- Bardage double peau avec écarteurs et fixations entretoises.
- Bardage par panneaux sandwichs isolants.
- Bardage horizontal double peau avec plateaux perforés et écarteurs

**Toitures sèches métalliques****Toitures chaudes double peau**

- Isolation simple couche, double peau à trame parallèle
- Isolation double couche, double peau à trame parallèle
- Isolation thermique et acoustique double couche, double peau à trame parallèle
- Panneaux sandwichs isolants

**Toitures chaudes simple peau**

- Isolation thermique et acoustique sur pannes, avec feutre tendu
- Isolation entre pannes avec panneaux et feutre isolants
- Isolation entre pannes avec panneaux isolants
- Isolation thermique et acoustique entre pannes

**Toitures avec plénum**

- Isolation sous pannes avec plafond suspendu
- Isolation thermique et acoustique sous pannes avec plafond suspendu
- Isolation sous pannes, avec solution anti condensation

**Toitures sèches des locaux agricoles**

- Isolation en plafond sous ferme ou charpente
- Isolation sous rampant

## Annexe 7 : Eléments fournis par Batim'études

MAISONS INDIVIDUELLES ISOLEES				ENSEMBLE DU MARCHE			
	nbe de logements			%			
	2006		2001	2006		2001	
<b>ENSEMBLE DU MARCHE</b>	<b>181480</b>		<b>157100</b>	<b>100%</b>		<b>100%</b>	
<b>SHON</b>							
< 100 m2	20591		22282	11%		14%	
100 à 129 m2	55342		52632	30%		34%	
130 à 169 m2	74630		59124	41%		38%	
> 170 m2	30917		23061	17%		15%	
<b>REGIONS</b>							
Ile de France	5784		7364	3%		5%	
Champagne/Ard.	3527		2732	2%		2%	
Picardie	4926		2946	3%		2%	
Hte Normandie	4931		3907	3%		2%	
Centre	8085		6493	4%		4%	
Bsse Normandie	5977		4505	3%		3%	
Bourgogne	5422		4101	3%		3%	
Nord PdC	6915		6472	4%		4%	
Lorraine	6142		5640	3%		4%	
Alsace	3802		4439	2%		3%	
Franche-Comté	4359		3914	2%		2%	
Pays de la Loire	19089		14225	11%		9%	
Bretagne	18041		13406	10%		9%	
Poitou Charentes	10146		7110	6%		5%	
Aquitaine	13823		11770	8%		7%	
Midi-Pyrénées	13609		10788	7%		7%	
Limousin	3458		2028	2%		1%	
Rhône-Alpes	16555		17767	9%		11%	
Auvergne	5595		4634	3%		3%	
Languedoc-Rous.	10273		10748	6%		7%	
Prov. Alpes C. Azur	11022		12111	6%		8%	

MAISONS INDIVIDUELLES GROUPEES				ENSEMBLE DU MARCHE			
	nbe de logements			%			
	2006		2001	2006		2001	
<b>ENSEMBLE DU MARCHE</b>	<b>49245</b>		<b>33700</b>	<b>100%</b>		<b>100%</b>	
<b>TYPE DE PROMOTEUR</b>							
Privé	35999		18405	73%		55%	
Public	13246		15295	27%		45%	
<b>REGIONS</b>							
Ile de France	4158		4376	8%		13%	
Champagne/Ard.	728		658	1%		2%	
Picardie	1666		343	3%		1%	
Hte Normandie	1064		890	2%		3%	
Centre	2859		1634	6%		5%	
Bsse Nomandie	1298		929	3%		3%	
Bourgogne	1071		650	2%		2%	
Nord PdC	4428		3889	9%		12%	
Lorraine	1250		894	3%		3%	
Alsace	605		462	1%		1%	
Franche-Comté	532		297	1%		1%	
Pays de la Loire	3452		2313	7%		7%	
Bretagne	3645		2048	7%		6%	
Poitou Charentes	2746		1125	6%		3%	
Aquitaine	5240		2325	11%		7%	
Midi-Pyrénées	3010		2324	6%		7%	
Limousin	464		226	1%		1%	
Rhône-Alpes	4054		2883	8%		9%	
Auvergne	714		512	1%		2%	
Languedoc-Rous.	2876		2177	6%		6%	
Prov. Alpes C. Azur	3387		2744	7%		8%	

<b>LOGEMENTS COLLECTIFS</b>		<b>ENSEMBLE DU MARCHÉ</b>							
	nbe de logements				%				
	2006		2001	2006		2001			
<b>ENSEMBLE DU MARCHÉ</b>	<b>171845</b>		<b>102400</b>	<b>100%</b>		<b>100%</b>			
<b>TYPE DE PROMOTEUR</b>									
Privé	141698		78090	82%		76%			
Public	30147		24310	18%		24%			
<b>REGIONS</b>									
Ile de France	26925		23711	16%		23%			
Champagne/Ard.	2242		797	1%		1%			
Picardie	2194		1079	1%		1%			
Hte Normandie	3888		1795	2%		2%			
Centre	3706		2136	2%		2%			
Bsse Normandie	2326		1593	1%		2%			
Bourgogne	3134		1524	2%		1%			
Nord PdC	6772		3239	4%		3%			
Lorraine	6595		3533	4%		3%			
Alsace	6665		4954	4%		5%			
Franche-Comté	2185		2120	1%		2%			
Pays de la Loire	8418		4343	5%		4%			
Bretagne	13122		5393	8%		5%			
Poitou Charentes	2703		1089	2%		1%			
Aquitaine	11460		5696	7%		6%			
Midi-Pyrénées	10270		6069	6%		6%			
Limousin	1399		961	1%		1%			
Rhône-Alpes	26353		15562	15%		15%			
Auvergne	3269		1419	2%		1%			
Languedoc-Rous.	8872		5236	5%		5%			
Prov. Alpes C. Azur	19346		10151	11%		10%			

<b>BUREAUX</b>		<b>ENSEMBLE DU MARCHE</b>									
	SHON (000m <sup>3</sup> )					%					
	2006			2001		2006			2001		
<b>ENSEMBLE DU MARCHE</b>	<b>4130</b>			<b>4300</b>		<b>100%</b>			<b>100%</b>		
<b>SHON</b>											
moins de 1000 m <sup>2</sup>	1194			1194		29%			28%		
1000 à 1999 m <sup>2</sup>	472			495		11%			12%		
2000 à 4999 m <sup>2</sup>	709			711		17%			17%		
5000 m <sup>2</sup> et plus	1756			1900		43%			44%		
<b>REGIONS</b>											
Ile de France	1283			1517		31%			35%		
Champagne/Ard.	53			35		1%			1%		
Picardie	58			44		1%			1%		
Hte Normandie	77			66		2%			2%		
Centre	83			105		2%			2%		
Bsse Nomandie	66			78		2%			2%		
Bourgogne	56			68		1%			2%		
Nord PdC	162			303		4%			7%		
Lorraine	86			106		2%			2%		
Alsace	92			135		2%			3%		
Franche-Comté	43			60		1%			1%		
Pays de la Loire	302			245		7%			6%		
Bretagne	233			167		6%			4%		
Poitou Charentes	96			82		2%			2%		
Aquitaine	239			212		6%			5%		
Midi-Pyrénées	190			197		5%			5%		
Limousin	36			36		1%			1%		
Rhône-Alpes	457			459		11%			11%		
Auvergne	91			56		2%			1%		
Languedoc-Rous.	141			133		3%			3%		
Prov. Alpes C. Azur	285			197		7%			5%		

<b>BUREAUX</b>										
<b>TECHNIQUE D'ISOLATION DES MURS</b>										
	surface de façade (000m <sup>2</sup> )					%				
	2006			2001		2006			2001	
<b>ENSEMBLE DU MARCHE</b>	<b>2085</b>			<b>1870</b>		<b>100%</b>			<b>100%</b>	
<b>PAS D'ISOLATION</b>	<b>256</b>			<b>294</b>		<b>12%</b>			<b>16%</b>	
<b>PAR L'EXTERIEUR</b>	<b>280</b>			<b>148</b>		<b>13%</b>			<b>8%</b>	
<b>PAR L'INTERIEUR</b>	<b>1039</b>			<b>867</b>		<b>50%</b>			<b>46%</b>	
<b>ISOLATION CENTRALE</b>	<b>511</b>			<b>561</b>		<b>24%</b>			<b>30%</b>	

<b>BUREAUX</b>		<b>MATERIAU ISOLANT DES MURS</b>									
	surface de façade (000m <sup>2</sup> )					%					
	2006			2001		2006			2001		
<b>ENSEMBLE DU MARCHE</b>	<b>2085</b>			<b>1870</b>		<b>100%</b>			<b>100%</b>		
PAS D'ISOLATION	256			294		12%			16%		
POLYSTYRENE EXPANSE	681			736		33%			39%		
POLYSTYRENE EXTRUDE	26			8		1%			0%		
LAIN DE VERRE	725			551		35%			29%		
LAIN DE ROCHE	256			188		12%			10%		
POLYURETHANE	96			82		5%			4%		
BETON CELLULAIRE	11			10		1%			1%		
BRIQUE ISOLANTE	20					1%					
POLYSTYRENE THERMO ACOUSTIG	15					1%					

<b>BUREAUX</b>		<b>TECHNIQUE D'ISOLATION DE LA TOITURE</b>									
	surface de toiture (000m <sup>2</sup> )					%					
	2006			2001		2006			2001		
<b>ENSEMBLE DU MARCHE</b>	<b>1590</b>			<b>1650</b>		<b>100%</b>			<b>100%</b>		
<b>ISOLATION SOUS ETANCHEITE</b>	<b>1209</b>			<b>1233</b>		<b>76%</b>			<b>75%</b>		
<b>ISOLATION INVERSEE, SUR ETANCHEITE</b>	<b>25</b>			<b>15</b>		<b>2%</b>			<b>1%</b>		
<b>ISOLATION INTEGRE DANS LE PANNEAU</b>	<b>93</b>			<b>41</b>		<b>6%</b>			<b>2%</b>		
<b>PLAFOND ISOLANT</b>	<b>5</b>			<b>3</b>		<b>0%</b>			<b>0%</b>		
<b>LAINES SOUFFLEES</b>	<b>13</b>			<b>12</b>		<b>1%</b>			<b>1%</b>		
<b>LAINES DERoulees OU AGRAFees</b>	<b>231</b>			<b>333</b>		<b>15%</b>			<b>20%</b>		
<b>PANNEAU DE TOITURE</b>	<b>9</b>			<b>2</b>		<b>1%</b>			<b>0%</b>		
<b>SARKING</b>											
<b>PAS D'ISOLATION</b>	<b>4</b>			<b>11</b>		<b>0%</b>			<b>1%</b>		

<b>BUREAUX</b>		<b>MATERIAU ISOLANT DE LA TOITURE</b>							
	surface de toiture (000m <sup>2</sup> )				%				
	2006			2001			2006		2001
<b>ENSEMBLE DU MARCHE</b>	<b>1590</b>			<b>1650</b>			<b>100%</b>		<b>100%</b>
PAS D'ISOLATION	4			16			0%		1%
POLYSTYRENE EXPANSE	37			3			2%		0%
POLYSTYRENE EXTRUDE	72			122			5%		7%
LAIN DE VERRE	217			325			14%		20%
LAIN DE ROCHE	835			888			53%		54%
POLYURETHANE	403			257			25%		16%
BETON CELLULAIRE									
AUTRES	21			38			1%		2%

INDUSTRIE											ENSEMBLE DU MARCHÉ			
	SHON (000m <sup>3</sup> )						%							
	2006			2001			2006			2001				
<b>ENSEMBLE DU MARCHÉ</b>	<b>7820</b>			<b>10000</b>			<b>100%</b>			<b>100%</b>				
<b>SHON</b>														
<i>moins de 1000 m<sup>2</sup></i>	1971			2554			25%			26%				
<i>1000 à 1999 m<sup>2</sup></i>	1277			1685			16%			17%				
<i>2000 à 4999 m<sup>2</sup></i>	1711			2383			22%			24%				
<i>5000 m<sup>2</sup> et plus</i>	2860			3379			37%			34%				
<b>REGIONS</b>														
<i>Ile de France</i>	495			722			6%			7%				
<i>Champagne/Ard.</i>	191			156			2%			2%				
<i>Picardie</i>	284			256			4%			3%				
<i>Hte Normandie</i>	199			376			3%			4%				
<i>Centre</i>	392			565			5%			6%				
<i>Bsse Normandie</i>	272			262			3%			3%				
<i>Bourgogne</i>	208			288			3%			3%				
<i>Nord PdC</i>	854			822			11%			8%				
<i>Lorraine</i>	223			488			3%			5%				
<i>Alsace</i>	242			526			3%			5%				
<i>Franche-Comté</i>	214			310			3%			3%				
<i>Pays de la Loire</i>	762			830			10%			8%				
<i>Bretagne</i>	440			549			6%			5%				
<i>Poitou Charentes</i>	286			306			4%			3%				
<i>Aquitaine</i>	303			296			4%			3%				
<i>Midi-Pyrénées</i>	346			483			4%			5%				
<i>Limousin</i>	96			93			1%			1%				
<i>Rhône-Alpes</i>	1101			1610			14%			16%				
<i>Auvergne</i>	248			286			3%			3%				
<i>Languedoc-Rous.</i>	146			270			2%			3%				
<i>Prov. Alpes C. Azur</i>	515			505			7%			5%				

INDUSTRIE										
										TECHNIQUE D'ISOLATION DES MURS
	surface de façade (000m <sup>2</sup> )					%				
	2006			2001		2006			2001	
<b>ENSEMBLE DU MARCHE</b>	<b>4570</b>			<b>5570</b>		<b>100%</b>			<b>100%</b>	
PAS D'ISOLATION	1010			797		22%			14%	
PAR L'EXTERIEUR	54			78		1%			1%	
PAR L'INTERIEUR	359			374		8%			7%	
ISOLATION CENTRALE	3147			4321		69%			78%	

<b>INDUSTRIE</b>		<b>MATERIAU ISOLANT DES MURS</b>									
	surface de façade (000m <sup>2</sup> )					%					
	2006			2001		2006			2001		
<b>ENSEMBLE DU MARCHE</b>	<b>4570</b>			<b>5590</b>		<b>100%</b>			<b>100%</b>		
PAS D'ISOLATION	1010			797		22%			14%		
POLYSTYRENE EXPANSE	139			198		3%			4%		
POLYSTYRENE EXTRUDE	8			25		0%			0%		
LAINES DE VERRE	2336			3346		51%			60%		
LAINES DE ROCHE	556			546		12%			10%		
POLYURETHANE	474			615		10%			11%		
BETON CELLULAIRE	32			61		1%			1%		
BRIQUE ISOLANTE	11					0%					
POLYSTYRENE THERMO ACOUSTIQUE	4					0%					

<b>INDUSTRIE</b>											
											<b>TECHNIQUE D'ISOLATION DE LA TOITURE</b>
	surface de toiture (000m <sup>2</sup> )						%				
	2006			2001			2006			2001	
<b>ENSEMBLE DU MARCHE</b>	<b>7400</b>			<b>9450</b>			<b>100%</b>			<b>100%</b>	
<b>ISOLATION SOUS ETANCHEITE</b>	<b>4526</b>			<b>6394</b>			<b>61%</b>			<b>68%</b>	
<b>ISOLATION INVERSEE, SUR ETANCHEITE</b>	<b>6</b>			<b>41</b>			<b>0%</b>			<b>0%</b>	
<b>ISOLATION INTEGRE DANS LE PANNEAU</b>	<b>1426</b>			<b>554</b>			<b>19%</b>			<b>6%</b>	
<b>PLAFOND ISOLANT</b>	<b>130</b>			<b>295</b>			<b>2%</b>			<b>3%</b>	
<b>LAINES SOUFFLEES</b>	<b>5</b>			<b>19</b>			<b>0%</b>			<b>0%</b>	
<b>LAINES DERoulees ou agrafees</b>	<b>601</b>			<b>1310</b>			<b>8%</b>			<b>14%</b>	
<b>PANNEAU DE TOITURE</b>	<b>82</b>			<b>65</b>			<b>1%</b>			<b>1%</b>	
<b>SARKING</b>											
<b>PAS D'ISOLATION</b>	<b>625</b>			<b>774</b>			<b>8%</b>			<b>8%</b>	

<b>INDUSTRIE</b>		<b>MATERIAU ISOLANT DE LA TOITURE</b>									
	surface de toiture (000m <sup>2</sup> )					%					
	2006			2001		2006			2001		
<b>ENSEMBLE DU MARCHE</b>	<b>7400</b>			<b>9450</b>		<b>100%</b>			<b>100%</b>		
<b>PAS D'ISOLATION</b>	<b>655</b>			<b>817</b>		<b>9%</b>			<b>9%</b>		
<b>POLYSTYRENE EXPANSE</b>	<b>71</b>			<b>41</b>		<b>1%</b>			<b>0%</b>		
<b>POLYSTYRENE EXTRUDE</b>	<b>56</b>			<b>144</b>		<b>1%</b>			<b>2%</b>		
<b>LAINES DE VERRE</b>	<b>961</b>			<b>1440</b>		<b>13%</b>			<b>15%</b>		
<b>LAINES DE ROCHE</b>	<b>4375</b>			<b>5884</b>		<b>59%</b>			<b>62%</b>		
<b>POLYURETHANE</b>	<b>1160</b>			<b>877</b>		<b>16%</b>			<b>9%</b>		
<b>BETON CELLULAIRE</b>											
<b>AUTRES</b>	<b>121</b>			<b>248</b>		<b>2%</b>			<b>3%</b>		

<b>STOCKAGE</b>		<b>ENSEMBLE DU MARCHÉ</b>									
	SHON (000m <sup>3</sup> )					%					
	2006			2001		2006			2001		
<b>ENSEMBLE DU MARCHÉ</b>	<b>2795</b>			<b>2840</b>		<b>100%</b>			<b>100%</b>		
<b>SHON</b>											
moins de 1000 m <sup>2</sup>	611			675		22%			24%		
1000 à 1999 m <sup>2</sup>	320			359		11%			13%		
2000 à 4999 m <sup>2</sup>	351			447		13%			16%		
5000 m <sup>2</sup> et plus	1514			1359		54%			48%		
<b>REGIONS</b>											
Ile de France	518			857		19%			30%		
Champagne/Ard.	47			78		2%			3%		
Picardie	55			29		2%			1%		
Hte Normandie	36			84		1%			3%		
Centre	370			102		13%			4%		
Bsse Nomandie	28			69		1%			2%		
Bourgogne	185			81		7%			3%		
Nord PdC	81			94		3%			3%		
Lorraine	34			109		1%			4%		
Alsace	148			152		5%			5%		
Franche-Comté	21			59		1%			2%		
Pays de la Loire	137			102		5%			4%		
Bretagne	177			110		6%			4%		
Poitou Charentes	65			88		2%			3%		
Aquitaine	221			239		8%			8%		
Midi-Pyrénées	152			67		5%			2%		
Limousin	16			12		1%			0%		
Rhône-Alpes	206			239		7%			8%		
Auvergne	89			37		3%			1%		
Languedoc-Rous.	101			142		4%			5%		
Prov. Alpes C. Azur	107			92		4%			3%		

<b>STOCKAGE</b>		<b>TECHNIQUE D'ISOLATION DES MURS</b>									
	<i>surface de façade (000m<sup>2</sup>)</i>					%					
	2006			2001		2006			2001		
<b>ENSEMBLE DU MARCHE</b>	<b>1640</b>			<b>1440</b>		<b>100%</b>			<b>100%</b>		
<b>PAS D'ISOLATION</b>	<b>469</b>			<b>374</b>		<b>29%</b>			<b>26%</b>		
<b>PAR L'EXTERIEUR</b>	<b>42</b>			<b>14</b>		<b>3%</b>			<b>1%</b>		
<b>PAR L'INTERIEUR</b>	<b>124</b>			<b>33</b>		<b>8%</b>			<b>2%</b>		
<b>ISOLATION CENTRALE</b>	<b>1004</b>			<b>1019</b>		<b>61%</b>			<b>71%</b>		

STOCKAGE										
MATERIAU ISOLANT DES MURS										
	surface de façade (000m <sup>2</sup> )					%				
	2006			2001		2006			2001	
<b>ENSEMBLE DU MARCHE</b>	<b>1640</b>			<b>1440</b>		<b>100%</b>			<b>100%</b>	
PAS D'ISOLATION	469			374		29%			26%	
POLYSTYRENE EXPANSE	88			17		5%			1%	
POLYSTYRENE EXTRUDE	2			4		0%			0%	
LAINES DE VERRE	738			863		45%			60%	
LAINES DE ROCHE	229			76		14%			5%	
POLYURETHANE	98			73		6%			5%	
BETON CELLULAIRE	5			34		0%			2%	
BRIQUE ISOLANTE	5					0%				
POLYSTYRENE THERMO ACOUSTIQUE	6					0%				

STOCKAGE		TECHNIQUE D'ISOLATION DE LA TOITURE									
		surface de toiture (000m <sup>2</sup> )					%				
	2006			2001			2006			2001	
<b>ENSEMBLE DU MARCHE</b>	<b>2700</b>			<b>2830</b>			<b>100%</b>			<b>100%</b>	
ISOLATION SOUS ETANCHEITE	1820			2014			67%			71%	
ISOLATION INVERSEE, SUR ETANCHEITE	30			0			1%			0%	
ISOLATION INTEGRE DANS LE PANNEAU	252			153			9%			5%	
PLAFOND ISOLANT	17			56			1%			2%	
LAINES SOUFFLEES	12						0%				
LAINES DERoulees ou agrafees	192			184			7%			6%	
PANNEAU DE TOITURE	9			1			0%			0%	
SARKING											
PAS D'ISOLATION	368			422			14%			15%	

STOCKAGE										
MATERIAU ISOLANT DE LA TOITURE										
	surface de toiture (000m <sup>2</sup> )					%				
	2006			2001		2006			2001	
<b>ENSEMBLE DU MARCHE</b>	<b>2700</b>			<b>2830</b>		<b>100%</b>			<b>100%</b>	
PAS D'ISOLATION	376			442		14%			16%	
POLYSTYRENE EXPANSE	16			13		1%			0%	
POLYSTYRENE EXTRUDE	28			30		1%			1%	
LAINES DE VERRE	321			195		12%			7%	
LAINES DE ROCHE	1711			1862		63%			66%	
POLYURETHANE	196			268		7%			9%	
BETON CELLULAIRE										
AUTRES	52			21		2%			1%	

COMMERCE											
											ENSEMBLE DU MARCHÉ
	SHON (000m <sup>2</sup> )						%				
	2006				2001		2006			2001	
<b>ENSEMBLE DU MARCHÉ</b>	<b>4530</b>				<b>4080</b>		<b>100%</b>			<b>100%</b>	
<b>SHON</b>											
moins de 1000 m <sup>2</sup>	1249				1365		28%			33%	
1000 à 1999 m <sup>2</sup>	844				728		19%			18%	
2000 à 4999 m <sup>2</sup>	1094				865		24%			21%	
5000 m <sup>2</sup> et plus	1343				1122		30%			28%	
<b>REGIONS</b>											
Ile de France	499				527		11%			13%	
Champagne/Ard.	105				117		2%			3%	
Picardie	138				85		3%			2%	
Hte Normandie	75				94		2%			2%	
Centre	236				236		5%			6%	
Bsse Nomandie	143				112		3%			3%	
Bourgogne	115				169		3%			4%	
Nord PdC	281				255		6%			6%	
Lorraine	203				182		4%			4%	
Alsace	166				99		4%			2%	
Franche-Comté	106				106		2%			3%	
Pays de la Loire	329				324		7%			8%	
Bretagne	335				290		7%			7%	
Poitou Charentes	192				145		4%			4%	
Aquitaine	271				261		6%			6%	
Midi-Pyrénées	249				204		6%			5%	
Limousin	56				51		1%			1%	
Rhône-Alpes	363				333		8%			8%	
Auvergne	120				86		3%			2%	
Languedoc-Rous.	316				157		7%			4%	
Prov. Alpes C. Azur	232				246		5%			6%	

COMMERCE										
										TECHNIQUE D'ISOLATION DES MURS
	surface de façade (000m <sup>2</sup> )					%				
	2006			2001		2006			2001	
<b>ENSEMBLE DU MARCHE</b>	<b>2710</b>			<b>2350</b>		<b>100%</b>			<b>100%</b>	
PAS D'ISOLATION	455			254		17%			11%	
PAR L'EXTERIEUR	44			24		2%			1%	
PAR L'INTERIEUR	530			691		20%			29%	
ISOLATION CENTRALE	1681			1382		62%			59%	

COMMERCE		MATERIAU ISOLANT DES MURS									
	surface de façade (000m <sup>2</sup> )					%					
	2006			2001		2006			2001		
<b>ENSEMBLE DU MARCHÉ</b>	<b>2710</b>			<b>2350</b>		<b>100%</b>			<b>100%</b>		
PAS D'ISOLATION	455			254		17%			11%		
POLYSTYRENE EXPANSE	302			444		11%			19%		
POLYSTYRENE EXTRUDE	40					1%					
LAINES DE VERRE	1273			1287		47%			55%		
LAINES DE ROCHE	426			131		16%			6%		
POLYURETHANE	91			76		3%			3%		
BETON CELLULAIRE	35			109		1%			5%		
BRIQUE ISOLANTE	80			49		3%			2%		
POLYSTYRENE THERMO ACOUSTIQUE	8					0%					

COMMERCE										
TECHNIQUE D'ISOLATION DE LA TOITURE										
	surface de toiture (000m <sup>2</sup> )					%				
	2006			2001		2006			2001	
<b>ENSEMBLE DU MARCHE</b>	<b>4450</b>			<b>3920</b>		<b>100%</b>			<b>100%</b>	
ISOLATION SOUS ETANCHEITE	3371			3071		76%			78%	
ISOLATION INVERSEE, SUR ETANCHEITE	60			17		1%			0%	
ISOLATION INTEGRE DANS LE PANNEAU	390			146		9%			4%	
PLAFOND ISOLANT	19			74		0%			2%	
LAINES SOUFFLEES	31			5		1%			0%	
LAINES DERoulees ou agrafees	414			491		9%			13%	
PANNEAU DE TOITURE	37			14		1%			0%	
SARKING										
PAS D'ISOLATION	127			102		3%			3%	

<b>COMMERCE</b>		<b>MATERIAU ISOLANT DE LA TOITURE</b>									
	surface de toiture (000m <sup>2</sup> )					%					
	2006			2001		2006			2001		
<b>ENSEMBLE DU MARCHE</b>	<b>4450</b>			<b>3920</b>		<b>100%</b>			<b>100%</b>		
PAS D'ISOLATION	129			102		3%			3%		
POLYSTYRENE EXPANSE	61			21		1%			1%		
POLYSTYRENE EXTRUDE	88			65		2%			2%		
LAINES DE VERRE	755			517		17%			13%		
LAINES DE ROCHE	2729			2784		61%			71%		
POLYURETHANE	603			364		14%			9%		
BETON CELLULAIRE											
AUTRES	85			67		2%			2%		

ENSEIGNEMENT		ENSEMBLE DU MARCHÉ									
	SHON (000m <sup>2</sup> )					%					
	2006			2001		2006			2001		
<b>ENSEMBLE DU MARCHÉ</b>	<b>1895</b>			<b>1770</b>		<b>100%</b>			<b>100%</b>		
<b>SHON</b>											
moins de 1000 m <sup>2</sup>	533			557		28%			31%		
1000 à 1999 m <sup>2</sup>	305			285		16%			16%		
2000 à 4999 m <sup>2</sup>	418			367		22%			21%		
5000 m <sup>2</sup> et plus	639			561		34%			32%		
<b>REGIONS</b>											
Ile de France	330			268		17%			15%		
Champagne/Ard.	36			46		2%			3%		
Picardie	26			42		1%			2%		
Hte Normandie	71			61		4%			3%		
Centre	67			72		4%			4%		
Bsse Normandie	30			32		2%			2%		
Bourgogne	45			44		2%			3%		
Nord PdC	160			124		8%			7%		
Lorraine	54			75		3%			4%		
Alsace	28			63		1%			4%		
Franche-Comté	53			47		3%			3%		
Pays de la Loire	124			70		7%			4%		
Bretagne	105			115		6%			7%		
Poitou Charentes	28			43		1%			2%		
Aquitaine	82			70		4%			4%		
Midi-Pyrénées	100			99		5%			6%		
Limousin	30			11		2%			1%		
Rhône-Alpes	219			209		12%			12%		
Auvergne	46			16		2%			1%		
Languedoc-Rous.	82			119		4%			7%		
Prov. Alpes C. Azur	180			142		9%			8%		

ENSEIGNEMENT										
										TECHNIQUE D'ISOLATION DES MURS
	surface de façade (000m <sup>2</sup> )					%				
	2006			2001		2006			2001	
<b>ENSEMBLE DU MARCHE</b>	<b>1045</b>			<b>970</b>		<b>100%</b>			<b>100%</b>	
PAS D'ISOLATION	71			76		7%			8%	
PAR L'EXTERIEUR	120			39		11%			4%	
PAR L'INTERIEUR	726			799		69%			82%	
ISOLATION CENTRALE	128			56		12%			6%	

<b>ENSEIGNEMENT</b>		<b>MATERIAU ISOLANT DES MURS</b>									
	<i>surface de façade (000m<sup>2</sup>)</i>					%					
	2006			2001		2006			2001		
<b>ENSEMBLE DU MARCHE</b>	<b>1045</b>			<b>970</b>		<b>100%</b>			<b>100%</b>		
<b>PAS D'ISOLATION</b>	<b>71</b>			<b>76</b>		<b>7%</b>			<b>8%</b>		
<b>POLYSTYRENE EXPANSE</b>	<b>421</b>			<b>553</b>		<b>40%</b>			<b>57%</b>		
<b>POLYSTYRENE EXTRUDE</b>	<b>25</b>			<b>15</b>		<b>2%</b>			<b>2%</b>		
<b>LAINES DE VERRE</b>	<b>241</b>			<b>184</b>		<b>23%</b>			<b>19%</b>		
<b>LAINES DE ROCHE</b>	<b>218</b>			<b>117</b>		<b>21%</b>			<b>12%</b>		
<b>POLYURETHANE</b>	<b>20</b>			<b>21</b>		<b>2%</b>			<b>2%</b>		
<b>BETON CELLULAIRE</b>	<b>3</b>			<b>2</b>		<b>0%</b>			<b>0%</b>		
<b>BRIQUE ISOLANTE</b>	<b>17</b>					<b>2%</b>					
<b>POLYSTYRENE THERMO ACOUSTIQUE</b>	<b>30</b>					<b>3%</b>					

ENSEIGNEMENT										
										TECHNIQUE D'ISOLATION DE LA TOITURE
	surface de toiture (000m <sup>2</sup> )					%				
	2006			2001		2006			2001	
<b>ENSEMBLE DU MARCHE</b>	<b>1200</b>			<b>1080</b>		<b>100%</b>			<b>100%</b>	
ISOLATION SOUS ETANCHEITE	567			465		47%			43%	
ISOLATION INVERSEE, SUR ETANCHEITE	4			18		0%			2%	
ISOLATION INTEGRE DANS LE PANNEAU	51			17		4%			2%	
PLAFOND ISOLANT	4			4		0%			0%	
LAINES SOUFFLEES	15			11		1%			1%	
LAINES DERoulees ou agrafees	545			553		45%			51%	
PANNEAU DE TOITURE	8			4		1%			0%	
SARKING										
PAS D'ISOLATION	6			8		1%			1%	

ENSEIGNEMENT										
MATERIAU ISOLANT DE LA TOITURE										
	surface de toiture (000m <sup>2</sup> )					%				
	2006			2001		2006			2001	
<b>ENSEMBLE DU MARCHE</b>	<b>1200</b>			<b>1080</b>		<b>100%</b>			<b>100%</b>	
PAS D'ISOLATION	6			15		0%			1%	
POLYSTYRENE EXPANSE	47			4		4%			0%	
POLYSTYRENE EXTRUDE	51			65		4%			6%	
LAIN DE VERRE	468			461		39%			43%	
LAIN DE ROCHE	458			375		38%			35%	
POLYURETHANE	147			119		12%			11%	
BETON CELLULAIRE	1					0%				
AUTRES	22			41		2%			4%	

<b>SPORT ET CULTURE</b>		<b>ENSEMBLE DU MARCHÉ</b>							
	SHON (000m <sup>3</sup> )				%				
	2006		2001		2006		2001		
<b>ENSEMBLE DU MARCHÉ</b>	<b>2250</b>		<b>2050</b>		<b>100%</b>		<b>100%</b>		
<b>SHON</b>									
moins de 1000 m <sup>2</sup>	817		831		36%		41%		
1000 à 1999 m <sup>2</sup>	456		454		20%		22%		
2000 à 4999 m <sup>2</sup>	497		435		22%		21%		
5000 m <sup>2</sup> et plus	479		330		21%		16%		
<b>REGIONS</b>									
Ile de France	283		204		13%		10%		
Champagne/Ard.	35		59		2%		3%		
Picardie	51		54		2%		3%		
Hte Normandie	63		41		3%		2%		
Centre	91		94		4%		5%		
Bsse Nomandie	57		56		3%		3%		
Bourgogne	58		63		3%		3%		
Nord PdC	118		113		5%		6%		
Lorraine	96		91		4%		4%		
Alsace	43		94		2%		5%		
Franche-Comté	57		29		3%		1%		
Pays de la Loire	187		109		8%		5%		
Bretagne	187		140		8%		7%		
Poitou Charentes	69		66		3%		3%		
Aquitaine	108		134		5%		7%		
Midi-Pyrénées	95		129		4%		6%		
Limousin	22		22		1%		1%		
Rhône-Alpes	276		266		12%		13%		
Auvergne	82		99		4%		5%		
Languedoc-Rous.	103		95		5%		5%		
Prov. Alpes C. Azur	169		91		8%		4%		

<b>SPORT ET CULTURE</b>		<b>TECHNIQUE D'ISOLATION DES MURS</b>									
	surface de façade (000m <sup>2</sup> )					%					
	2006			2001		2006			2001		
<b>ENSEMBLE DU MARCHE</b>	<b>1685</b>			<b>1435</b>		<b>100%</b>			<b>100%</b>		
<b>PAS D'ISOLATION</b>	<b>295</b>			<b>254</b>		<b>17%</b>			<b>18%</b>		
<b>PAR L'EXTERIEUR</b>	<b>173</b>			<b>76</b>		<b>10%</b>			<b>5%</b>		
<b>PAR L'INTERIEUR</b>	<b>803</b>			<b>735</b>		<b>48%</b>			<b>51%</b>		
<b>ISOLATION CENTRALE</b>	<b>414</b>			<b>369</b>		<b>25%</b>			<b>26%</b>		

<b>SPORT ET CULTURE</b>		<b>MATERIAU ISOLANT DES MURS</b>									
	surface de façade (000m <sup>2</sup> )					%					
	2006			2001		2006			2001		
<b>ENSEMBLE DU MARCHE</b>	<b>1685</b>			<b>1420</b>		<b>100%</b>			<b>100%</b>		
PAS D'ISOLATION	295			254		17%			18%		
POLYSTYRENE EXPANSE	381			390		23%			27%		
POLYSTYRENE EXTRUDE	20			9		1%			1%		
LAINES DE VERRE	450			524		27%			37%		
LAINES DE ROCHE	364			118		22%			8%		
POLYURETHANE	66			38		4%			3%		
BETON CELLULAIRE	7			7		0%			0%		
BRIQUE ISOLANTE	82			80		5%			6%		
POLYSTYRENE THERMO ACOUSTIQUE	20					1%					

<b>SPORT ET CULTURE</b>		<b>TECHNIQUE D'ISOLATION DE LA TOITURE</b>									
	surface de toiture (000m <sup>2</sup> )					%					
	2006			2001		2006			2001		
<b>ENSEMBLE DU MARCHE</b>	<b>1900</b>			<b>1830</b>		<b>100%</b>			<b>100%</b>		
ISOLATION SOUS ETANCHEITE	1045			912		55%			50%		
ISOLATION INVERSEE, SUR ETANCHEITE	11			30		1%			2%		
ISOLATION INTEGRE DANS LE PANNEAU	151			76		8%			4%		
PLAFOND ISOLANT	8			13		0%			1%		
LAINES SOUFFLEES	12			2		1%			0%		
LAINES DERoulees OU AGRAFEES	499			617		26%			34%		
PANNEAU DE TOITURE	43			14		2%			1%		
SARKING											
PAS D'ISOLATION	132			168		7%			9%		

<b>SPORT ET CULTURE</b>		<b>MATERIAU ISOLANT DE LA TOITURE</b>									
	surface de toiture (000m <sup>2</sup> )					%					
	2006			2001		2006			2001		
<b>ENSEMBLE DU MARCHÉ</b>	<b>1900</b>			<b>1830</b>		<b>100%</b>			<b>100%</b>		
PAS D'ISOLATION	150			173		8%			9%		
POLYSTYRENE EXPANSE	29			4		2%			0%		
POLYSTYRENE EXTRUDE	40			99		2%			5%		
LAINÉ DE VERRE	492			579		26%			32%		
LAINÉ DE ROCHE	852			681		45%			37%		
POLYURETHANE	220			220		12%			12%		
BETON CELLULAIRE											
AUTRES	9			74		0%			4%		
VERRE CELLULAIRE	107					6%					

<b>HOTELS-HEBERGEMENT</b>						<b>ENSEMBLE DU MARCHE</b>					
	SHON (000m <sup>3</sup> )					%					
	2006					2006					
<b>ENSEMBLE DU MARCHE</b>	<b>520</b>					<b>100%</b>					
<b>SHON</b>											
<i>moins de 1000 m<sup>2</sup></i>	111					21%					
<i>1000 à 1999 m<sup>2</sup></i>	105					20%					
<i>2000 à 4999 m<sup>2</sup></i>	200					38%					
<i>5000 m<sup>2</sup> et plus</i>	104					20%					
<b>REGIONS</b>											
<i>Ile de France</i>	98					19%					
<i>Champagne/Ard.</i>	6					1%					
<i>Picardie</i>	8					2%					
<i>Hte Normandie</i>	2					0%					
<i>Centre</i>	31					6%					
<i>Bsse Nomandie</i>	21					4%					
<i>Bourgogne</i>	17					3%					
<i>Nord PdC</i>	13					3%					
<i>Lorraine</i>	17					3%					
<i>Alsace</i>	12					2%					
<i>Franche-Comté</i>	17					3%					
<i>Pays de la Loire</i>	14					3%					
<i>Bretagne</i>	18					4%					
<i>Poitou Charentes</i>	14					3%					
<i>Aquitaine</i>	27					5%					
<i>Midi-Pyrénées</i>	30					6%					
<i>Limousin</i>	9					2%					
<i>Rhône-Alpes</i>	50					10%					
<i>Auvergne</i>	20					4%					
<i>Languedoc-Rous.</i>	38					7%					
<i>Prov. Alpes C. Azur</i>	56					11%					

HOTELS-HEBERGEMENT						TECHNIQUE D'ISOLATION DES MURS					
	surface de façade (000m <sup>2</sup> )					%					
	2006					2006					
<b>ENSEMBLE DU MARCHE</b>	<b>320</b>					<b>100%</b>					
PAS D'ISOLATION	10					3%					
PAR L'EXTERIEUR	19					6%					
PAR L'INTERIEUR	269					84%					
ISOLATION CENTRALE	22					7%					

HOTELS-HEBERGEMENT						MATERIAU ISOLANT DES MURS					
	surface de façade (000m <sup>2</sup> )					%					
	2006					2006					
<b>ENSEMBLE DU MARCHE</b>	<b>320</b>					<b>100%</b>					
PAS D'ISOLATION	10					3%					
POLYSTYRENE EXPANSE	167					52%					
POLYSTYRENE EXTRUDE	5					2%					
LAINES DE VERRE	62					19%					
LAINES DE ROCHE	45					14%					
POLYURETHANE	11					4%					
BETON CELLULAIRE											
BRIQUE ISOLANTE	2					1%					
POLYSTYRENE THERMO ACOUSTIQUE	16					5%					

<b>HOTELS-HEBERGEMENT</b>		<b>TECHNIQUE D'ISOLATION DE LA TOITURE</b>									
	surface de toiture (000m <sup>2</sup> )					%					
	2006					2006					
<b>ENSEMBLE DU MARCHÉ</b>	<b>240</b>					<b>100%</b>					
<b>ISOLATION SOUS ETANCHEITE</b>	<b>95</b>					<b>40%</b>					
<b>ISOLATION INVERSEE, SUR ETANCHEITE</b>	<b>1</b>					<b>0%</b>					
<b>ISOLATION INTEGRE DANS LE PANNEAU</b>	<b>5</b>					<b>2%</b>					
<b>PLAFOND ISOLANT</b>											
<b>LAINES SOUFFLEES</b>	<b>7</b>					<b>3%</b>					
<b>LAINES DERoulees ou agrafees</b>	<b>124</b>					<b>52%</b>					
<b>PANNEAU DE TOITURE</b>	<b>6</b>					<b>2%</b>					
<b>SARKING</b>											
<b>PAS D'ISOLATION</b>	<b>0</b>					<b>0%</b>					

<b>HOTELS-HEBERGEMENT</b>						<b>MATERIAU ISOLANT DE LA TOITURE</b>					
	surface de toiture (000m <sup>2</sup> )					%					
	2006					2006					
<b>ENSEMBLE DU MARCHE</b>	<b>240</b>					<b>100%</b>					
<b>PAS D'ISOLATION</b>											
<b>POLYSTYRENE EXPANSE</b>	<b>12</b>					<b>5%</b>					
<b>POLYSTYRENE EXTRUDE</b>	<b>11</b>					<b>5%</b>					
<b>LAIN DE VERRE</b>	<b>114</b>					<b>48%</b>					
<b>LAIN DE ROCHE</b>	<b>76</b>					<b>32%</b>					
<b>POLYURETHANE</b>	<b>27</b>					<b>11%</b>					
<b>BETON CELLULAIRE</b>											
<b>AUTRES</b>											

SANTÉ										
										ENSEMBLE DU MARCHÉ
	SHON (000m <sup>3</sup> )					%				
	2006			2001		2006			2001	
<b>ENSEMBLE DU MARCHÉ</b>	<b>2930</b>			<b>1640</b>		<b>100%</b>			<b>100%</b>	
<b>SHON</b>										
moins de 1000 m <sup>2</sup>	485			384		17%			23%	
1000 à 1999 m <sup>2</sup>	288			225		10%			14%	
2000 à 4999 m <sup>2</sup>	820			465		28%			28%	
5000 m <sup>2</sup> et plus	1337			566		46%			35%	
<b>REGIONS</b>										
Ile de France	381			185		13%			11%	
Champagne/Ard.	76			14		3%			1%	
Picardie	79			20		3%			1%	
Hte Normandie	55			37		2%			2%	
Centre	104			52		4%			3%	
Bsse Normandie	101			31		3%			2%	
Bourgogne	170			57		6%			3%	
Nord PdC	134			91		5%			6%	
Lorraine	160			89		5%			5%	
Alsace	46			29		2%			2%	
Franche-Comté	52			27		2%			2%	
Pays de la Loire	204			149		7%			9%	
Bretagne	140			91		5%			6%	
Poitou Charentes	112			48		4%			3%	
Aquitaine	151			153		5%			9%	
Midi-Pyrénées	116			101		4%			6%	
Limousin	64			21		2%			1%	
Rhône-Alpes	352			254		12%			15%	
Auvergne	101			28		3%			2%	
Languedoc-Rous.	126			70		4%			4%	
Prov. Alpes C. Azur	206			92		7%			6%	

SANTÉ		TECHNIQUE D'ISOLATION DES MURS									
		surface de façade (000m <sup>2</sup> )					%				
		2006			2001			2006			2001
<b>ENSEMBLE DU MARCHE</b>		<b>1435</b>			<b>810</b>			<b>100%</b>			<b>100%</b>
PAS D'ISOLATION		86			60			6%			7%
PAR L'EXTERIEUR		138			38			10%			5%
PAR L'INTERIEUR		1105			644			77%			79%
ISOLATION CENTRALE		107			67			7%			8%

SANTÉ											
											MATÉRIAU ISOLANT DES MURS
	surface de façade (000m <sup>2</sup> )						%				
	2006			2001			2006			2001	
<b>ENSEMBLE DU MARCHÉ</b>	<b>1435</b>			<b>810</b>			<b>100%</b>			<b>100%</b>	
PAS D'ISOLATION	86			60			6%			7%	
POLYSTYRENE EXPANSE	790			524			55%			65%	
POLYSTYRENE EXTRUDE	25			16			2%			2%	
LAINÉ DE VERRE	249			113			17%			14%	
LAINÉ DE ROCHE	209			77			15%			9%	
POLYURETHANE	23			19			2%			2%	
BETON CELLULAIRE	5						0%				
BRIQUE ISOLANTE	16						1%				
POLYSTYRENE THERMO ACOUSTIQUE	32						2%				

<b>SANTE</b>		<b>TECHNIQUE D'ISOLATION DE LA TOITURE</b>									
	surface de toiture (000m <sup>2</sup> )					%					
	2006			2001		2006			2001		
<b>ENSEMBLE DU MARCHE</b>	<b>1540</b>			<b>860</b>		<b>100%</b>			<b>100%</b>		
<b>ISOLATION SOUS ETANCHEITE</b>	<b>861</b>			<b>407</b>		<b>56%</b>			<b>47%</b>		
<b>ISOLATION INVERSEE, SUR ETANCHEITE</b>	<b>10</b>			<b>5</b>		<b>1%</b>			<b>1%</b>		
<b>ISOLATION INTEGRE DANS LE PANNEAU</b>	<b>59</b>			<b>19</b>		<b>4%</b>			<b>2%</b>		
<b>PLAFOND ISOLANT</b>	<b>6</b>			<b>4</b>		<b>0%</b>			<b>0%</b>		
<b>LAINES SOUFFLEES</b>	<b>36</b>			<b>15</b>		<b>2%</b>			<b>2%</b>		
<b>LAINES DERoulees ou agrafees</b>	<b>533</b>			<b>391</b>		<b>35%</b>			<b>45%</b>		
<b>PANNEAU DE TOITURE</b>	<b>26</b>			<b>6</b>		<b>2%</b>			<b>1%</b>		
<b>SARKING</b>											
<b>PAS D'ISOLATION</b>	<b>10</b>			<b>13</b>		<b>1%</b>			<b>1%</b>		

<b>SANTE</b>		<b>MATERIAU ISOLANT DE LA TOITURE</b>									
	surface de toiture (000m <sup>2</sup> )					%					
	2006			2001		2006			2001		
<b>ENSEMBLE DU MARCHE</b>	<b>1540</b>			<b>860</b>		<b>100%</b>			<b>100%</b>		
PAS D'ISOLATION	11			6		1%			1%		
POLYSTYRENE EXPANSE	14			4		1%			0%		
POLYSTYRENE EXTRUDE	98			71		6%			8%		
LAINES DE VERRE	485			389		31%			45%		
LAINES DE ROCHE	648			255		42%			30%		
POLYURETHANE	275			117		18%			14%		
BETON CELLULAIRE				1					0%		
AUTRES	9			17		1%			2%		

### Annexe 8: répartition de l'isolation thermique en France pour l'année 2004 selon le type de secteur, d'isolation et de matériaux isolants (d'après MSI, 2005)

Type de secteur	Secteur du bâtiment			Secteur industriel (pétrochimie (+++), chimie, pharmacie, industrie nucléaire et thermique, agro-alimentaire et construction navale)
	Secteur résidentiel (75 %)		Secteur non résidentiel (25 %)	
Type d'isolation	Toitures (55 % du marché du bâtiment)	Murs (33 % du marché bâtiment)	Sols et planchers (12 % du marché du bâtiment)	Calorifugeage sur des appareils, des conduits, des gaines de ventilation, des tuyauteries de transports de fluides ou des équipements de stockage
Milliers de m <sup>3</sup>	10 584	6 300	2 400	1 967
Commentaires	Intérieur des toitures (+++), extérieur ou sarking et toiture terrasse	Intérieur (+++) et extérieur	Par le dessous et le dessus	
Laine minérale	79 %	47 %	46 %	71 %
Laine de verre	65 %	36 %	19 %	22 %
Laine de roche	14 %	11 %	27 %	49 %
Plastiques alvéolaires	21 %	53 %	54 %	
PSE	15 %	49 %	40 %	
PUR	4 %	2 %	5 %	1 %
XPS	2 %	2 %	9 %	
Polyisocyanurate				16 %
Mousse phénolique				1 %
Verre cellulaire				5 %
Fibres céramiques (FCR/AES)				3 %
Matériaux microporeux				3 %

**Annexe 9 : Etude comparative de deux méthodes d'analyse des Fibres Minérales Artificielles dans l'air : Microscopie optique à lumière polarisée et microscopie électronique à balayage**

---

**Etude comparative de deux méthodes d'analyse  
des niveaux de Fibres Minérales Artificielles dans l'air :  
Microscopie Optique à Lumière Polarisée  
et Microscopie Electronique à Balayage**

Novembre 2007

Etude financée par

**l'Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail**

**Carole BOULLANGER**

**Laurent MARTINON**

<b>I.</b> .....	<b>Introduction</b>	<b>116</b>
<b>II.</b> .....	<b>Matériels et méthodes</b>	<b>117</b>
<b>II.1. Prélèvements</b> .....		<b>117</b>
II.1.1. En chambre de simulation.....		117
II.1.2. Sur chantier de retrait.....		119
<b>II.2. Analyse</b> .....	<i>Erreur ! Signet non défini.</i>	
II.2.1. MOCP.....	<i>Erreur ! Signet non défini.</i>	
II.2.2. MOLP.....	<i>Erreur ! Signet non défini.</i>	
II.2.3. MEBA.....	<i>Erreur ! Signet non défini.</i>	
II.2.4. Analyse des matériaux.....	<i>Erreur ! Signet non défini.</i>	
<b>III.</b> .....	<b>Résultats</b>	<b>Erreur</b>
<b>III.1. Chimie des matériaux</b> .....	<i>Erreur ! Signet non défini.</i>	
<b>III.2. Tests de qualité</b> .....	<i>Erreur ! Signet non défini.</i>	
III.2.1. Dans la chambre de simulation.....	<i>Erreur ! Signet non défini.</i>	
III.2.2. Sur filtre.....	<i>Erreur ! Signet non défini.</i>	
<b>III.3. MOLP : méthode directe et méthode indirecte</b> .....	<i>Erreur ! Signet non défini.</i>	
<b>III.4. MOLP-MI, MOCP et MEBA</b> .....	<i>Erreur ! Signet non défini.</i>	
III.4.1. Dans la chambre de simulation.....	<i>Erreur ! Signet non défini.</i>	
III.4.2. Sur le terrain.....	<i>Erreur ! Signet non défini.</i>	
<b>IV.</b> .....	<b>Discussion</b>	<b>Erreur</b>
<b>IV.1. Comparaison du MOLP (MI) et du MEBA</b> .....	<i>Erreur ! Signet non défini.</i>	
IV.1.1. Dans la chambre de simulation.....	<i>Erreur ! Signet non défini.</i>	
IV.1.2. Sur le terrain.....	<i>Erreur ! Signet non défini.</i>	
<b>IV.2. Avantages et inconvénients de chaque méthode</b> .....	<i>Erreur ! Signet non défini.</i>	
<b>V.</b> .....	<b>Conclusion</b>	<b>Erreur</b>
<b>VI.</b> .....	<b>Références bibliographiques</b>	<b>Erreur</b>
<b>VII.</b> .....	<b>Compléments d'information</b>	<b>Erreur</b>

# 1 Introduction

Cette étude porte sur la comparaison de différentes méthodes couramment utilisées pour mesurer les niveaux de Fibres Minérales Artificielles (FMA) en suspension dans l'air. Leur usage diffère suivant le type d'exposition considéré.

En hygiène du travail, la microscopie optique à contraste de phase (MOCP) est la méthode de référence internationale pour l'évaluation de l'exposition professionnelle aux fibres. 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)). Principalement utilisée 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)).

Pour mesurer les expositions environnementales, deux techniques sont principalement utilisées : la microscopie optique à lumière polarisée (MOLP) et la microscopie électronique à balayage analytique (MEBA). La 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, et donc isotrope parmi lesquelles les FMA (Schneider, 1984 ; HSE, 1998). On dispose ainsi d'un moyen d'identification partielle. Cette méthode est classiquement utilisée en France (Gaudichet et al., 1989). La MEBA permet d'observer les fibres à fort grossissement et d'identifier leur nature chimique au moyen d'un spectromètre dispersif en énergie. Elle est utilisée dans certains pays et fait l'objet de recommandations en Allemagne (VDI 3492, 1994) et d'une norme internationale (ISO/FDIS 14966, 2002).

Les niveaux de FMA dans l'air mesurés dans les bâtiments par ces deux méthodes diffèrent d'un à deux ordres de grandeur. En effet, les concentrations retrouvées varient de 1 à quelques centaines de fibres/m<sup>3</sup> d'air prélevé en MOLP (Gaudichet et al., 1989) à environ 1000 à 5000 fibres/m<sup>3</sup> en MEBA (Schneider et al., 1996 ; Thriene et al., 1990 cité dans Inserm, 1999) ; Rödelsperger et al., 1989).

L'objectif principal de cette étude est de comparer ces deux méthodes d'analyse, utilisées généralement dans l'environnement: la MOLP et la MEBA. Le constat des différences permettra d'établir ou non une relation éventuelle entre ces deux méthodes.

En parallèle, une relation avec les données en hygiène du travail (MOCP) a été recherchée puisque l'essentiel des données de métrologie et d'épidémiologie existent avec cette méthode.

Il existe deux variantes de préparation des échantillons pour l'analyse en MOLP : la méthode indirecte, adaptée de la méthode de mesure des concentrations d'amiante dans l'environnement général et la méthode directe. Leurs performances respectives ont été comparées.

Pour cela, des prélèvements de FMA ont été effectués en parallèle pour les différentes méthodes d'analyse, à partir de deux types de source active d'émission de FMA : 1) dans une chambre de simulation, lors de manipulations de matériaux vieillis à base de FMA, et 2) sur chantiers de retrait de laines d'isolation.

En effet, la littérature actuelle apporte peu de données concernant les émissions en FMA des matériaux vieillis. Cette étude est réalisée avec le partenariat du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) et est financée par l'Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail (AFSSET).

## 2 Matériels et méthodes

### 2.1 Prélèvements

Dans le but de comparer ces différentes méthodes, plusieurs types de prélèvements ont été réalisés : en chambre de simulation et sur chantier de retrait de laines minérales isolantes.

#### 2.1.1 En chambre de simulation

La chambre de simulation a été utilisée dans le but de générer un aérosol de fibres et ainsi de simuler les émissions de FMA résultant de manipulations de matériaux lors d'un chantier de retrait de laines isolantes. Ces matériaux en place depuis au moins une dizaine d'années ont été récupérés dans des habitations et soumis à des contraintes physiques.

##### 2.1.1.1 Dispositif de prélèvement

Le dispositif de prélèvement se compose de la chambre de simulation, appelée Aérotest, conçue et développée au CSTB, du dispositif de sollicitation ainsi que de celui d'échantillonnage :

- La chambre de simulation : elle permet de réaliser des mesures d'empoussièrement dans des conditions aérauliques maîtrisées. Elle est de forme hexagonale d'environ 2,5 m<sup>3</sup> avec un flux d'air filtré ascendant de faible vitesse réglé à environ 0,05 m/s. Elle est prévue pour fonctionner en dépression permettant de limiter le risque de contamination vers l'extérieur ainsi que les dépôts sur les parois (Figure II.1).



Figure 2.1 : chambre de simulation Aérotest

- un dispositif de sollicitation : disposé au centre de la chambre, il permet de solliciter les matériaux à base de FMA afin de provoquer l'émission de fibres. Il est constitué d'un mécanisme permettant de secouer un panier contenant le matériau à étudier selon une série de cycles : montée lente, chute brutale, remontée du panier (Figure II.2).

Suivant la friabilité du matériau étudié, celui-ci est placé dans un récipient percé, lui-même placé dans le panier.

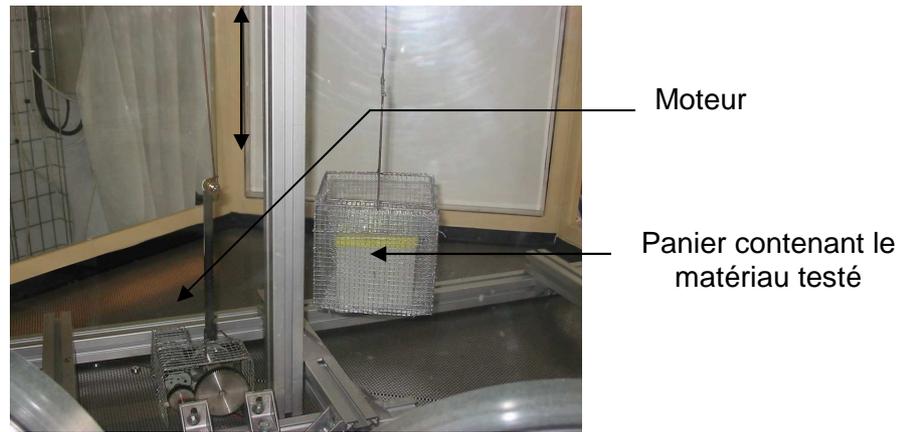


Figure 2.2 : Dispositif de sollicitation.

- un dispositif de prélèvement : deux têtes de prélèvement Millipore® ouvertes (diamètre d'ouverture 35 mm) sont disposées en haut, au centre de la chambre (Figure II.3). L'une est montée avec un filtre en ester de cellulose (Millipore®) pour les analyses en MOLP et MOCP, l'autre avec un filtre en polycarbonate (Nucléopore®) pré-métallisé au carbone pour l'analyse en MEBA. Les prélèvements sont réalisés en parallèle avec le même type d'appareil de prélèvement, le même débit d'aspiration (autour de 5 l/min) et la même durée.

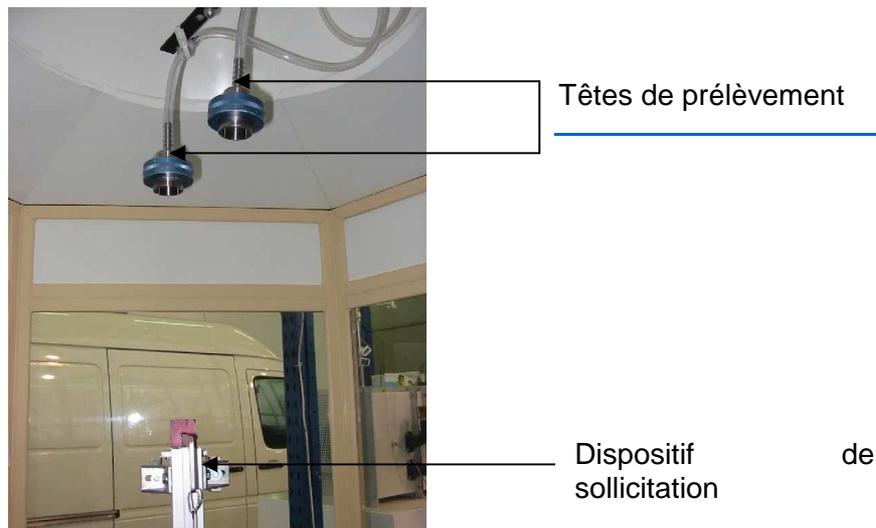


Figure 2.3 : Têtes de prélèvements disposées dans la chambre.

### 2.1.1.2 Paramètres de prélèvement

Les paramètres de prélèvement sont définis dans le tableau de l'annexe 1.

- Diamètre des filtres : 47 mm
- Porosité des filtres : 0,45 µm pour les Millipore® et 0,4 µm pour les Nucléopore®
- Durée de prélèvement : 20 min en moyenne
- Débit de prélèvement : 5 L/min
- Tension de l'appareil de sollicitation variant de 1.7 Volts à 8 Volts et permettant de faire varier le nombre de cycles par minute et ainsi la quantité de fibres émises à l'intérieur de la chambre, selon le matériau à analyser et sa friabilité.

On s'est appliqué à obtenir une large gamme de concentrations afin de couvrir de manière réaliste les différentes situations pouvant exister dans l'environnement de chantiers d'enlèvement.

Dans le but d'obtenir des concentrations élevées, les prélèvements étaient réalisés en simultané avec la sollicitation. En revanche, pour obtenir de faibles concentrations en fibres, les prélèvements s'effectuaient en différé par rapport à la sollicitation. En effet, des temps d'attente de quelques secondes à 5 min ont été testées après sollicitation et avant prélèvement permettant de faire varier les concentrations. Une attente de 10 min a été également testée mais les concentrations se sont révélées trop faibles.

### 2.1.1.3 Choix des matériaux testés

Il a été choisi de prendre des matériaux, à base de laines isolantes, vieillis naturellement, c'est-à-dire mis en place depuis plus d'une dizaine d'années, afin de se placer dans des conditions d'émissivité de fibres s'apparentant à celles d'opérations de dépose de matériaux anciens. Les produits d'isolation faisant donc l'objet de ces analyses ont été prélevés sur site (Tableau 2.1).

Type produit	Emplacement	Date de mise en place de la laine minérale	Date de retrait
Rouleau	Combles de maison individuelle	1977	Janvier 2007
Laine soufflée	Combles de maison individuelle	1998	Mars 2007
Flocage	Flocage présent sur le plafond d'un garage privatif	1986	Mars 2007

**Tableau 2.1 : Produits isolants prélevés pour la sollicitation.**

### 2.1.2 **Sur chantier de retrait**

Il a été difficile de trouver des chantiers de retrait de laines minérales isolantes. Non soumis à déclaration, ils peuvent être réalisés par des entreprises n'ayant pas de spécialisation dans le domaine, contrairement aux chantiers de désamiantage. Le risque étant sans commune mesure avec ces derniers, les procédures de protection des travailleurs et de l'environnement peuvent être, comme on le verra plus loin, minimes voire inexistantes.

Le fait de proposer des mesures d'empoussièrement de l'air, même à visée de recherche, fait prendre conscience à l'entreprise ou au maître d'ouvrage qu'un risque peut exister et se traduit, malheureusement parfois en un refus vis-à-vis de la présence du laboratoire : soit que les travailleurs pourraient s'alerter, soit que les mesures de protection de l'environnement n'ont pas été prévues.

Seulement deux chantiers ont pu être étudiés dans le temps de l'étude :

Un chantier d'enlèvement de rouleaux de laine isolante dans des bureaux :

Un seul ouvrier opérait. Il avait pour mission de déposer les dalles de faux-plafond et les rouleaux de laines de verre posés en 1978, donc de 19 ans d'âge. Les prélèvements de type

environnemental, à un débit de 5 l/min, se sont effectués dans deux salles où les rouleaux étaient retirés et dans le couloir, à quelques mètres de distance, où le contact était moins direct avec l'opération de retrait des laines d'isolation. Comme dans la chambre, deux têtes de prélèvement étaient installées à 20 cm l'une de l'autre et prélevaient l'air en même temps, l'une sur un filtre en ester de cellulose (Millipore®) pour les analyses en MOLP et MOCP d'ambiance, l'autre sur un filtre en polycarbonate (Nucléopore®) pour l'analyse en MEBA (Figure II.4). Les caractéristiques des têtes et des filtres étaient les mêmes que pour les prélèvements dans l'Aérotest. Le temps de prélèvement prévu au départ de 2h a du être modifié. En effet, une saturation du filtre dans une pièce a été remarquée au bout d'une heure environ en raison des niveaux d'empoussièrément importants dans l'air.

Un chantier dans un parking couvert : Ce chantier était totalement différent puisque les ouvriers enlevaient un flocage, posé vers 1979, composé de laine de laitier fixé au plafond, à l'aide d'un jet d'eau sous pression. Deux prélèvements environnementaux proches du site de retrait et deux prélèvements plus éloignés (environ à 20-30 m) et séparés par des murs ont été réalisés à un débit de 5 l/min (Figure II .5). Pour éviter une saturation du filtre plusieurs temps de prélèvements ont été testés.

Des mesures d'exposition professionnelle ont également été réalisées ; elles sont présentées dans un second rapport (niveaux d'empoussièrément en FMA sur chantiers de

retrait de laines minérales isolantes).

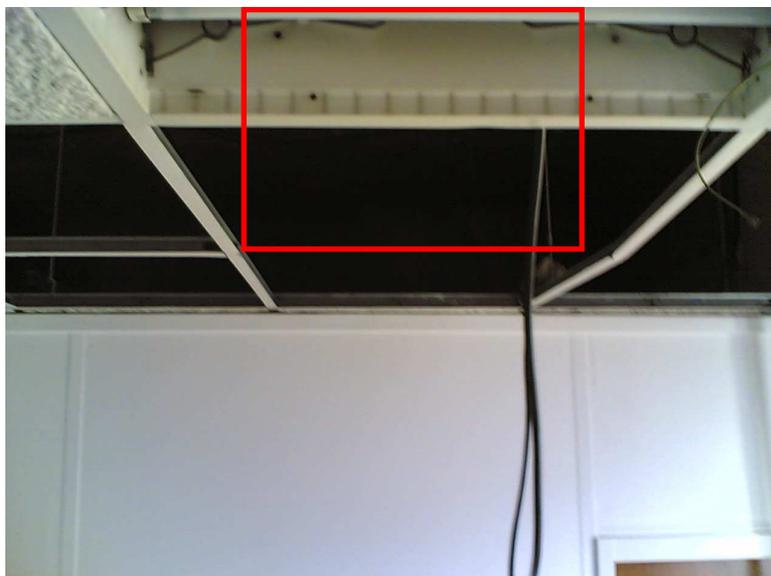




Figure 2.4 : Chantier d'enlèvement de dalles de faux-plafond et de rouleau dans un bureau





Figure 5 : Chantier de retrait du flocage dans un parking couvert. Encerclé en rouge, le dispositif de prélèvement avec une pompe et deux têtes en parallèles fixées sur pieds

## 2.2 Analyse

Trois méthodes existent pour analyser les FMA : la MOCP pour mesurer les expositions professionnelles et la MOLP et la MEBA pour les expositions environnementales. En outre, deux variantes sont possibles au niveau de la préparation des échantillons en vue d'une analyse en MOLP : la méthode directe et la méthode indirecte, décrites un peu plus loin.

Après les prélèvements en chambre de simulation, le filtre de type ester de cellulose (Millipore<sup>®</sup>) était coupé en 4 : un quart pour l'analyse en MOCP et MOLP méthode directe et un autre quart pour MOLP méthode indirecte (la moitié restante étant conservée pour d'éventuelles relectures).

Le filtre Millipore<sup>®</sup> en esters de cellulose a une porosité de 0,45  $\mu\text{m}$  et un diamètre de 47 mm.

Le filtre en polycarbonate (Nucléopore<sup>®</sup>) pré-métallisé au carbone était lu sur une portion en MEBA. Sa porosité était de 0,4  $\mu\text{m}$ .

Quelle que soit la méthode, seules les fibres de longueur supérieure à 5  $\mu\text{m}$  et de rapport Longueur / Diamètre supérieur ou égal à 3/1 ont été comptées. Celles-ci étaient ensuite classées en fibres respirables (diamètre  $\leq 3\mu\text{m}$ ) et en fibres non respirables (diamètre  $> 3\mu\text{m}$ ).

## 2.2.1 MOCP

Recommandée par l'OMS pour déterminer la concentration des fibres en suspension dans l'air (OMS, 1998), la Microscopie Optique à Contraste de Phase est la méthode internationale pour évaluer l'exposition professionnelle aux fibres (ISO/DIS 8672, 1988). Cette méthode d'analyse suit également une norme française XP X 43-269 (AFNOR, 2002) et britannique (HSE 59, 1988). C'est une méthode simple et rapide de surveillance de l'empoussièrement des locaux professionnels mais qui ne permet pas d'identifier la nature des fibres prélevées.

Lorsque le microscope est correctement réglé, la limite de visibilité est de l'ordre de 0,15µm. Mais, dans la pratique, les plus petites fibres visibles ont une largeur d'environ 0,2-0,25µm.

Le microscope optique utilisé dans cette étude est un NIKON couplé à un logiciel d'analyse d'image SAISAM (Microvision).

Le filtre échantillonné est transparisé à l'acétone, monté entre lame et lamelle avec du triacétate de glycérol et ensuite observé à un grossissement de X400. Les fibres présentes dans le graticule de Walton-Beckett sont alors comptées et le comptage s'arrête lorsque l'on atteint 100 fibres dans un minimum de 20 champs, ou 100 champs. Seules les fibres de plus de 5 µm de longueur ont été prises en compte, quel que soit leur diamètre. Les résultats de ce comptage sont exprimés en fibres par millilitre d'air prélevé (F/ml ou F/cm<sup>3</sup>).

## 2.2.2 MOLP

Le Microscope Optique à Lumière Polarisée permet d'identifier la morphologie, et les caractéristiques optiques (la biréfringence) des fibres et ainsi de séparer les fibres cristallines des fibres vitreuses (FMA). Bien qu'elle ne soit pas normalisée en France, elle est classiquement utilisée pour décrire les expositions environnementales.

Les fibres sont prélevées puis comptées sur une moitié de filtre à un grossissement de X200, avec un microscope NIKON équipé d'un polariseur. Cependant, si le nombre de fibres est trop élevé, celles-ci sont comptées dans des champs pris au hasard : le comptage s'arrête dès lors que 100 fibres ont été dénombrées. L'utilisation de cette technique au grossissement considéré est limitée aux fibres de 0,5 (McCrone, 1980) à 1µm de diamètre (OMS, 1998 ; HSE, 1998).

Les résultats du comptage au microscope optique sont exprimés en fibres par mètre cube d'air prélevé (F/m<sup>3</sup>).

Deux méthodes de préparation des filtres peuvent être utilisées :

### 2.2.2.1 Méthode indirecte

Le filtre est brûlé dans un four à plasma à une puissance de 70 Watts pendant environ 40 minutes. Cela permet d'éliminer le filtre en cellulose ainsi que la matière organique prélevée. Les cendres reprises en phase liquide sont refiltrées sur une membrane en cellulose de 25mm de diamètre et de même porosité. Une fois sec, le filtre est transparisé à l'acétone, monté entre lame et lamelle, et observé en MOLP. Cette méthode a surtout un très grand intérêt pour les filtres recueillis sur les chantiers très chargés en poussières, contrairement à l'atmosphère de l'Aérottest qui reste nettement plus propre. En effet, avec cette méthode non seulement une part de la matière particulaire est éliminée (ce qui n'est pas le cas avec la méthode directe), mais en plus, il est possible de faire des dilutions de la solution contenant les cendres.

### 2.2.2.2 Méthode directe

Pour la méthode directe, la préparation des filtres est la même que pour l'analyse au MOCP. En effet, les filtres sont transparisés à l'acétone, montés entre lame et lamelle avec du

triacétate de glycérol puis observés. Cette méthode comporte plusieurs avantages. Elle est plus rapide, et surtout permet d'éviter les biais éventuels liés à la calcination du filtre, la mise en suspension des cendres et leur filtration sur une seconde membrane. Elle a, par contre, l'inconvénient de dépendre de la concentration sur le lieu de prélèvement. En effet, dans le cas où le niveau d'empoussièrement est trop élevé, la trop grande accumulation de poussières sur le filtre rend celui-ci inobservable, sans possibilité de recours.

### 2.2.3 MEBA

La Microscopie Electronique à Balayage Analytique permet un comptage mais également une identification chimique élémentaire des fibres par couplage avec un spectromètre à dispersion d'énergie de rayon X (SDEX). Cette méthode suit la norme internationale ISO/FDIS 14966 (ISO, 2002) dérivée de la méthode allemande de référence : VDI 3492 (VDI, 1994). Bien qu'il existe également une méthode indirecte consistant à brûler les particules organiques présentes sur le filtre au four à plasma, dans notre étude, seule la méthode directe sera utilisée. Le filtre de prélèvement pré-métallisé au carbone, est remétallisé au carbone après prélèvement. L'observation et le comptage des fibres sont réalisés à un grossissement de X2000. Un minimum de 100 champs est observé pour 100 fibres. Si 100 fibres ne sont pas comptées alors un comptage de 200 champs est effectué. Le diamètre minimum détectable des fibres est de l'ordre de 0,2  $\mu\text{m}$  à ce grossissement. Les résultats sont ensuite exprimés en fibres par mètre cube d'air prélevé ( $\text{F}/\text{m}^3$ ).

Les échantillons ont été analysés pour l'essentiel avec un microscope électronique à balayage JEOL 5600 LV (low vacuum) (au CSTB) et pour les 5 premiers échantillons avec un MEBA JEOL 6301 F (au LISA (Laboratoire Inter-universitaire des Systèmes Atmosphériques)).

### 2.2.4 Analyse des matériaux

Les matériaux, flocage, laine soufflée et rouleau, ont été analysés au LEPI. Une petite portion de produit est dispersée dans de l'eau puis une goutte de la solution est déposée sur une grille de microscopie électronique. La grille est ensuite observée en Microscopie Electronique à Transmission Analytique (META, JEOL 1200 EXII couplé à un spectromètre dispersif en énergie de Rayons X OXFORD) permettant d'étudier la morphologie, la nature cristalline et chimique des fibres présentes dans le matériau et susceptibles d'être retrouvées dans l'air.

## 3 Résultats

Les concentrations sont en général exprimées dans des unités différentes selon les techniques d'analyse. Pour des raisons de facilité, à partir de ce paragraphe, toutes les concentrations seront exprimées dans la même unité, en fibres par mètre cube d'air prélevé ( $\text{F}/\text{m}^3$ ).

### 3.1 Chimie des matériaux

Dans le but d'identifier le type de laine présente dans les matériaux de construction étudiés, une analyse chimique a été réalisée en META.

Des fibres de verre ont été retrouvées dans le rouleau, tandis que le flocage et la laine soufflée étaient constitués de laines de laitier.

Le flocage prélevé sur le chantier de retrait dans le parking présente certaines particularités. En effet, lors de son observation en META (Figure III.1), ce flocage a révélé la présence de nombreuses fibres de petite taille en sus de FMA plus classiques, composées de laine de laitier.

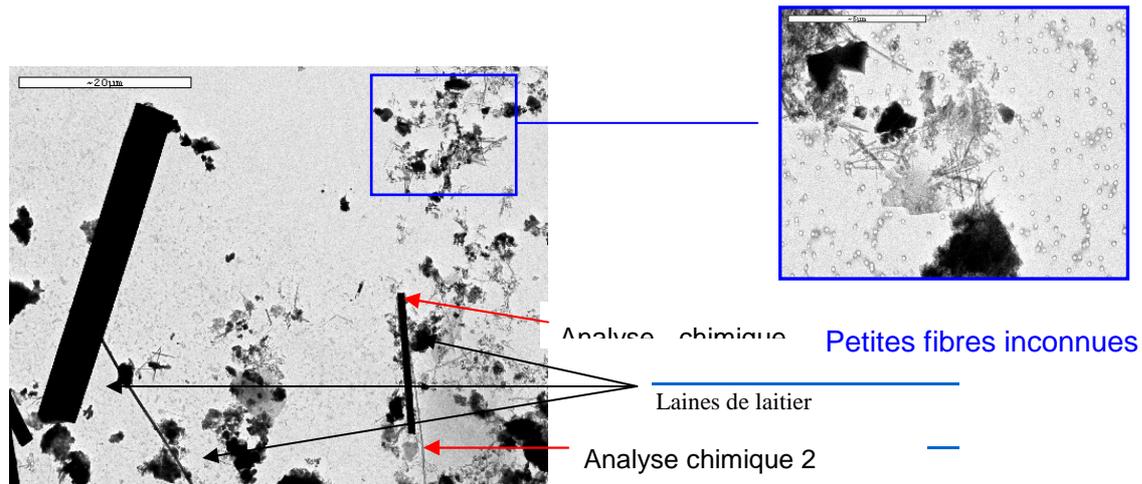
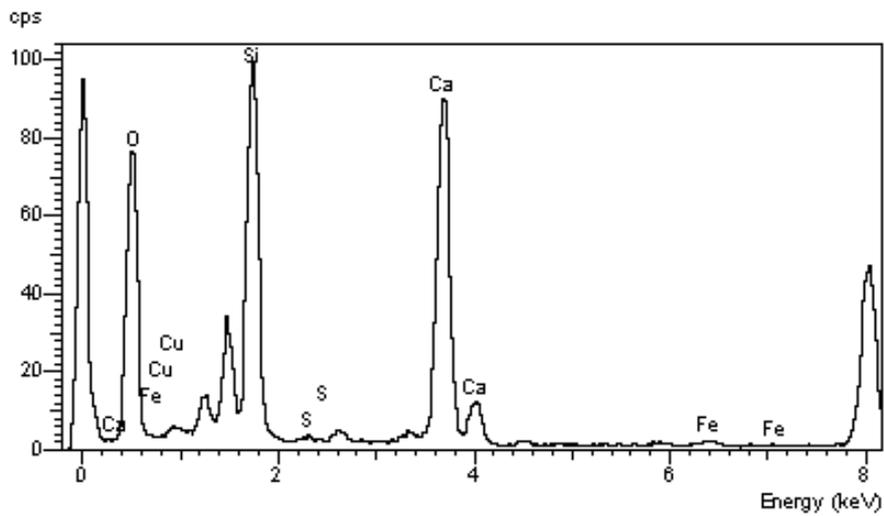
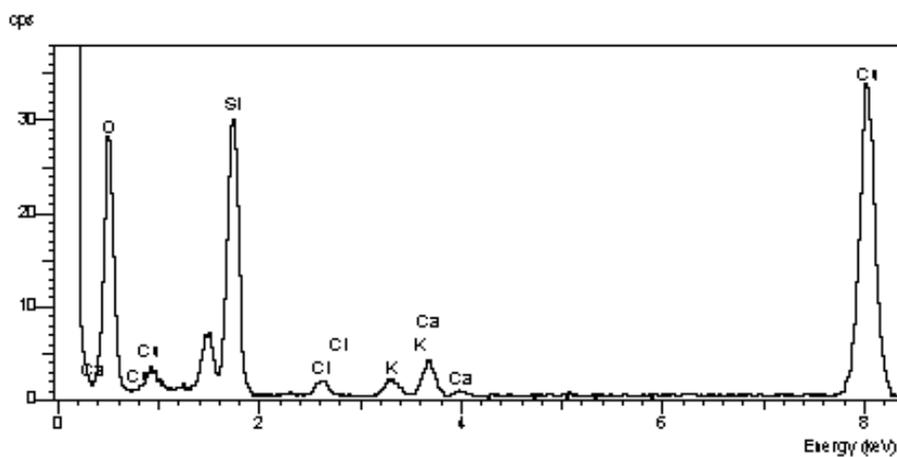


Figure III.1 : Fibres constituant le floccage du chantier 2 observées au META



Chimie d'une fibre minérale artificielle de type laine de laitier



Chimie d'une fibre inconnue issue du liant présent dans le floccage

Figure III.2 : Analyses chimiques des fibres constituant le floccage du chantier 2

Ces fibres ne sont pas éliminées lors de l'incinération au four à plasma. Après analyse

chimique au META (figure III.2), on remarque que ces petites fibres sont composées de silice tout comme les FMA. Bien qu'ayant une morphologie différente des FMA, elles ont les mêmes propriétés vitreuses : absence de diffraction électronique et absence de biréfringence en MOLP. Cependant, la chimie de ces fibres bien qu'étant proche de celle des fibres de laitier, n'est pas tout à fait identique.

Ces fibres bien que non identifiées ont donc comptées comme des FMA tant en MOLP qu'en MEBA du fait de leurs propriétés similaires avec les laines d'isolation : elles sont siliceuses et vitreuses.

## 3.2 Tests de qualité

### 3.2.1 Dans la chambre de simulation

L'homogénéité de la dispersion des fibres dans la chambre de simulation a été vérifiée, dans le but de valider la reproductibilité de l'échantillonnage sur les deux filtres disposés côte à côte. Pour comparer les deux méthodes d'analyse, il est important que les prélèvements se réalisent dans les mêmes conditions environnementales. Quatre doubles prélèvements sur Millipore (MSV 17, 18, 19, et 32) ont été réalisés. Les filtres ont ensuite été analysés en MOLP en méthode indirecte. Aucune différence significative n'a été observée pour les échantillons MSV17, 19 et 32 (Figure III.3). Cependant, une différence est observable sur l'échantillon MSV18. Ce prélèvement est particulier puisqu'il a été réalisé avec des paramètres différents de la chambre (flux d'air ascendant plus élevé) la rendant inhomogène. Ces conditions de prélèvement ainsi que les échantillons obtenus avec ces paramètres : SV18 et SV23 n'ont donc pas été retenus pour la suite de notre étude (Annexe 1).

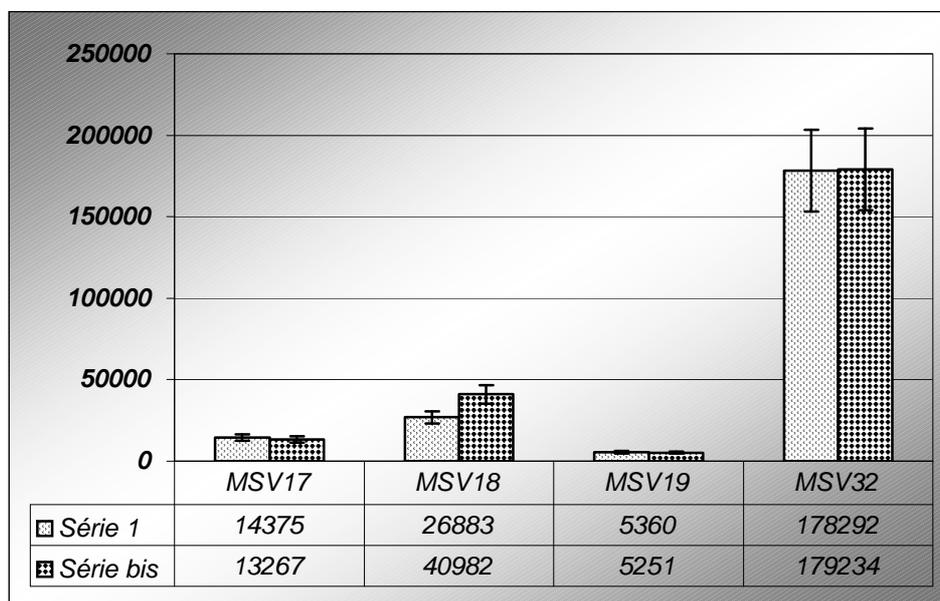


Figure 3.3 : Comparaison des concentrations ( $F/m^3$ ) pour les prélèvements réalisés dans l'Aérotest sur deux filtres Millipore® en parallèle

On peut donc valider les paramètres de prélèvement dans la chambre définis plus haut, notamment l'intensité du flux ascendant et considérer que le dépôt de fibres sur le filtre dédié à chaque méthode d'analyse est semblable d'une tête à l'autre.

### 3.2.2 Sur filtre

Il est également très important en vue du comptage de vérifier que les fibres sont réparties de manière homogène sur toute la surface de filtration pour les comptages réalisés sur des

champs d'observation choisis aléatoirement. Juste avant le comptage, un balayage rapide de la lame rendait compte dans un premier temps de la bonne répartition des fibres. Dans un deuxième temps, pour confirmer l'homogénéité de la répartition des fibres sur le filtre, un test de chi-2 a été réalisé sur un panel de filtres lu en MOLP, MOCP et MEBA et prélevé dans l'Aérottest ou sur terrain. Ce test s'est révélé concluant pour chacun des filtres.

### 3.3 MOLP : méthode directe et méthode indirecte

23 couples d'échantillons prélevés dans l'aérottest et 4 sur terrain ont été analysés en MOLP en méthode directe (MD) et après passage au four à plasma et filtration en méthode indirecte (MI). Les résultats sont présentés dans l'annexe 2 et comparés dans le graphe suivant (figure III.4).

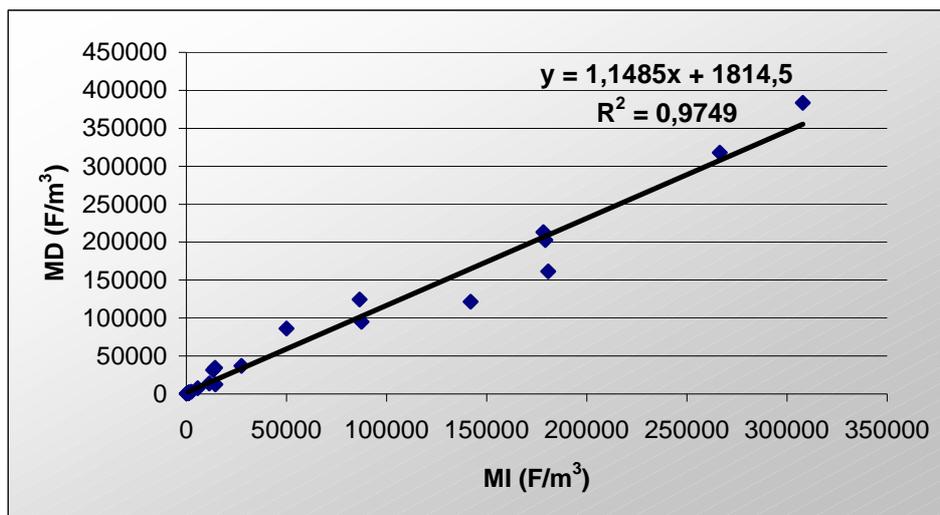


Figure III.4 : Comparaison entre méthodes directe (MD) et indirecte (MI) en MOLP

Les incertitudes sur la mesure sont de l'ordre de +/- 14% pour la MOLP (MI) et de +/- 19% en MOLP (MD).

Les résultats obtenus sont très proches entre ces deux méthodes. En effet, on obtient en reliant les deux méthodes, une droite de régression de pente proche de 1 avec un très bon coefficient de régression ( $R^2 = 0,97$ ).

Avec la méthode indirecte, aucune perte significative de fibres n'a pu être observée malgré une manipulation plus importante du filtre. Cette méthode permet au contraire, de mettre en avant les FMA en éliminant les résidus organiques. A contrario, les échantillons prélevés lors du chantier de retrait de rouleaux dans les bureaux n'ont pas pu être analysés en MOLP-méthode directe car les filtres présentaient une trop grande charge en poussières pour permettre une bonne visibilité des fibres.

### 3.4 MOLP-MI, MOCP et MEBA

#### 3.4.1 Dans la chambre de simulation

Les essais dans la chambre ont permis d'obtenir 18 couples d'échantillons comparables.

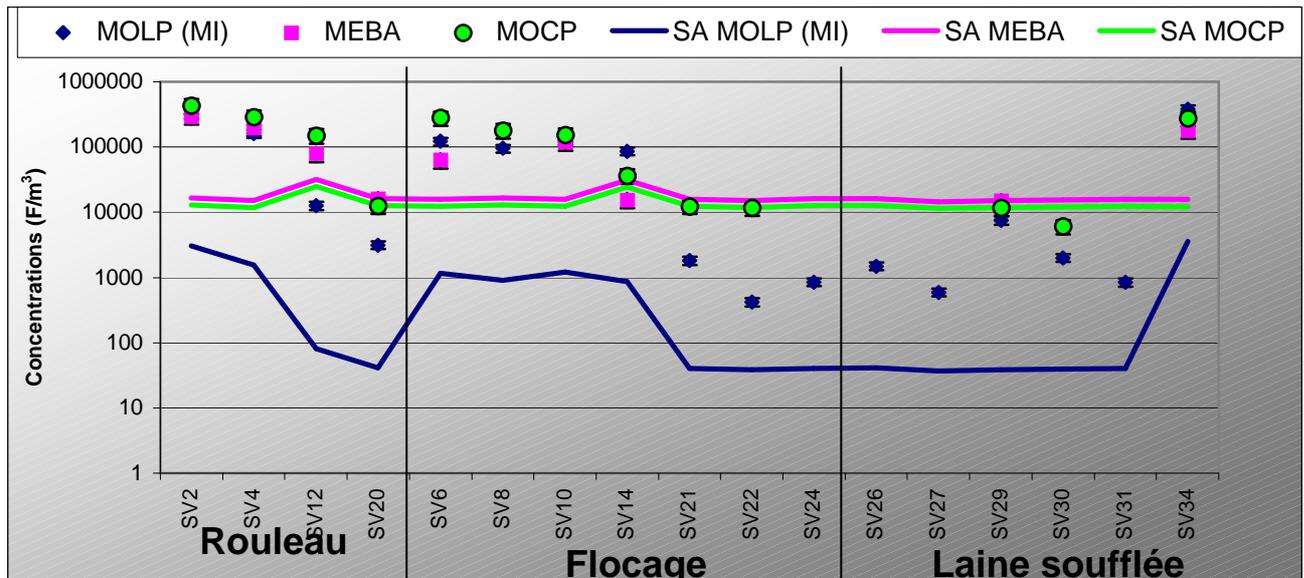


Figure 3.5 : Concentrations (F/m3) mesurées dans l'Aérotest par MOLP en méthode indirecte (MI), MOCP et MEBA (SA : Sensibilité d'analyse)

Les résultats des comptages en MOCP, MOLP (méthode indirecte) et en MEBA pour les échantillons issus de la chambre de simulation sont présentés en annexe 3 et dans la figure III.5 pour les concentrations en FMA totales (quelles que soient leur diamètre) et dans l'annexe 4 et la figure III.6 pour les fibres respirables (diamètre inférieur à 3 microns).

Les incertitudes des trois méthodes sont des valeurs moyennes déterminées et valent  $\pm 25,4\%$  pour les mesures en MOCP,  $\pm 14 \%$  pour les mesures en MOLP,  $\pm 26 \%$  pour les mesures en MEBA. Les sensibilités analytiques pour chaque échantillon sont données dans l'annexe 5.

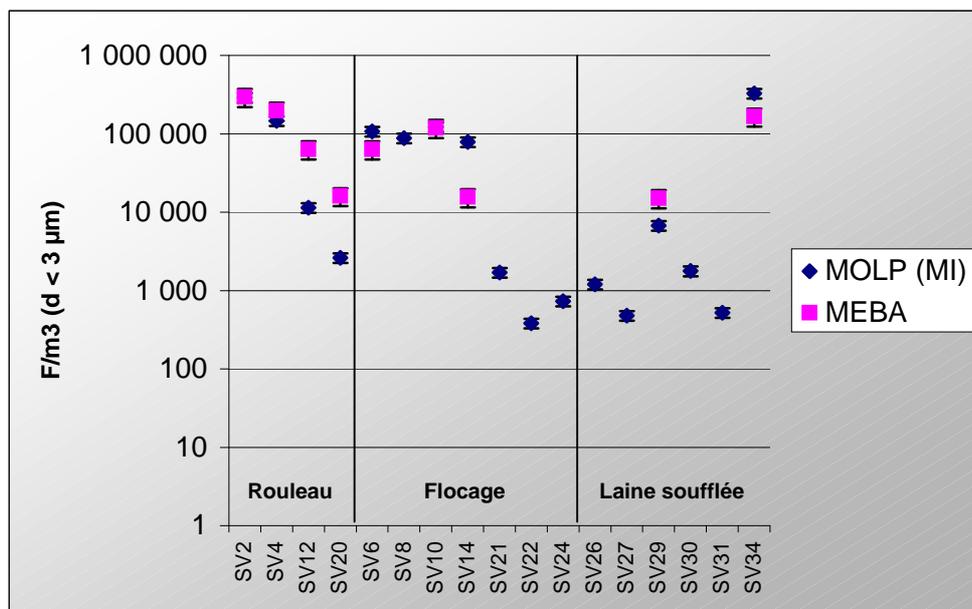


Figure 3.6 : Concentrations (F/m3) de FMA respirables (diamètre inférieur à 3 µm) mesurées dans l'Aérotest par MOLP en méthode indirecte (MI), et MEBA

### 3.4.2 Sur le terrain

Les résultats des comptages en MOCP, MOLP (méthode indirecte) et en MEBA pour les échantillons prélevés sur chantiers sont présentés en annexe 6 et dans la figure III.7 pour les concentrations en FMA totales (quelles que soient leur diamètre) et dans l'annexe 7 et la figure III.8 pour les fibres respirables (diamètre inférieur à 3 microns).

Quatre échantillons issus du chantier de défilage dans un parking ont été comparés. Les filtres prélevés sur le chantier d'enlèvement de rouleaux de laine de verre dans des bureaux étaient inobservables en MOCP car trop chargés.

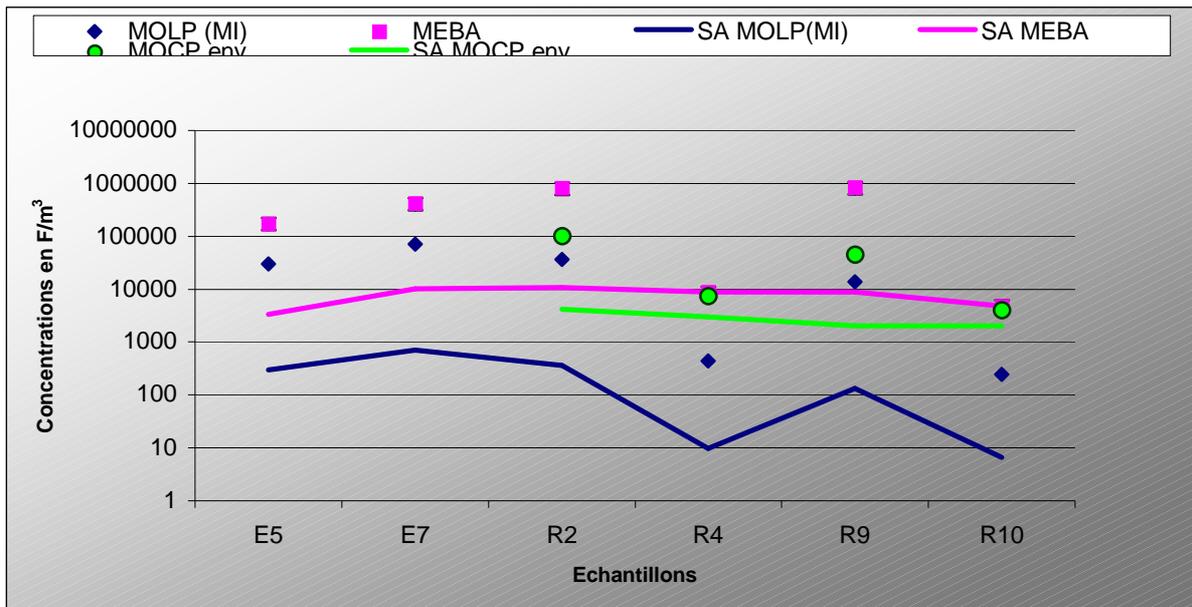


Figure 3.7 : Concentrations des échantillons d'air ambiant prélevés sur deux chantiers de retrait de laines d'isolation (E = rouleau ; R = flocage) et analysés au MOLP en méthode indirecte, au MEBA et au MOCP (SA : Sensibilité d'analyse)

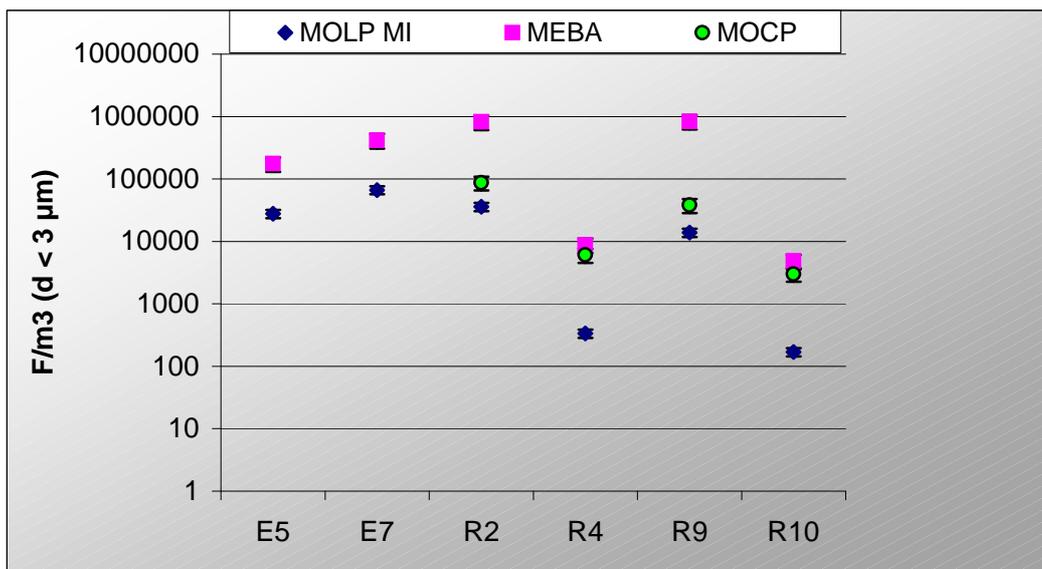


Fig III.8 : Concentrations en FMA respirables sur chantiers en MOLP, MEBA et MOCP

## 4 Compléments d'information



Echantillon	Matériaux testés	Date et Heure prélèvement			Conditions expérimentales						Observations
		Date prélèvement	Heure début	Heure fin	Temps (min)	V prélevé (m3)	Débit calculé (L/min)	Tension sollicitation (V)	Tension soufflage (V)	Tension extraction (V)	
MSV2	rouleau	21/02/2007	15:03	15:23	20	0,0960	4,80	5	60	90	
NSV2	rouleau	21/02/2007	15:03	15:23	20	0,0955	4,77	5	60	90	
MSV4	rouleau	22/02/2007	14:37	14:57	20	0,1040	5,20	3	60	90	
NSV4	rouleau	22/02/2007	14:37	14:57	20	0,1010	5,05	3	60	90	
MSV6	flocage	23/02/2007	13:38	13:58	20	0,0990	4,95	3	60	90	
NSV6	flocage	23/02/2007	13:38	13:58	20	0,0990	4,95	3	60	90	
MSV8	flocage	26/02/2007	15:11	15:31	20	0,0960	4,80	3	60	90	
NSV8	flocage	26/02/2007	15:11	15:31	20	0,0965	4,82	3	60	90	
MSV10	flocage	01/03/2007	15:01	15:21	20	0,0990	4,95	1,7	60	90	
MSV10	flocage	01/03/2007	15:01	15:21	20	0,0985	4,93	1,7	60	90	
MSV12	rouleau	05/03/2007	15:39	15:49	10	0,0495	4,95	3	60	90	
NSV12	rouleau	05/03/2007	15:39	15:49	10	0,0500	5,00	3	60	90	
MSV14	flocage	07/03/2007	15:04	15:14	10	0,0505	5,05	1,7	60	90	
NSV14	flocage	07/03/2007	15:04	15:14	10	0,0500	5,00	1,7	60	90	
MSV16	rouleau	16/04/2007	15:10	15:30	20	0,1035	5,18	5	60	90	
MSV16 bis	rouleau	16/04/2007	15:10	15:30	20	0,0995	4,97	5	60	90	
MSV17	rouleau	19/04/2007	13:09	13:29	20	0,0960	4,80	5	60	90	
MSV17 bis	rouleau	19/04/2007	13:09	13:29	20	0,1010	5,05	5	60	90	
MSV18	Rouleau	19/04/2007	14:53	15:13	20	0,10	4,77	5	90	120	Variation des paramètres de l'Aérotest
MSV18 bis	Rouleau	19/04/2007	14:53	15:13	20	0,10	4,95	5	90	120	
MSV19	rouleau	19/04/2007	16:49	17:09	20	0,1000	5,00	5	60	90	
MSV19 bis	rouleau	19/04/2007	16:49	17:09	20	0,0975	4,87	5	60	90	
MSV20	rouleau	24/04/2007	10:52	11:12	20	0,0980	4,90	5	60	90	
NSV20	rouleau	24/04/2007	10:52	11:12	20	0,0980	4,90	5	60	90	
MSV21	flocage	24/04/2007	13:17	13:37	20	0,0990	4,95	5	60	90	
NSV21	flocage	24/04/2007	13:17	13:37	20	0,0980	4,90	5	60	90	

MSV22	flocage	25/04/2007	09:47	09:08	21	0,1045	4,98	3	60	90	
NSV22	flocage	25/04/2007	09:48	09:08	20	0,1015	5,07	3	60	90	
MSV23	flocage	25/04/2007	13:47	14:07	20	0,1025	5,12	5	90	120	Variation des paramètres de l'Aérottest
NSV23	flocage	25/04/2007	13:47	14:07	20	0,1030	5,15	5	90	120	
MSV24	flocage	25/04/2007	16:00	16:20	20	0,0985	4,93	5	60	90	
NSV24	flocage	25/04/2007	16:00	16:20	20	0,0990	4,95	5	60	90	
MSV26	vrac	26/04/2007	11:54	12:14	20	0,0965	4,82	3	60	90	
NSV26	vrac	26/04/2007	11:54	12:14	20	0,0980	4,90	3	60	90	
MSV27	vrac	26/04/2007	14:39	15:01	22	0,1080	4,91	5	60	90	
NSV27	vrac	26/04/2007	14:39	15:01	22	0,1080	4,91	5	60	90	
MSV28	vrac	02/05/2007	10:51	11:11	20	0,1000	5,00	6	60	90	
NSV28	vrac	02/05/2007	10:51	11:11	20	0,0985	4,93	6	60	90	
MSV29	vrac	02/05/2007	14:21	14:42	21	0,1045	4,98	8	60	90	
NSV29	vrac	02/05/2007	14:21	14:42	21	0,1040	4,95	8	60	90	
MSV30	vrac	03/05/2007	09:26	09:46	20	0,1015	5,07	6	60	90	
NSV30	vrac	03/05/2007	09:26	09:46	20	0,1015	5,07	6	60	90	
MSV31	vrac	03/05/2007	13:21	13:41	20	0,0995	4,98	8	60	90	
NSV31	vrac	03/05/2007	13:21	13:41	20	0,1020	5,10	8	60	90	
MSV32	vrac	10/05/2007	10:40	11:00	20	0,1015	5,07	6	60	90	
MSV32 bis	vrac	10/05/2007	10:40	11:00	20	0,1000	5,00	6	60	90	
MSV34	vrac	10/05/2007	15:30	15:50	20	0,1010	5,05	3	60	90	
NSV34	vrac	10/05/2007	15:30	15:50	20	0,0995	4,98	3	60	90	

## Complément1 : Conditions expérimentales des essais conduits dans la chambre de simulation

	MOLP MD	MOLP MI
Ech	C(F/m <sup>3</sup> )	C(F/m <sup>3</sup> )
MSV2	266320	317905
MSV4	180666	161398
MSV6	142037	121692
MSV8	87461	94969
MSV10	86507	124379
MSV12	14545	12606
MSV14	49998	86414
MSV16	309	309
MSV17	14375	34329
MSV17 bis	13267	31507
MSV20	2449	3143
MSV21	889	1818
MSV22	957	421
MSV24	1015	853
MSV26	912	1492
MSV27	333	593
MSV29	5550	7541
MSV30	1419	2010
MSV31	322	844
MSV32	178292	213041
MSV32 bis	179234	202722
MSV34	307864	383589
R2	27551	36916
R4	384	443
R9	11377	13984
R10	189	248

**Complément 2 : Concentrations en F/m<sup>3</sup> des 23 couples d'échantillons prélevés dans l'aérotest (MSV) et sur chantier d'enlèvement de flocage (R) analysés au MOLP en méthode directe et indirecte**

Echantillons	Matériaux testés	MOLP (MD)	MOLP (MI)	MEBA	MOCP	MEBA / MOLP (MI)
		(F/m <sup>3</sup> ) (+/-19,4%)	(F/m <sup>3</sup> ) (+/-13,5%)	(F/m <sup>3</sup> ) (+/-26%)	(F/m <sup>3</sup> ) (+/-25,4%)	
SV2	rouleau	266 320	317 905	295 721	436 279	0,93
SV4	rouleau	180 666	161 398	197 147	290 195	1,22
SV12	rouleau	14 545	12 606	79 656	149 315	6,32
SV20	rouleau	2 449	3 143	16 094	12 570	5,12
SV6	flocage	142 037	121 692	63 724	279 965	0,52
SV8	flocage	87 461	94 969	0	179 644	
SV10	flocage	86 507	124 379	119 483	155 536	0,96
SV14	flocage	49 998	86 414	15 616	36 590	0,18
SV21	flocage	889	1 818	0	12 443	
SV22	flocage	957	421	0	11 788	
SV24	flocage	1 015	853	0	0	
SV26	Laine soufflée	912	1 492	0	0	
SV27	Laine soufflée	333	593	0	0	
SV29	Laine soufflée	5 550	7 541	15 093	11 788	2
SV30	Laine soufflée	1 419	2 010	0	6 068	
SV31	Laine soufflée	322	844	0	0	
SV34	Laine soufflée	307 864	383 589	182 287	274 421	0,48

**Complément 3 : Concentrations en F/m<sup>3</sup> des FMA toutes tailles échantillonnées dans l'Aérottest**

Echantillons	Matériaux testés	MOLP (MD)	MOLP (MI)	MEBA	MEBA / MOLP (MI)
		(F/m <sup>3</sup> ) (+/-19,4%)	(F/m <sup>3</sup> ) (+/-13,5%)	(F/m <sup>3</sup> ) (+/-26%)	
SV2	rouleau	232 210	290 261	295 721	0,93
SV4	rouleau	150 694	146 584	197 147	1,22
SV12	rouleau	10 182	11 394	63 724	6,32
SV20	rouleau	2 000	2 612	16 094	5,12
SV6	flocage	130 842	107 650	63 724	0,52
SV8	flocage	74 342	88 120	0	
SV10	flocage	78 874	121 952	119 483	0,96

SV14	flocage	44 388	79 069	15 616	0,18
SV21	flocage	727	1 697	0	
SV22	flocage	880	383	0	
SV24	flocage	853	731	0	
SV26	Laine soufflée	788	1 202	0	
SV27	Laine soufflée	185	481	0	
SV29	Laine soufflée	2 947	6 775	15 093	2
SV30	Laine soufflée	906	1 773	0	
SV31	Laine soufflée	201	523	0	
SV34	Laine soufflée	278 906	326 496	166 436	0,48

Complément 4 : Concentrations en F/m<sup>3</sup> d'air prélevé des FMA de diamètre < 3 µm échantillonnées dans l'Aérotest

Echantillons	Matériaux testés	MOLP	MEBA	MOCP
		SA (F/m <sup>3</sup> )	SA (F/m <sup>3</sup> )	SA (F/m <sup>3</sup> )
SV2	rouleau	3 072	16 429	12 832
SV4	rouleau	1 559	15 165	11 845
SV12	rouleau	81	31 862	24 886
SV20	rouleau	41	16 094	12 570
SV6	flocage	1 170	15 931	12 443
SV8	flocage	913	16 429	12 832
SV10	flocage	1 213	15 931	12 443
SV14	flocage	864	31 231	24 393
SV21	flocage	40	15 931	12 443
SV22	flocage	38	15 093	11 788
SV24	flocage	41	16 012	12 506
SV26	Laine soufflée	41	16 344	12 765
SV27	Laine soufflée	37	14 604	11 406
SV28	Laine soufflée	40	15 772	12 318
SV29	Laine soufflée	38	15 093	11 788
SV30	Laine soufflée	39	15 539	12 136
SV31	Laine soufflée	40	15 851	12 380
SV34	Laine soufflée	3 568	15 851	12 197

**Complément 5 : Sensibilités d'analyse (SA) en fibres/m<sup>3</sup> des différentes méthodes d'analyse pour les échantillons obtenus dans la chambre de simulation**

	MOLP (MD)	MOLP (MI)	MEBA	MOCP
Echantillons	(F/m <sup>3</sup> ) (+/-19,4%)	(F/m <sup>3</sup> ) (+/-13,5%)	(F/m <sup>3</sup> ) (+/-26%)	(F/m <sup>3</sup> ) (+/-25,4%)
E5	-	29 738	175 242	-
E7	-	72 000	415 990	-
R2	27 551	36 916	820 777	101960
R4	384	443	8 787	7576
R9	11 377	13 984	836 189	45130
R10	189	248	4 842	4022

**Complément 6 : Concentrations en Fibres/m<sup>3</sup> d'air prélevé des FMA échantillonnées sur les chantiers de retrait de laines d'isolation (E = dépose de rouleaux dans des bureaux ; R = dépose d'un flochage dans un parking)**

< 3 µm	MOLP MI	MEBA	MOCP
E5	27825	175242	-
E7	66653	415990	-
R2	36006	820777	87395
R4	335	672256	6061
R9	13849	836189	37950
R10	170	4842	3017

**Complément 7 : Concentrations en Fibres/m<sup>3</sup> respirables des FMA échantillonnées sur chantier**

**Annexe 10 : Exemple d'une fiche de données sécurité sur les filaments de verre continus**  
[www.saint-gobainvetrotex.com/pdf/MSDS\\_dglass\\_gb.pdf](http://www.saint-gobainvetrotex.com/pdf/MSDS_dglass_gb.pdf)



## MATERIAL SAFETY DATA SHEET

In compliance with EEC Directives 93/112/EEC and 2001/581/EC dated 07/23/2001 dated 10/12/93  
 updating Directive 93/155 dated 09/05/1991  
 and in compliance with ISO standards 11014-1 dated 03/15/94 and ANSI Z400.1 dated 1998

### 1 - COMPANY - PRODUCTS IDENTIFICATION

**MANUFACTURER:**

**Head Office:**

Saint-Gobain Vetrotex International S.A.  
 197, quai des Aliborages, BP 919  
 17009 Charente-le-Mar  
 ☎ : +33 (0)4 79 75 53 00 - Fax : +33 (0)4 79 75 53 99

**Production plants:**

Saint-Gobain Vetrotex France S.A.  
 F-17009 Charente-le-Mar  
 ☎ : +33 (0)4 79 75 53 00  
 Fax : +33 (0)4 79 75 53 99

**PRODUCT IDENTIFICATION:**

**“R continuous filament Glass fibres”**

**Contact in an emergency:**

- Environment Industrial Hygiene and Safety Director for The Reinforcement Branch of Saint-Gobain
- Saint-Gobain Vetrotex International S.A.  
Phone +33 4 79 75 53 00 Fax +33 4 79 75 54 03
- [ugvx\\_webmaster@saint-gobain.com](mailto:ugvx_webmaster@saint-gobain.com)

### 2 - HAZARD IDENTIFICATION

R. Glass products are not significantly hazardous.

Details about chemical hazards have been given in paragraph 2. Toxicological aspects are developed in detail in chapter 11.

Concerning continuous filament glass fibres, the essential point to remember is that the continuous filament glass fibres are not respirable. According to the definition given by the international organisations like the WHO, fibres with a minimum diameter of 3µm are not respirable which is the case of the continuous filament glass fibres.



Hazards identified are:

- mechanical irritation (itching) due to fibres
- respiratory problems due to the formation of respirable non-fibrous dusts and non-respirable filaments
- extremely rare possibilities of allergy for sized glass

### 3 - COMPOSITION – INFORMATION CONSTITUANT PARTS

R Continuous Filament Glass Fibres are basically sold as:

TEXTILE YARNS  
ROVINGS  
CHOPPED STRANDS

On Saint-Gobain Vetrotex product packing, these general names are followed by a code number.

This Material Safety Data Sheet is valid for all these products, except for Roving R-P9HT for which a special MSDS has been issued.

R Continuous Filament Glass Fibres products are ARTICLES, as fibres are defined as articles in the manual of decisions for implementation of the sixth and seventh amendments to directive 67/548/EEC on dangerous substances (EU Directives 79/831/EEC and 92/32/EEC) or in the USA by the American TSCA (Toxic Substances Control Act) or EPA 40 CFR 710.2 and also some other national regulations (DSL in Canada for instance).

These articles are made of R GLASS in the form of continuous strands and a SIZE. The CAS number of Continuous Filament Glass Fibre is 65997-17-3 (corresponding to the oxides used for production)

R GLASS is a silico aluminate glass.

Its typical composition (expressed in oxides) is:

SiO <sub>2</sub>	58-60 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23.5-25.5 %
CaO	8-10 %
MgO	5-7 %

SIZE is a mixture of chemicals applied to the glass strands in a maximum quantity of 2%



Most of this mixture is made up of high molecular weight polymers, which are not listed as substances in the 1981 European Inventory of Existing Commercial Substances (EINECS) nor in the ELINCS appendices (European List of Notified Chemical Substances) nor in the American TSCA lists.

A second type of ingredient (present in almost all sizes) is a member of the organo-silane family. These products account for less than 0.05% of the final weight of sized R glass and react with the glass matrix during the fabrication process.

Other products can be used in sizes often acting as lubricants. Usually the content is extremely low (under 0.1% of total weight) and as a general rule such products are not on the dangerous product lists or, as they have reacted, any possible risk has been reduced.

If so requested by medical authorities, the Chemical Abstract Service (CAS) reference numbers for the ingredients used for the R glass sizing systems can be communicated but must remain for the confidential use of medical authorities.

#### 4 - FIRST AID

INHALATION:	remove from the scene of exposure and
SKIN CONTACT:	wash copiously with lukewarm soapy water without rubbing excessively
EYE CONTACT:	flush in running water (for at least 10 minutes) and consult if necessary a doctor

#### 5 - FIRE FIGHTING

In case of fire, Continuous Filament Glass Fibres are not flammable, are incombustible and don't support combustion.

Only the packaging (plastic film, paper, cardboard, wood) and the small amounts of size are likely to burn. Combustion gases are basically carbon dioxide and water vapour. There may be small quantities of carbon monoxide and other substances which make it necessary to use protective devices in the event of a major fire.

RECOMMENDED EXTINGUISHING MEDIA: water or chemical powder

#### 6 - ACCIDENTAL SPILLAGE

PERSONAL PROTECTION: See Chapter 8.

**ENVIRONMENTAL PROTECTION:**

In leaching tests R Continuous Filament Glass Fibre wastes did not emit any significant quantities of dangerous products and they can therefore be considered as Inert Industrial Wastes, or even Common Industrial Wastes, as defined by national and local regulations.

**CLEANING:**

Vacuum clean, sweep or shovel carefully in order to prevent dust suspension.

**7 - HANDLING & STORAGE****HANDLING (Technical measures / Precautions / Safe handling advice):**

For all products, it is preferable to avoid prolonged contact with the skin: wear gloves, garments with sleeves and long leggings or protective overalls, goggles, and dust masks.

Glass filaments and dusts must be removed from work garments with a vacuum cleaner and not blown off with compressed air jets. Wash work garments separately from other clothes.

**STORAGE:**

Technical measures: respect the stacking procedure recommended for each type of product.

Storage conditions: store away from excessive humidity to prevent damage to the product and to the packing materials which could lead to storage safety problems.

Incompatible material: not relevant.

**8 - EXPOSURE CONTROL – PERSONAL PROTECTION****TECHNICAL MEASURES**

Use every appropriate means (suction, modification of manufacturing methods to reduce fibre dust...) to try to reduce the concentration of fibres likely to cause irritation.

**TEST PARAMETERS**

Test ambient atmospheres in which Continuous Filament Glass Fibre is used regularly to determine levels of



- “non respirable” and “respirable” filaments
- “non-respirable” and “respirable” dusts.

Legal requirements for respirable and non-respirable dusts and fibres vary from country to country (or do not even exist). The table below (prepared using the knowledge we currently possess) shows the limits applicable in different countries for Time-Weighted Average (TWA) exposure to fibres.

It is recommended to identify the chemical nature of the fibres found in working atmospheres correctly, in particular in insulation wools and mineral fibres like asbestos which are sometimes present and can be confused with continuous glass strands.

Country	Dusts	TWA (Time-Weighted Average concentration) (mg/cu.m. for 8 hours work)	Fibres	TWA (Time-Weighted Average concentration) (Fibres/ml for 8 hours work)
Austria	fine	6	total	0.5
Belgium	total	10	No regulation	
Denmark	respirable total	5 10	total	1
Finland	total	10	total	1
France	total	10	respirable	1
Germany	respirable	3	respirable	0.25
Great Britain	respirable total	5 10	respirable	2
The Netherlands	respirable total	2 10	total	1
Ireland	respirable	5	respirable	2
Country	Dusts	TWA (Time-Weighted Average concentration) (mg/cu.m. for 8 hours work)	Fibres	TWA (Time-Weighted Average concentration) (Fibres/ml for 8 hours work)
Italy	respirable total	3 10	total	1
Norway	respirable total	5 10	total	1
Portugal	total	4	total	1
Spain	total	10	total	1
Sweden	respirable total	5 10	total	1
Switzerland	total	6	respirable	0.5
USA	Respirable total	5 (OSHA)* 15 (OSHA)*	total	1 (ACGIH)**

Revision 27 June 2007

5/12



\*OSHA =Occupational Safety and Health Administration

\*\*ACGIH=American Conference of Governmental Industrial Hygienists

#### PERSONAL PROTECTION EQUIPMENT:

##### Respiratory protection:

During occasional operations releasing high quantities of dust, wear minimum FP1 or preferably FP2 EEC approved dust masks. Type 3M 8710 or 3M 9900 respirators approved according to American National Institute For Occupational Safety And Health (NIOSH) directives, can be used, for example.

##### Protection of hands and other exposed parts of the body:

Gloves for the hands, long-sleeved garments and long leggings to prevent irritation.

People with delicate skin should apply barrier cream to exposed skin areas.

Eye protection: safety goggles (or masks) or safety glasses.

## 9 - PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

PHYSICAL STATE:	solid
FORM:	bobbins of continuous fibres, chopped strands made up of continuous, parallel filaments glued together.
COLOUR:	white or yellowish white
ODOUR:	none
pH:	not applicable

#### SPECIFIC TEMPERATURE AT WHICH CHANGES IN PHYSICAL STATE OCCUR:

Softening point: Littleton point (defined as the temperature for which the viscosity of glass is  $10^{14.5}$  Poises): approximately 980°C

Melting point: Not applicable. Glass does not melt, but the viscosity decreases by elevation of temperature and is  $10^8$  Poises for E. glass around 1380°C (fiberizing temperature).

DECOMPOSITION TEMPERATURE:	Only size products start to decompose at 300°C
FLASH POINT:	none
EXPLOSIVE PROPERTIES:	none



DENSITY	2.53-2.55 g / cu. cm. for molten glass.
SOLUBILITY:	very low solubility in water. Sizes can be partially (and even totally) dissolved in most organic solvents.

## 10 - STABILITY AND REACTIVITY

### STABILITY

Stable in normal use and storage conditions, and in normally foreseeable usage conditions.

### HAZARDOUS REACTIONS

No chemical hazardous reaction is foreseeable

### HAZARDOUS DECOMPOSITION PRODUCTS

In continuous combustion conditions, in addition to water vapour and CO<sub>2</sub>, small quantities of CO and NO<sub>x</sub> may be released from the combustion of the size. Other products may be released in limited quantities. This is why it is recommended to use high-performance gas masks, when fighting intense fires.

## 11 - TOXICOLOGICAL INFORMATION

ACUTE TOXICITY: not relevant

LOCALISED EFFECTS: possible temporary irritations

This irritation is of a purely mechanical and temporary nature. It disappears when exposure is ended. It can affect the skin, the eyes and the upper respiratory tracts. In Europe, mechanical irritation is not considered to be a health hazard within the terms of European directives 67/548/EEC for hazardous products. This is confirmed by the fact that EC Directive 97/69/EC for mineral fibres does not stipulate the need to use an Xi (irritant) label nor a classification for continuous strand glass fibres.

SENSITISATION: some allergies to continuous strand glass fibres have been declared. All sizing mixtures are tested for their wet state sensitising properties when developed by Saint-Gobain Vetrotex and are only adopted if they have no significant sensitisation properties. In case of the allergy is confirmed, remove the person from the scene of the exposure.

**LONG TERM TOXICITY:****CARCINOGENIC RISKS****Regulatory situation:**

None of the following official organisations have attributed any risks of cancer during the production and use of continuous filament glass fibres:

During its congress in June 1987, World Health Organisation (WHO) through the IARC (International Agency of Research on Cancer) examined all laboratory studies using animals and epidemiological studies carried out on glass yarns for textiles. The conclusion was that glass filaments are not classified as to their carcinogenicity. They belong to Group 3 of IARC classification.

This classification has been confirmed by the IARC Working Group during his meeting of October 2001 and in the latest issue of the IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans volume 81 on Man-made vitreous fibres, published in 2002

The International Labour Office (ILO) and the CSIP (Chemical Safety International Program) came to the same conclusions in a congress held in 1987.

European Commission Directive 97/69/EC dated 5/12/97, the 23<sup>rd</sup> amendment to Directive 67/548/EEC which concerns classification, packing and labelling of hazardous substances did not think it necessary to include Continuous Filament Glass Fibres as having carcinogenic risks.

Most European Union member nations have transposed this Directive into their national law and adopted the same conclusions:



Country	Reference of transposition documents of Directive 97/69/EC
Austria	Chemikalienverordnung 1999
Belgium	French implementation by « Koninklijk Besluit » of 15/1/99 published on 24/2/99
Denmark	BEK N°11/1999.01.09 (Ministry of Environment)
Finland	Landskapforordning 23/04/98 and 24/02/98 and List of Hazardous Chemicals 16.12.98
France	Arrête ministériel du 28/08/98, Circulaire DRT 99/10 du 13/8/99
Germany	4th adaptation of the German Gefahrstoffverordnung 1999
Great Britain	The chemicals (Hazard Information and packaging for supply) (amendment) Regulations 1998. 6/1/99
Greece	Not available
The Netherlands	Wijzigingsbesluit (Stb. 217,2001)
Ireland	Statutory Instruments S.I. N°313 of 1998. European Communities (Classification, Packaging, Labelling and Notification of Dangerous Substances) Amendment N°2 Regulation 1998. Effect on December 22 <sup>nd</sup> 1998.
Italy	Decreto ministeriale del 01/09/98, Gazzetta Ufficiale-Serie generale-del 19/11/98 n°271 pag. 16, decreto del 2 feb 2000, circolare n°4 del 15/03/1999
Luxembourg	Règlement Grand Ducal du 31/10/98
Portugal	Not available
Spain	Bulletin Oficial del Estado (11/09/98)
Sweden	KIFS 1998 : 7

OSHA (Occupational Safety and Health Administration) and NTP (U.S. National Toxicology Program), official American organisations, have not listed glass yarns for textiles as hazardous substances and the ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) have classified them as A4 (not classified as carcinogenic for Man). They are not part of the list of the controlled products in Canada (CCP).

No new studies have led the organisations to revise their position on this subject.

Most laws and studies concerning respirable fibres do not apply to continuous filaments glass yarns for textiles.

For example,

- The concentration of respirable fibres in the atmosphere (1.5 fibres / cm<sup>3</sup>) fixed by French circular 93/04 dated 12/01/1993



(in addition to that dated 19/07/1982) from the French Ministry for Work does not apply to glass yarns.

- Cancer risk index KI defined in German TRGS 905 does not apply to non-respirable continuous filament glass fibres.

#### **Epidemiological and laboratory studies**

No epidemiological and laboratory studies carried out up until now demonstrate in a scientifically significant way any risk of cancer related to reinforcement fibres. They generally only concern E glass and no special report has been made on R glass. We do not foresee any particular reason why R glass could be more dangerous, and we consider the following information as relevant for R glass.

Several epidemiological studies (Chiazze 1997, Boffata 1997) confirmed the absence of excessive mortality due to cancer in people working in Continuous Filament Glass Fibre manufacturing facilities vs. control populations.

A study published in 2000 by the IOM (Institute of Occupational Medicine in Edinburgh) addressed the inhalation of E-glass microfibres by animals at concentrations at least 1000 times higher than those encountered when using Continuous Filament Glass Fibres demonstrated carcinogenic risk. These microfibres are not part of the product range produced and sold by Saint-Gobain Vetrotex and these findings are not likely to change current opinions for the Continuous Filament Glass Fibres described in this MSDS.

#### **Handling Continuous Filament Glass Fibres**

When Continuous Filament Glass Fibres are chopped, milled or sanded they are cut perpendicular to strand length and no smaller diameter filaments are generated. Conversely, significant quantities of dust can be generated which is why it is recommended to use personal protection.

In dusts, also present in some products (chopped strands, milled fibres) some studies have shown very low quantities of particles with fibrous aspects ( $l/d > 3$ ), short (but nevertheless longer than  $5\mu\text{m}$ ) and with an apparent diameter of under  $3\mu\text{m}$ . Quantities measured in work atmospheres are 50 to 100 times lower than all the limits fixed for respirable fibres, but when there is a high risk of dust generation it is strongly recommended to wear masks.

**MUTAGENIC RISKS, TERATOGENIC RISKS, RISKS FOR REPRODUCTION:**  
R continuous strand glass fibres have no known risks.



## 12 - ECOTOXICOLOGICAL INFORMATION

R. glass is not biodegradable.

Sizes or resins are organic materials slowly and only partial dissolved by natural agents like water. When the concentration of the ingredients in the mixture and ingredient solubility are low and as they have not been classified as hazardous, R. glass products are considered to have no adverse eco-toxicological effects.

R. Continuous Filament Glass Fibres, sizing products and resins are not listed as products likely to destroy the ozone layer by the 1987 Montreal Protocol (Class 1 or Class 2). These lists are included in EC Regulation n° 3093/94 and in section VI of amendments to the "Clean Air Act" by the American Environmental Agency (EPA).

R. Continuous Filament Glass Fibres do not contain PCB (Polychlorinated biphenyl) or and other polyaromatic products of the same type.

## 13 - WASTE DISPOSAL

Depending on local regulations, Continuous Filament Glass Fibre wastes can either be considered as inert waste or as common industrial waste. As such they can be buried in landfills approved for these categories.

Continuous Filament Glass Fibres waste cannot be destroyed by incineration and can damage incinerators by the formation of a vitrified mass.

Clean cardboard, wood, plastic (film or bags) and packaging can be eliminated in units specific to these products (i.e. for recycling or use as fuels).

## 14 - TRANSPORT

### INTERNATIONAL REGULATIONS:

R. Glass products are not considered as hazardous goods by transport regulations. They are not part of one of the hazardous classes listed in international regulations.

They do not need special procedures under any regulations. For international transport in Europe by land (restructured version of ADR applicable in Europe as from July 2001, RID, ADN), sea (COMI) or air (OAC/IATA or to the USA (DOT) or Canada (TDG), they are not shown as a risk category nor qualified by a UNO number or a packing group.



## 15 - REGULATORY INFORMATION

R. Continuous Filament Glass Fibre products do not require hazardous product labelling (see Chapters 11 and 2).

General hygiene and work safety regulations apply (see Chapter 8).

R. Continuous Filament Glass Fibre products are articles and for this reason are not listed as such in substance lists in several countries (EINECS in Europe, ELENCS, TSCA for the USA, DSL and NDSL for Canada, MITI for Japan, PICS for the Philippines, KECI for Korea, AICS for Australia...).

## 16 - OTHER INFORMATION

Nothing to notice

This Material Safety Data Sheet is in addition to the Product Specification file and other technical documents issued by SAINT-GOBAIN VETROTEX, but do not replace them.

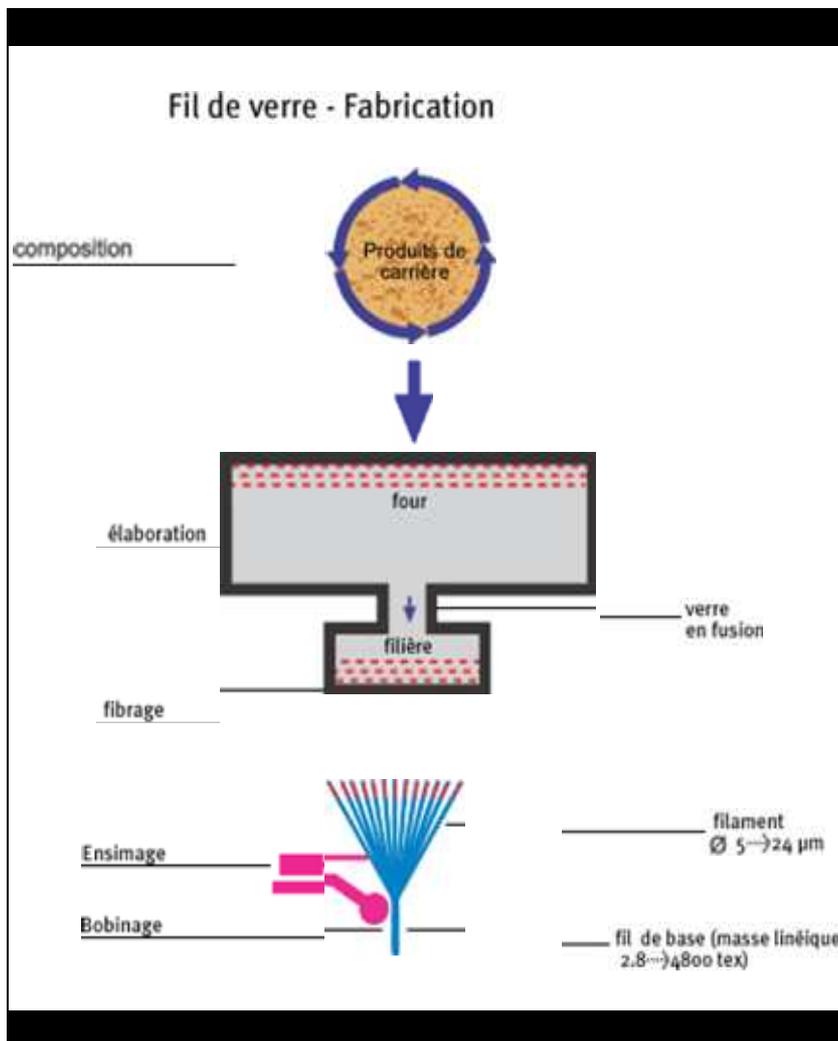
The information given by this document is based on the data shown. It is given in good faith.

Furthermore, users' attention is drawn to the possible risks run when the product is used for any purpose other than the one for which it was designed.

This MSDS does not exempt users from knowing and applying the rules regulating their activities. Users assume full responsibility for applying the appropriate safety measures when the product is used.

For all additional information, users should contact their local Saint-Gobain Vetrotex agent or the Saint-Gobain Vetrotex International Environment, Health and Safety Director.

### Annexe 11 : Fabrication du fil de verre selon Saint Gobain Vetrotex



## Annexe 12 : Les différents procédés mis en œuvre dans la fabrication des matériaux composites

### 1-Les technologies manuelles de transformation

Les technologies manuelles de transformation des composites représentent environ 1/5ème du secteur français des composites, leur développement est en baisse à causes des directives limitant les émissions de styrène (COV). Les procédés manuels sont utilisés pour la fabrication sur commande de pièces de grandes dimensions destinées principalement aux industries :

- de l'aéronautique (voilure, empennage, mobilier) ;
- du ferroviaire (panneaux et aménagement de voitures) ;
- de la construction nautique (coques).

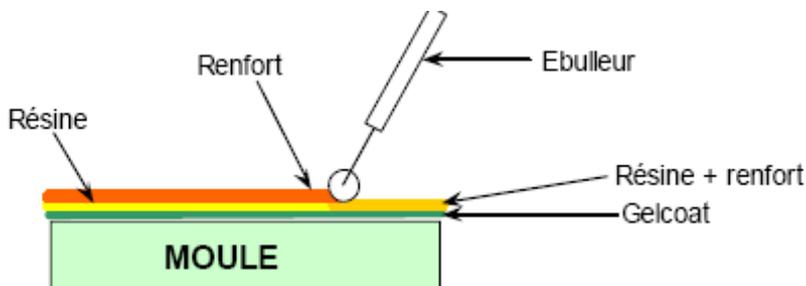
Les technologies manuelles de transformation des composites utilisent des moules ouverts ; ce sont principalement celles décrites ci-dessous.

#### 1-1Moulage au contact

##### *Principe*

Le moulage au contact est utilisé principalement pour les composites « grande diffusion », il est manuel et permet la réalisation de pièces à partir de résines thermodurcissables. Le procédé consiste à déposer sur la forme :

- une couche de surface (gel coat) et des catalyseurs de polymérisation ; alternativement des couches de renforts (mats ou tissus) imprégnés au rouleau d'une résine polymérisant dans des conditions proches de l'environnement ambiant de l'atelier.
- dépose des tissus ou nappes préimprégnés préalablement découpés à la forme voulue dans ou sur une forme par plis successifs (phase de drapage) ;
- couverture de l'ensemble par une membrane souple et étanche et mise sous vide pour éliminer les solvants parasites ;
- l'ensemble est porté en autoclave à haute température (>200°C) et haute pression (15 bars) pour la polymérisation (phase d'autoclavage).
- après durcissement de la résine, la pièce est démoulée et détournée.



Moulage au contact (CARMA, 2006)

##### *Cas d'utilisation*

Procédé pour petites séries : de 1 à 1000 pièces / an

Pièces de grandes à très grandes dimensions

Revêtement sur supports divers et in situ

#### *Matières premières*

Renforts : mats, tissus de fibre de verre principalement (taux de renfort volumique allant jusqu'à 35 % dans le cas du verre)

Résines : polyesters, époxy, phénoliques, vinylesters

Divers : catalyseur, accélérateur, charges, pigments, agent de démoulage, acétone

#### *Domaines d'application*

Nautisme

Piscine

Génie chimique

Transport, carrosserie (petites séries)

Bâtiment, travaux public (coffrage)



### **Composite fabriqué par moulage au contact (CARMA, 2006)**

#### 1-2 Moulage par projection simultanée

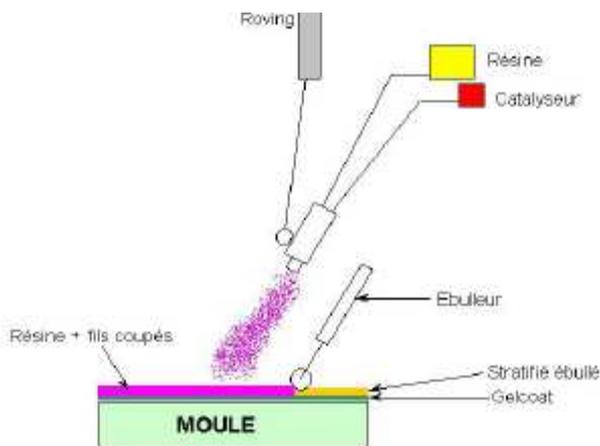
##### *Principe*

Procédé manuel ou robotisé permettant la réalisation de pièces à partir de résines thermodurcissables. Les matières premières sont mises en œuvre à l'aide d'une machine dite "de projection". La résine catalysée et les fibres de renfort coupées (roving) sont projetées simultanément au moyen d'un pistolet sur une forme ; les étapes de la fabrication sont les suivantes :

- dépose des tissus ou nappes préimprégnés préalablement découpés à la forme voulue dans ou sur une forme par plis successifs (phase de drapage) ;

- couverture de l'ensemble par une membrane souple et étanche et mise sous vide pour éliminer les solvants parasites ;
- l'ensemble est porté en autoclave à haute température (>200°C) et haute pression (15 bars) pour la polymérisation (phase d'autoclavage).

Les fils coupés en filament de verre et la résine sont projetés sur la surface du moule puis compactés et ébullés à l'aide de rouleaux et d'ébulleurs. La résine préaccélérée est catalysée en continu lors de sa projection.



### Moulage par projection simultanée (CARMA, 2006)

#### Cas d'utilisation

Production de pièces de moyennes à grandes dimensions

Recherche de réduction des coûts par rapport au contact

Petite et moyenne série

Matières premières

Renfort : fibre de verre sous forme de roving assemblés, taux de renfort de 25 à 35 % en volume.

Résines : principalement polyesters mais aussi phénoliques ou hybrides

Divers : catalyseurs, accélérateur, pigments, charges, agent de démoulage, solvant

#### Applications

Production de bateaux

Revêtements

Bâtiments : façade, articles sanitaires

Travaux public : coffrages

Capotage industriel

Panneaux sandwichs pour camions isothermes

Les technologies manuelles de transformation représentent encore 21% des composites transformés en France, dont 7% pour la projection simultanée ; ils sont toutefois en en déclin relatif pour les raisons suivantes. Sous la pression des pays nordiques, les émissions toxiques (COV), tel le styrène contenu dans les polyesters insaturés, ont été contenus avec une exposition moyenne (VME) de 50 ppm (soit 215mg/m3) admise encore aujourd'hui mais qui doit prochainement être ramenée à 20 ppm. Les cadences sont faibles, de l'ordre d'une pièce par journée, incompatibles avec la productivité des secteurs de l'automobile, des sports et loisirs.

## 2- Les technologies dites en moule fermé

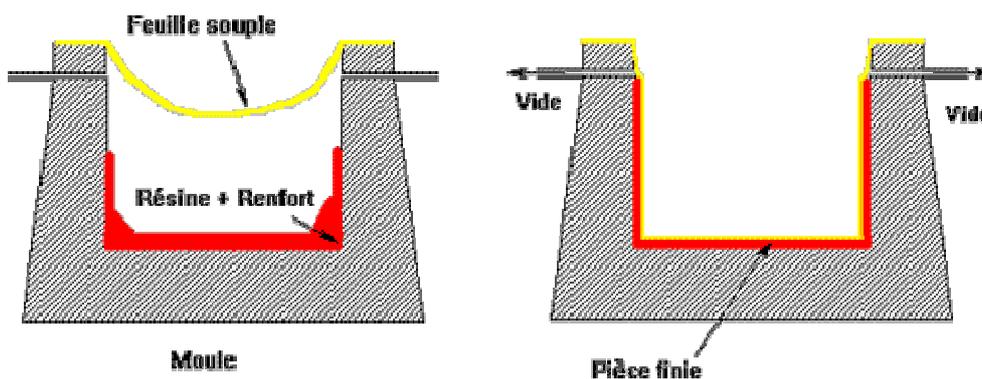
### 2-1 Moulage sous vide

#### Principe

Le moulage sous vide s'effectue entre moule et contre-moule rigide, semi-rigide ou souple suivant la technologie de mise en œuvre.

Le renfort (mat, tissu, préforme) est placé à l'intérieur du moule ; la résine catalysée est versée sur le renfort. On utilise la pression qui s'exerce sur le moule lors de la mise sous vide pour répartir la résine et imprégner le renfort.

La résine peut également être injectée par l'aspiration consécutive au vide.



Principe du moulage sous vide

#### Cas d'utilisation

Production en petites séries de pièces nécessitant deux faces lisses

Amélioration des conditions de travail et d'hygiène (réduction des émanations de styrène)

#### Matières premières

Renforts : mats fils coupés ou fils continus, préformes, tissus

Résines : polyester, vinylester, phénolique, époxy

Divers : catalyseur, accélérateur, pigments, charges, agent de démoulage, solvant

#### Domaines d'application

Bâtiment : coupoles d'éclairage zénithal

Transports : panneaux sandwichs pour caion isothermes, conteneurs

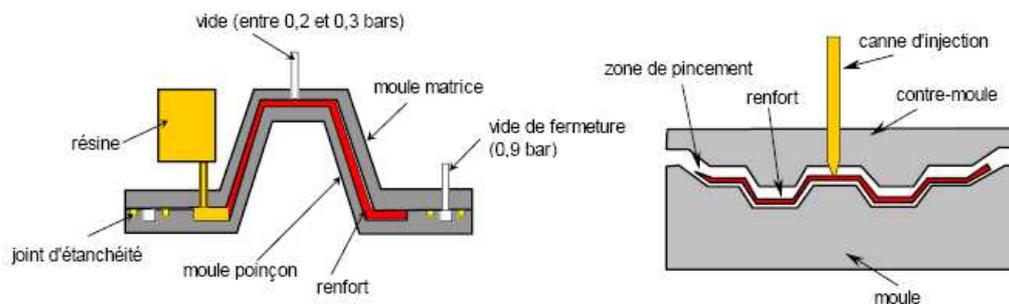
Pièces diverses : casques de protection enveloppants, capotages...

## 2-2 Moulage par injection basse pression de résine - RTM

### *Principe*

Le procédé RTM (Resin Transfert Molding) est celui qui se développe actuellement le plus en Europe, en particulier pour la réalisation de petites séries, grâce à l'amélioration des méthodes de simulation de l'injection de résine. Il permet, en 20 à 30 minutes, la réalisation simultanée du matériau composite et de l'objet fini.

Le renfort (mats, préforme en filament de verre continu) est disposé dans l'entrefer du moule. Une fois celui-ci solidement fermé, la résine thermodurcissable (polyester) de faible viscosité, accélérée et catalysée, est injectée sous faible pression (1.5 à 5 bars) à travers le renfort jusqu'au remplissage complet de l'empreinte. La polymérisation est auto-entretenu grâce à l'échauffement dégagé au cours de la réaction de polymérisation. Après durcissement de la résine, le moule est ouvert et la pièce démoulée.



Moulage par injection basse pression de résine – RTM (CARMA, 2006)

Cas d'utilisation

Procédé pour moyennes séries : 1000 - 10000 pièces/an

Pièces demandant une reproductibilité d'épaisseur

### *Matières premières*

Renforts : mats de fils coupés ou continu, préformes, voiles de surface ou/et tissus de verre, Taux de renfort : 20 - 60 %

Résines : polyesters, phénoliques (résols), époxydes, vinylesters

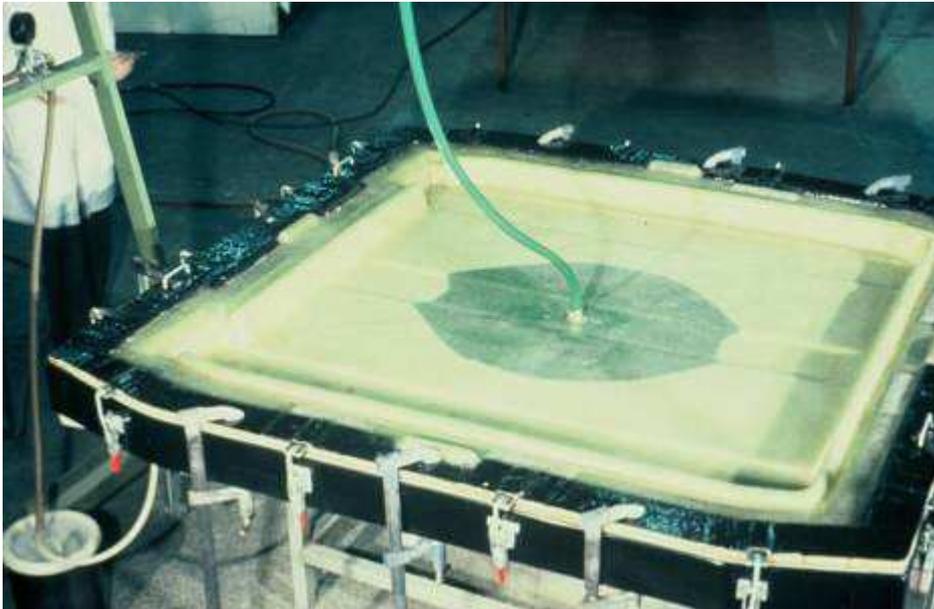
Divers : catalyseurs, accélérateur, pigments, charges, agents démoulants, solvant de rinçage

### *Domaines d'application*

Ce procédé est bien adapté à la réalisation de pièces de petite taille en petite série :

- en aéronautique, pour les pièces de dimension inférieure au mètre,
- dans le secteur automobile : toits, structure porteuse de petites voitures, cabines de camions, spoilers,

- dans le secteur ferroviaire : mobilier d'intérieur des voitures,
- dans la construction : salles de bains, réservoirs à essence, panneaux d'éoliennes,
- pour les sports et loisirs : raquettes de tennis, skis,
- dans la construction nautique, secteur en progression, pour de petites pièces.



### **Composite fait par moulage par injection basse pression de résine – RTM (CARMA, 2006)**

Le procédé RTM assure la transformation d'environ 5% des composites en France contre 8% en Europe ; il tend à se substituer aux technologies manuelles pour les raisons suivantes :

- le procédé est en moule fermé (donc, pas de dégagement de vapeurs nocives),
- les cadences sont plus élevées, de 10 à 100 pièces par jour.

### 3-Les technologies pour grandes séries

La compression de semi-produits thermodurcissables

Les technologies de compression de semi-produits thermodurcissables SMC/BMC, bien adaptées à la fabrication en grande série, devraient, au cours des prochaines années, connaître un essor en Europe.

Toutefois, les semi-produits SMC/BMC doivent être stockés à une température comprise entre  $-5^{\circ}\text{C}$  et  $-18^{\circ}\text{C}$ .

#### 3-1 Moulage par injection de compound - BMC

##### *Principe*

Le compound BMC (Bulk Molding Compound) préparé dans un malaxeur est une masse à mouler constituée de résine, de charges et d'adjuvants divers, renforcée par des fils de verre coupés.

Le compound est moulé à chaud ( $130 - 150^{\circ}\text{C}$ ) par injection (principalement) pour permettre la polymérisation entre moule et contre-moule en acier usiné. La pression (50 à 100 bars) de fermeture du

moule entraîne le fluage de la matière préalablement dosée et le remplissage de l'empreinte. Le temps de durcissement très court (2 à 5 minutes) permet un démoulage rapide.

#### *Cas d'utilisation*

Production en grandes séries

Pièces de taille petite et moyenne, plus ou moins épaisses

Matières premières

Compound du commerce ou compound préparé en interne :

Résine polyester (principalement), catalyseur à chaud, agent de démoulage, charges, pigments, éventuellement agents anti-retrait et de mûrissement

Renfort : fils de filaments continus de verre coupés (6 à 25 mm de longueur) à raison de 10 à 28%

#### *Exemple d'application*

Pièces pour appareillages électriques

Pièces automobiles sous capot

Pièces industrielles diverses



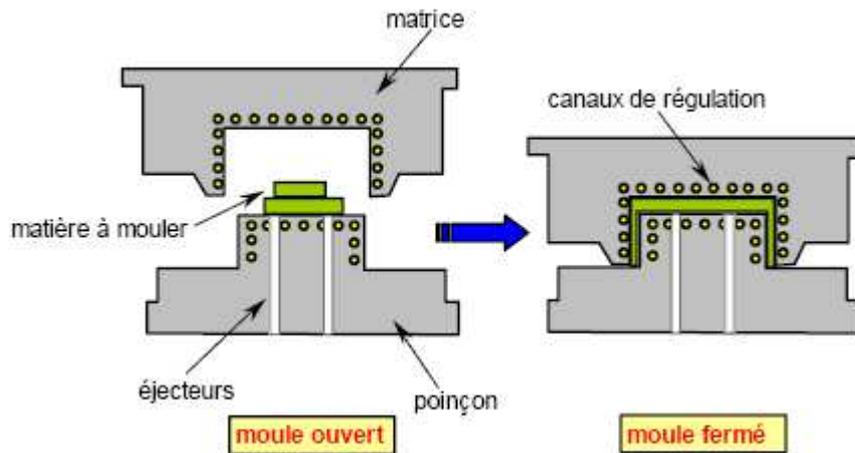
Composite fait par moulage par injection de compound – BMC (CARMA, 2006)

### 3-2 Moulage par compression de mat préimprégné - SMC

#### *Principe*

Le mat préimprégné SMC (Sheet Molding Compound) est constitué d'une nappe de fils coupés ou continus, imprégnée par un mélange de résine polyester, de charges et d'adjuvants spécifiques divers.

Découpé en flans de masse et dimensions déterminées, le mat préimprégné est moulé à chaud (140 à 160 °C) par compression entre un moule et un contre-moule en acier usiné. La pression (50 à 100 bars) entraîne le fluage de la matière et le remplissage de l'empreinte. Le temps de durcissement très court (en fonction de l'épaisseur) permet un démoulage rapide.



### Moulage par compression de mat préimprégné – SMC (CARMA, 2006)

#### *Cas d'utilisation*

Production en grandes séries

Pièces d'aspect

#### *Matières premières*

Mat préimprégné du commerce ou compound préparé en interne :

Mélange d'imprégnation : polyesters, agents compensateurs de retrait, charges, catalyseurs, inhibiteurs, agents de mûrissement, agents de démoulage, pigments

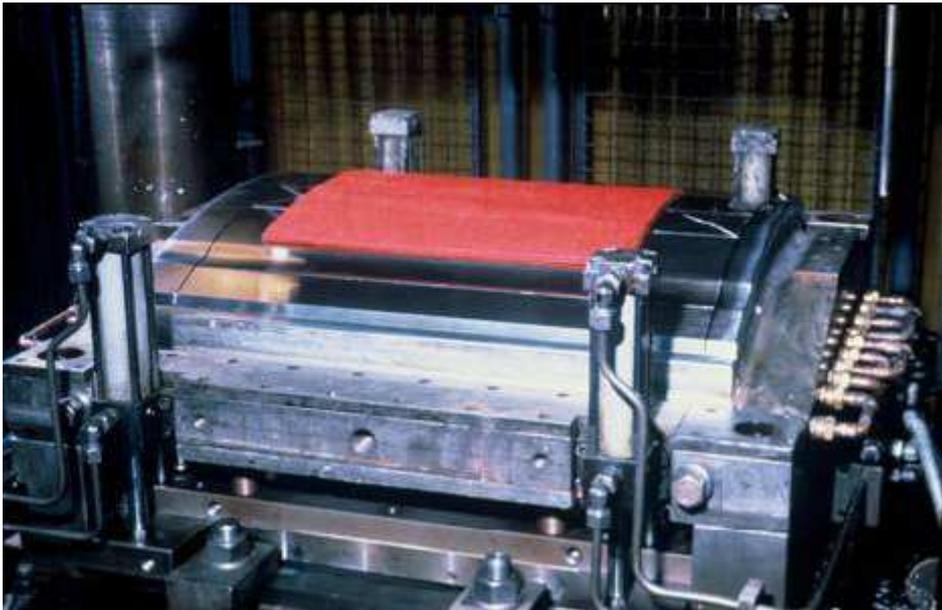
Renfort : fils de verre spécifique sous forme de roving (taux de renfort 25 à 50 % pondéral)

#### *Domaines d'applications*

Industrie automobile (tourisme et utilitaire) : pièces de carrosseries sous capots, pièces de protection (boîtiers de phares, poutres de pare-chocs)

Industrie électrique : coffrets de comptage, réglette d'éclairage, boîtiers, composants électriques, supports de lampes

La construction : panneaux, composants de cuisines et de salles de bain ; les sports et loisirs.



### **Composite fait par moulage par compression de mat preimprégné – SMC (CARMA, 2006)**

Le procédé de compression de semi-produits SMC/BMC est le plus répandue en France ; il représente environ 35% des composites transformés contre 12% en Europe.

Les technologies de compression SMC/BMC devraient progresser au rythme d'environ 6% par an en Europe ; elles présentent, en effet, les avantages suivants :

- elles sont bien adaptées aux cadences élevées de fabrication de produits de « grande diffusion » - elles utilisent des moules fermés, limitant les émanations de COV (styrène).

## **4- Autres procédés de transformation par moulage**

### *Semi-produits en composite thermoplastique*

Pour les composites thermoplastiques, on utilise une méthode dite sèche qui à partir d'un renfort mécaniquement imprégné d'une matrice thermoplastique, constitue un semi-produit prêt à l'emploi.

On distingue deux types de semi-produits

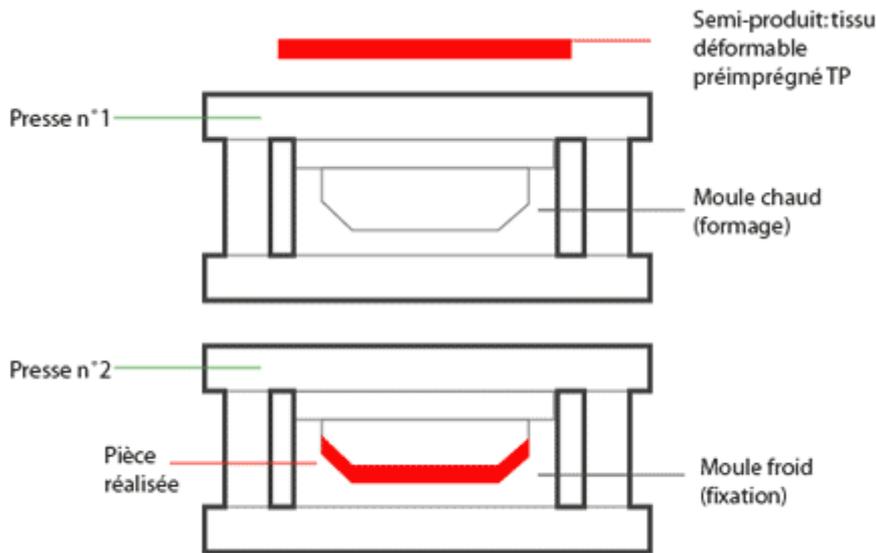
Granulé dit TPR (thermoplastique renforcé)

Granulés à fibres courtes: polymères techniques renforcés de fibres de verre ou de carbone (taux de l'ordre de 30%).

Granulés à fibres longues: fibre continue enrobée de polymère; la fibre a la même longueur que le granulé après découpe.

La plaque dite TRE (thermoplastique renforcé estampable) est composée de 2 feuilles thermoplastiques extrudées entre lesquelles on insère 1 ou 2 mats de renforts; l'ensemble est repris par calandrage à chaud, puis refroidi et découpé à la demande.

La plaque de TRE est pressée successivement dans un moule chaud (phase de formage) puis dans un moule froid (phase de fixation) pour un moulage à relativement basse pression (5/40 bars)



### Compression moyenne pression pour obtenir des composites hautes performances

Le procédé d'estampage TRE concerne le secteur automobile : poutres de pare-chocs, faces-avant de caisses, dossiers de sièges, carters

#### 4-1 Moulage par pultrusion

##### Principe

Le procédé est destiné à la réalisation en continu de profilés de sections constantes.

Des renforts filamenteux en fibre de verre continue, rovings divers, mats et tissus en bandes de largeurs appropriées, tirés par un banc de traction situé en fin de ligne de production, sont successivement prédisposés de façon précise, imprégnés de résine et mis à la forme désirée par passage à travers une filière chauffée qui assure la polymérisation et dans laquelle s'effectue le durcissement de la résine. Les éléments utilisés sont les suivants :

- des résines polyesters ou époxy ;
- des fibres de verre ou plus rarement de carbone avec des taux de renforts de 50 à 80%.

##### Cas d'utilisation

Réalisation de profilés en quantités significatives (plusieurs milliers de mètres linéaires).

##### Matières premières

Renforts : rovings directs, fils texturés, mats fil continu (liant insoluble), tissus

Résines : polyester, époxy, vinylester, acrylique, phénolique

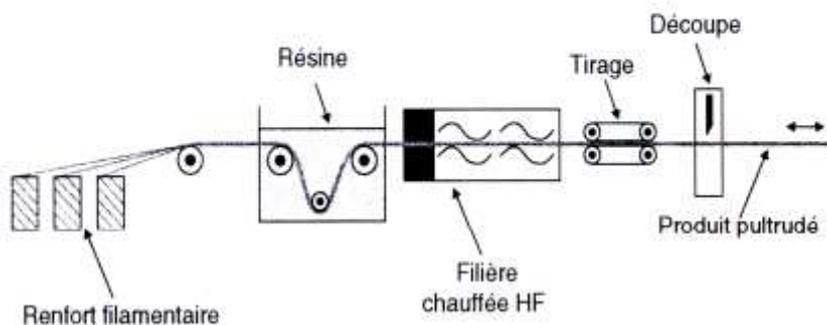
Divers : systèmes durcisseurs, charges, pigments, lubrifiants

##### Domaine d'application

Les principales applications des matériaux composites réalisés par la pultrusion concernent des profilés destinés à :

- la construction électrique : isolant électriques ; Tous profilés isolant électriques ou résistants à la corrosion
- la construction civile et industrielle : plates-formes de ponts, signalisation, échelles ;
- les sports et loisirs : cannes, clubs, perches, boulons d'ancrage, âmes d'isolateurs électriques haute tension, cannes à pêche

Ce procédé est peu développé en France, utilisé par seulement 5 ou 6 transformateurs ; il permet de fabriquer par une opération unique et continue le matériau composite et le produit fini sous forme de profilés longs.



#### Moulage par pultrusion (CARMA, 2006)

La pultrusion est encore peu développée en France (moins de 2%), elle est faiblement représentée en Europe (de l'ordre de 5%). Cependant, le procédé commence à se développer, en particulier en Allemagne et au Royaume Uni, avec une croissance annuelle d'environ 10%.

La pultrusion représente au Canada, et aux Etats Unis près de 10% des composites transformés, en particulier dans les domaines suivants :

- la construction civile (poutres pultrudées), pour le renforcement de structures existantes;
- la construction industrielle (plates-formes);
- l'automobile (sols isolants de camions).

Plus de 80% des produits en composites pultrudés aux Etats Unis correspondent à des réalisations spécifiques pour un client, le reste étant des produits standards.

Des normes de tolérances et de sécurité européennes spécifiques à la pultrusion sont développées par un groupe dirigé par le GPRMC (Groupement européen des Plastiques Renforcés / Matériaux Composites) et l'European Pultrusion Technology Association (EPTA), mais seules des directives générales sont applicables aux Etats Unis.

#### 4-2 L'imprégnation en continu

L'imprégnation continu a été le premier procédé industrialisé de fabrication des composites mais elle ne représente plus en France que 4% des composites transformés.

Le procédé permet de produire simultanément et d'une manière continue le matériau composite et les produits finis sous formes de plaques ; le cycle de fabrication est de l'ordre de 6 à 12 mètres/minute. Les étapes de mise en œuvre du procédé sont les suivantes :

- les renforts (mats de fibres de verre coupées) et la résine polyester sont mélangées par absorption et pression mécanique sur un rouleau transfert ;
- la polymérisation a lieu dans une étuve entre 60°C et 80°C.

Les principales applications concernent essentiellement la construction civile et industrielle avec des plaques ondulées, des bacs de couverture (toiture) industrielle, des couvertures d'étanchéité d'habitation et des chemins de câbles.

Malgré l'ancienneté du procédé – il constitue le premier essai d'industrialisation des composites - l'imprégnation en continu ne représente que 4% des composites transformés en France et moins de 8% en Europe. Les applications des composites réalisés par le procédé d'imprégnation continue sont limitées par le peu de diversité des formes compatibles avec le procédé et les médiocres caractéristiques mécaniques du produit obtenu.

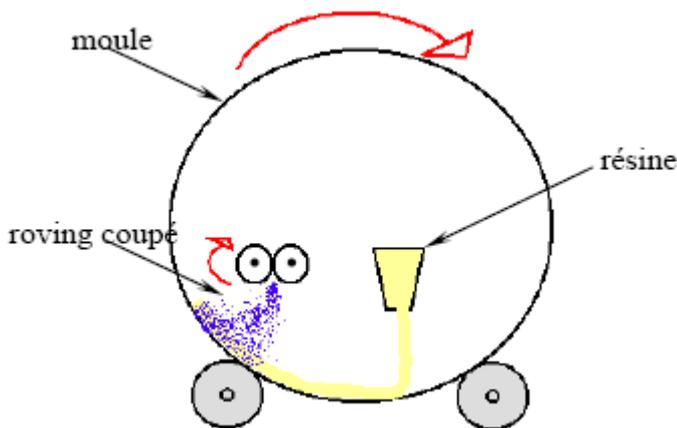
#### 4-3 Moulage par centrifugation

##### *Principe*

Procédé de moulage limité aux enveloppes cylindriques, il permet de réaliser simultanément le corps de révolution et le matériau composites A l'intérieur d'un moule métallique cylindrique en rotation à basse vitesse, on dépose des fils coupés à partir de roving (ou du mat), de la résine catalysée et accélérée et éventuellement des charges granulaires. Puis, on augmente la vitesse de rotation du moule pour densifier et débuller la matière. Il se forme sous l'effet de la force centrifugeuse après polymérisation, une structure de révolution.

Après durcissement de la résine, éventuellement accélérée par un apport thermique, on peut extraire très facilement la pièce du moule.

Le cycle de fabrication est d'une durée de quelques heures (fonction du volume réalisé).



#### **Moulage par centrifugation (CARMA, 2006)**

##### *Cas d'utilisation*

Le procédé n'a que des applications marginales réduites à quelques pièces cylindriques :

Production de tuyau (écoulement gravitaire et basses pression)

Production de grandes viroles (moulage par rotation : centrifugation basse vitesse)

### *Matières premières*

Résines : polyesters, vinylesters, éventuellement époxy

Renforts : roving coupé in situ (mats disposés à l'arrêt pour petits diamètres)

Divers : systèmes catalytiques, pigments, sable

### *Exemple d'application*

Tuyaux : jusqu'à 2 m de diamètre

Cuves (diamètre 1 à 2 m)

Silos (diamètre 4 à 5 m, longueur 10 à 12 m)

Cages de pressoirs à vin

Les composites transformés par centrifugation ont des propriétés mécaniques moyennes ; la place de cette technologie reste marginale en France, utilisée par seulement 3 transformateurs.

Le choix des formes est limité et les caractéristiques mécaniques sont moins bonnes que celles des composites obtenus par enroulement filamentaire.

## 4-4 L'enroulement filamentaire

### *Principe*

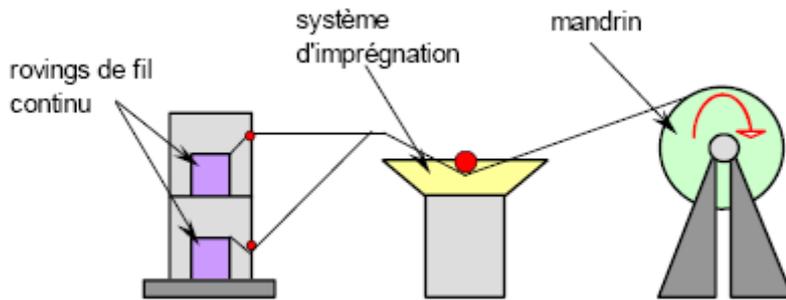
Procédé de moulage limité aux formes de révolution, il a été initialement destiné à la réalisation d'enveloppes de révolution nécessitant de hautes performances mécaniques par enroulement progressif sur un mandrin, selon un angle déterminé de fils de verre imprégnés de résine.

L'enroulement filamentaire est particulièrement adapté aux composites « hautes performances » car le procédé, compatible avec des taux élevés de renfort, permet une orientation précise des fibres.

Par la suite, le procédé a été étendu à des structures moins performantes en associant aux rovings bobinés d'autres types de renfort (fils coupés, mat, tissu) appliqués de façon adaptée.

Le procédé d'enroulement filamentaire est adapté à la production en petite série de corps creux de révolution. Le procédé réalise simultanément le matériau et le produit ; il consiste à enrouler un renfort continu imprégné de résine sur un mandrin tournant. Le temps de cycle peut atteindre quelques jours en fonction du volume et de la complexité des formes ; il est utilisé avec :

- des matrices époxy ou polyester ;
- des fibres continues de verre standard ou autres; les taux de renforcement peuvent être élevés (jusqu'à 80%).



**L'enroulement filamentaire (CARMA, 2006)**

### *Principales caractéristiques*

#### Matières premières

Renforts : rovings spécifiques à l'enroulement (éventuellement préimprégnés), roving coupé, mats de fils coupés, tissus uni/bi-directionnels, mats de surface

Résines : polyester, époxy, vinylester, phénoliques

Divers : catalyseurs, accélérateurs

#### *Cas d'utilisation*

Toutes pièces de révolution à produire en série ou nécessitant une résistance élevée.

Ce procédé est adapté à la production de petites séries de corps creux de révolution :

- dans l'aéronautique : moteurs de fusée, pales d'hélicoptères, arbres de transmission ;
- dans la construction nautique : mats de bateaux ;
- dans la construction industrielle : tubes, oléoducs, silos ; citernes de transport, réservoirs de stockage
- dans la construction électrique : poteaux de distribution ;
- pour les sports et loisirs : cadres de vélos, cannes à pêche, perche, bouteille de plongée

L'enroulement filamentaire ne représente en France qu'environ 2% des composites transformés contre 5% en Europe ; il représente également environ 5% des composites transformés aux Etats Unis, et devrait de développer avec le marché des poteaux de distribution électrique.



### Procédé de l'enroulement filamentaire (CARMA, 2006)

En France, l'utilisation de cette technologie semble limitée à des applications « hautes technologies », tandis que dans d'autres pays d'Europe et aux Etats Unis, ce procédé semble plus largement utilisé pour des applications « grande diffusion ». Le développement de cette technologie devrait être limité par les cadences très faibles.

### 5- Les Procédés innovants

Les procédés de transformation innovants concernent essentiellement la mise en œuvre des composites thermoplastiques ou des améliorations apportées au procédé RTM.

La technologie d'injection pour grande série (Large Injection Moulding Technology -LIMT) consiste à utiliser des composites thermoplastiques à matrice PA, polypropylène ou polyéthylène chargées de 15% à 40% de fibres de verre courtes.

Cette technologie devrait permettre de réaliser 100.000 pièces par an avec un seul équipement de production.

RocTool a développé deux procédés de transformation permettant de réduire de façon considérable les temps de cycles, de baisser les consommations énergétiques et de supprimer le pré-chauffage des outillages ; ces procédés transforment directement les composants sans chauffage préalable du moule :

par chauffage résistif : un courant électrique circule dans la matrice qui chauffe en quelques secondes permettant d'initier la réaction de polymérisation ; ce procédé est applicable à des matrices conductrices ou chargées de matériaux conducteurs ;

par chauffage inductif : un champ magnétique est créé dans la surface de l'empreinte qui chauffe en quelques secondes (matériaux composites non conducteurs).

Le système développé par Schappe Techniques est basé sur l'utilisation de « préformes » : fils, tresses, tissus 2D, tissus multiaxiaux et UD qui combinent fibres de renfort (carbone ou para-aramide) et fibres TP (PA 12, PPS, PEEK). Ces préimprégnés secs, nommés TPFL®, peuvent être mis en œuvre par des procédés rapides (TRE, BIM, Diaphragm Forming), voire ultra rapides (procédé RocTool), pour obtenir des composites hautes performances.

Le procédé par imprégnation a été amélioré par la technologie RIFT (Resin Infusion Processes), qui consiste à remplacer une des faces du moule fermé par un film flexible recouvrant le renfort

préalablement disposé sur le moule. Cette méthode favorise l'imprégnation et la rend plus homogène. En effet, la dépression créée entre le moule et le film souple permet de chasser l'air contenu dans le tissu et d'aspirer la résine à injecter sur le renfort.

Un procédé comparable au RTM, mis au point par Ems Chimie pour les PA 12, utilise le lauro lactam, un catalyseur et un fluidifiant afin de limiter, au cours de la polymérisation, l'élévation de la viscosité qui est susceptible de réduire l'imprégnation des renforts.

Au Japon, les sociétés Teijin Ltd et Hiroshima Plastics ont développé un procédé innovant pour la réalisation, en moule ouvert, de composites sandwich destinés à l'automobile et à la construction; ce procédé est fondé sur la dilatation thermique des particules thermoplastiques. Le procédé, dit EPM, a été récompensé par la Japan Society of Polymer Processing en 2000. Le procédé comporte trois étapes : les constituants du composite sandwich (résine thermodurcissable, fibres, thermoplastiques sous forme de particules) sont placés dans le moule entre deux parois de renfort ; le moule est chauffé ; sous l'action de la chaleur, les particules de thermoplastiques se dilatent et se répartissent uniformément avec la résine thermodurcissable et les fibres ; le moule est ouvert et l'ensemble démoulé. Les composites sandwich réalisés par Teijin sont utilisés pour des récepteurs mobiles de signaux satellites et des panneaux de renfort des constructions en ciment.

## 6- Références bibliographiques

Berreur L ; Nosperger S ; de Maillard B. L'industrie française des matériaux composites Etude stratégique réalisée par Nodal consultants pour le compte de la DiGITIP / SIM, mai 2002

CD-ROM Plasturgie, caoutchouc et composite 99 édité par IMPACT - Cabinet conseil en plasturgie)

Glossaire des matériaux composites, Centre d'animation régional en matériaux avancés (CARMA), Région Provence - Alpes Côte d'Azur, octobre 2006

R. Boukhili, Cours sur les matériaux composites. Département de génie mécanique, école polytechnique de Montréal, année de 2005, <http://www.cours.polymtl.ca/>

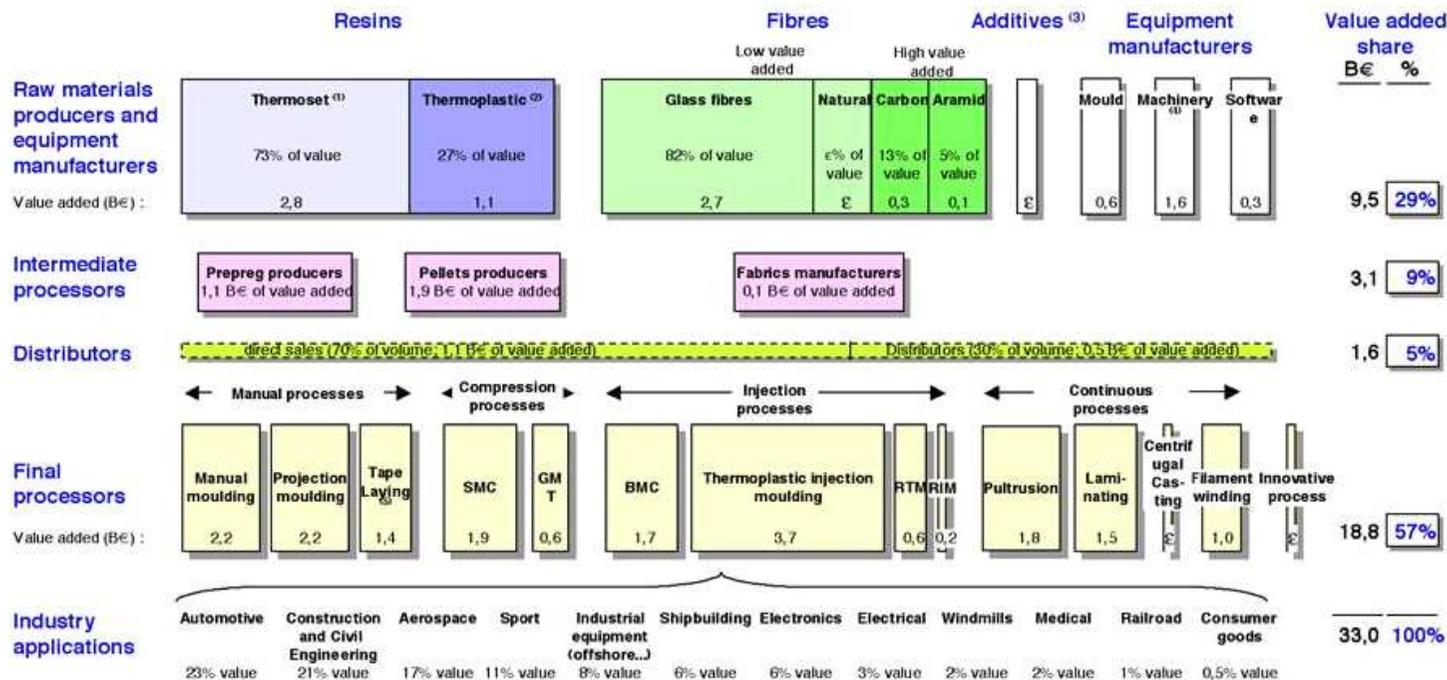
Salon JEC COMPOSITES SHOW, 4 avril 2007

Annexe 13 : la chaine de production de l'industrie des composites ainsi que la valeur en euros de chaque étape

AFFE

THE ENTIRE COMPLEX AND HETEROGENEOUS COMPOSITE INDUSTRY VALUE CHAIN

Source : JEC – 10/200



Final composite processing market value : 41.5 B€ (of which 33 B€ of value added)

Note : (1) Polyester, Epoxy, Polyurethane, etc ... ; (2) Polyamide, Polypropylene, PET, PBT, etc ... ; (3) colouring, UV resistant additives, ... ; (4) presses, injection equipment, projection equipment, cutting equipment, filament winding equipment ; (5) including autoclave process  
 Source : Desk research, Estlin & Co estimations & analysis

## Annexe 14 : Eléments d'information sur les fibres naturelles susceptibles d'avoir le même usage que les filaments de verre continus en tant que renfort de matériaux composites

### 1- Les fibres végétales

#### 1-1 Propriétés usuelles des fibres végétales

Le tableau 2 présente les propriétés usuelles des fibres végétales. On remarque que la plupart des fibres présentent des propriétés proches de celles des fibres synthétiques (verre, aramide, carbone...).

Propriétés	Type de fibres							
	lin	Chanvre	Jute	Ramie	Coco	Sisal	Abaca	Coton
Densité	1,4	1,48	1,46	1,5	1,25	1,33	1,5	1,51
Résistance à la traction (MPa)	800-1500	550-900	400-800	550	220	600 - 700	980	400
Module d'élasticité (E) [GPa]	60-80	70	10-30	44	6	38	12	
(E/densité) spécifique	26-46	47	7-21	29	5	29	8	
Allongement à la rupture (%)	1,2-1,6	1,6	1,8	2	15-25	2-3	3-10	
Absorption d'eau (%)	7	8	12	12-17	10	11	8-25	
Production mondiale en 2002 en milliers de tonnes/an	750	78	3200	202	654	345	104	21200

Tableau 2 : les propriétés usuelles des fibres végétales

#### 1-2 Principaux avantages et inconvénients des fibres végétales comme renforts de matériaux composites

Les fibres végétales constituent une alternative intéressante aux fibres de verre en raison de leur recyclabilité. Ces fibres présentent de nombreux avantages comme renfort de matériaux composites. En revanche, certains inconvénients peuvent être un frein au niveau du développement industriel. Les principaux avantages et inconvénients sont rassemblés dans le tableau ci-dessous :

Avantages	Inconvénients
Faible coût	Absorption d'eau
Biodégradabilité	Faible stabilité dimensionnelle
Neutre pour l'émission de CO <sub>2</sub>	Mauvaise tenue en vieillissement

Pas d'irritation cutanée lors de la manipulation des fibres	Faible tenue thermique (200 à 230 °C max)
Pas de résidus après incinération	Fibres anisotropes
Ressource renouvelable	Variation de qualité en fonction du lieu de croissance, de la météo...
Demande peu d'énergie pour être produite	Pour des applications industrielles, demande la gestion d'un stock
Propriétés mécaniques spécifiques importantes (résistance et rigidité)	Renfort discontinu
Bonne isolation thermique et acoustique	
Non abrasif pour les outillages	

## 2- Fibres d'origines animales

### 2-1 La laine

La laine est une fibre qui provient de la toison de divers ovins (moutons). Son observation à l'œil nu montre une forme frisée et élastique de couleur variable, du blanc au brun en passant par le jaune. Sa longueur varie entre 3 et 30 cm. Au microscope, la fibre présente une structure en canal irrégulier recouvert d'écaillés qui se chevauchent. À l'état brut, la laine est grasseuse, car elle est imprégnée de sécrétions animales, qui constituent jusqu'à 30 % de sa masse. En outre, la laine fraîchement tondue contient de nombreuses impuretés (débris végétaux, organiques et minéraux), qui doivent être éliminées avant l'utilisation de la fibre. Ces déchets peuvent représenter jusqu'à 70 % de sa masse. La laine est un produit animal essentiellement composé par des protéines, dont la principale est la kératine. On distingue plusieurs catégories de laines : mérinos, croisées, communes, d'agneau (lambswool). La laine d'agneau est constituée par la toison de la première tonte d'un mouton. Enfin, on peut également récupérer la toison d'animaux morts ou reconstituer la laine à partir de vieux tissus. La résistance de la laine est inférieure à celle de la plupart des autres fibres textiles. Par contre, son élasticité est très grande, et les tissus ne se froissent pratiquement pas. La laine présente une grande aptitude à la filature, car les fibres adhèrent bien les unes aux autres, de même qu'elle se mélange bien avec d'autres types de fibres. Son toucher est rêche et elle possède un remarquable pouvoir isolant.

### 2-2 La soie

La soie est constituée de filaments produits par des chenilles de papillons, tel le bombyx du mûrier. Pour protéger leur métamorphose, les chenilles tissent autour d'elles un cocon, à l'aide de leur glande séricigène (glande à soie). Ce cocon, une fois dévidé, donne le fil de soie. À l'œil nu, la fibre se compose d'un fil très long, entre 700 et 1 500 m, et très fin, à l'aspect brillant et doux. Comme la laine, la soie contient un mélange de protéines, notamment la fibroïne et la sérécine qui représentent respectivement 65 % et 25 % du poids total, mais aussi de l'eau et des sels minéraux. La fibroïne est la soie proprement dite, les autres éléments étant plus ou moins complètement éliminés au cours de la préparation de la fibre. Celle-ci a une résistance élevée, du même ordre de grandeur que celle d'un fil d'acier à diamètre égal. Son élasticité est très grande, ce qui donne des tissus presque infroissables. La soie est un bon isolant thermique.

### 2-3 Le fil d'araignée

Les araignées produisent un fil constitué lui aussi de protéines. Ses performances mécaniques intéressent nombre de chercheurs pour la confection de textile technique ou pour le renforcement de matériaux composites. C'est uniquement chez les araignées sédentaires que les pièges (les toiles) existent. Les types et la nature des soies sont divers et dépendent de type d'araignée. Les soies d'araignée ont différentes fonctions telles que : la capture de proies, la reproduction et la détection des vibrations. Les performances mécaniques des soies d'araignée combinent résistance en traction, compression et ténacité. Les meilleures performances mécaniques mesurées sur des soies naturelles sont un module d'Young initial de 60 GPa,

une contrainte à rupture de 2900 MPa et un allongement à rupture jusqu'à 200 %. Cet allongement à rupture en traction très important explique que, pour l'absorption d'énergie mécanique, les soies d'araignée sont inégalées dans le monde de fibres synthétiques ou naturelles.

#### 2-4- Avantages et inconvénients des fibres animales

Les fibres animales présentent des propriétés spécifiques importantes telles que les propriétés mécaniques (résistance et rigidité), la biodégradabilité, leur origine renouvelable, etc. Malgré ces avantages, les fibres animales ne sont pas beaucoup utilisées comme renfort dans les matériaux composites à cause de leur prix élevé et leur faible production.

### **3- Les fibres d'origine minérale**

Les renforts d'origine minérale sont principalement à base de silicium les plus courants étant l'amiante et le basalte.

#### *3-1 Le basalte*

Le basalte est une roche volcanique issue d'un magma refroidi rapidement au contact de l'eau ou de l'air. C'est le constituant principal de la couche supérieure de la croûte océanique. Le basalte a une structure microlithique composée essentiellement de plagioclases (50 %), de pyroxènes (25 à 40 %), d'olivine (10 à 25 %), et de 2 à 3 % de magnétite. Le basalte est issu de la fusion partielle, au niveau de la low velocity zone, d'une pyrolite hydratée.

Composition chimique	Masse (%) (basalte)	Masse (%) (verre)
SiO <sub>2</sub>	57.5	55
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.9	15
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.5	0.3
CaO	7.8	18
MgO	3.7	3
Na <sub>2</sub> O	2.5	0.8
TiO <sub>2</sub>	1.1	-
K <sub>2</sub> O	0.8	0.2
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	7
F	-	0.3

Composition chimique de basalte comparée à celle d'un verre

Les fibres de basalte présentent des propriétés surprenantes : elles résistent au feu, comme les fibres de silice, de céramique ou de carbone, tout en étant beaucoup moins chères (trois à quatre fois moins chères que les fibres de silice). De par ces propriétés, les premières applications visées sont la protection anti-feu notamment pour l'ameublement, la construction, les câbles, etc.

Ces fibres sont également utilisées comme renforts dans les matériaux composites. Les producteurs mettent en avant leur résistance aux agressions chimiques et leur résistance en traction qui est supérieure d'environ 20 % à celle de la fibre de verre. Les fibres de basalte possèdent également une bonne mouillabilité et n'absorbent pas l'humidité. Les renforts peuvent se présenter sous différentes formes : tissés et non-tissés, tissus 3D et triaxiaux, tresses et filaments coupés. Ces caractéristiques leur ont ouvert déjà des applications dans les sports, loisirs ou dans l'automobile comme constaté dans le dernier JEC show.

Les fibres de basalte présentent des avantages importants par rapport aux autres fibres tels que :

- une température d'utilisation élevée : 820 °C ;
- une bonne résistance au feu ;
- une contrainte et déformation rupture supérieures à celles de la fibre de verre ;
- un module d'YOUNG<sup>1</sup> élevé (89 GPa) ;
- une très bonne résistance aux produits chimiques : acides forts, bases, solvants ;
- une très bonne résistance à la corrosion, aux rayonnements UV ;
- matériau inerte, non toxique, non cancérigène ;
- un prix compétitif par rapport à la fibre de verre.

#### 4- Comparaison des propriétés mécaniques en traction de diverses fibres

Le tableau ci-dessous présente le prix et les caractéristiques mécaniques en traction de différentes fibres d'origines naturelles ainsi que celles des fibres de renfort couramment utilisée pour le renforcement de matériaux composites courants. Les valeurs présentées sont issues de la littérature et, compte tenu du caractère naturel de ces fibres, on remarque des dispersions. Ces valeurs sont discutables car on note des différences pour un même type de fibre, en fonction des paramètres tels que l'origine, la variété, les conditions de croissance et de récolte des fibres, associés aux traitements qu'elles ont subis. Les fibres végétales pourraient constituer une alternative intéressante aux fibres de verre en raison notamment de leur légèreté et de leur faible impact environnemental. Les fibres de lin ou de chanvre sont, avec leur densité proche de 1,5, plus légères d'environ 40 % que les fibres de verre. Elles présentent, d'autre part, des propriétés mécaniques pouvant atteindre celles du verre en termes de résistance à la traction et de résilience. Leur fabrication nécessite jusqu'à 80 % d'énergie en moins que les fibres de verre. Au niveau économique, les fibres végétales sont beaucoup moins chères que les fibres synthétiques.

Fibres	E (GPa)	A (%)	$\sigma$ (MPa)	Densité	Prix (euro/Kg)
<b>Fibres synthétiques</b>					
Verre E (Filament vierge)	72 - 73	4,6 - 4,8	3200 - 3400	2,54	1,5
Carbone(Toray T300)	230	1,5	3530	1,7 - 1,9	30
Aramide	124	2,9	3620	1,44	
<b>Fibres végétales</b>					
Lin	13 - 85	1 - 4	600 - 2000	1,54	0,56 - 0,61
Ramie	61,4 - 128	1,2 - 3,8	400 - 938	1,56	
Chanvre	35	1,6	389	1,07	0,60 - 1,30
Jute	26,5	1,5 - 1,8	393 - 773	1,44	0,27
Sisal	9 - 21	3 - 7	350 - 700	1,45	0,31
Noix de coco	4 - 6	15 - 40	131 - 175	1,15	0,23 - 0,80

<sup>1</sup> Le rapport entre la contrainte de traction appliquée à un matériau et la déformation qui en résulte (un allongement relatif) est constant, tant que cette déformation reste petite et que la limite d'élasticité du matériau n'est pas atteinte. Cette constante est le module de Young ou module d'élasticité longitudinal.

Coton	5,5 -12,6	7 - 8	287 - 597	1,5 - 1,6
<b>Fibres animales</b>				
Ver à soie Attacus atlas	5	18	200	
Ver à soie Bombyx mori	16	15	650	
Araignée Argiope	7	30	600	
E : module d'Young en traction A : allongement à rupture en traction σr : contrainte à rupture en traction				

Comparaison de prix et des propriétés mécaniques en traction de diverses fibres [9]

## 5- Les fournisseurs

Trente deux fournisseurs des différentes fibres sous forme des tissus multiaxiaux, non tissés, mats, feutres ont été recensés. Les fibres les plus représentées sont essentiellement le chanvre et le lin.

La plupart des fournisseurs identifiés sont situés à l'étranger, essentiellement en Allemagne et en Hollande. Ces deux pays semblent en effet être assez avancés dans l'utilisation potentielle de fibres naturelles dans les matériaux composites. Il s'agit toutefois essentiellement de fournisseurs de fibres désireux d'augmenter la valeur ajoutée de leur produit et qui découvrent un nouveau marché : la transformation des matériaux composites.

Très peu de fournisseurs de fibres peuvent fournir des tissus réalisés avec des fibres naturelles et d'une manière générale, il est très difficile de pouvoir obtenir des échantillons, les produits étant en cours de développement pour l'industrie du composite.

Le secteur principal de débouchés de ces fournisseurs semble être le secteur automobile qui fournit de multiples applications en produits non tissés et matériaux composites : lunettes arrière, revêtement de coffres, pièces sous capots, pièces de structure, pièces d'aspect, inserts, planches de bord. Ces pièces sont essentiellement réalisées avec une matrice thermoplastique.

En France, il existe très peu de fournisseurs de fibres naturelles. Nous avons toutefois pu identifier quelques entreprises dont AFT Plasturgie et Technilin.

AFT Plasturgie se positionne comme un acteur majeur pour la production de matériaux renforcés de chanvre à destination de la plasturgie. Cette société propose des composites utilisant une large gamme de polymères thermoplastiques, renforcés de fibres cellulosiques. Le procédé breveté utilisé permet d'obtenir un renforcement optimal des pièces techniques, tout en garantissant leur légèreté, leur facilité de recyclage et leur compétitivité économique.

AFT Plasturgie propose aussi des non-tissés aiguilletés composés de fibres naturelles ou thermoplastiques ou de mélanges. Ils sont généralement mis en forme par thermo compression.

La société Technilin, située au coeur de la production linière normande, fabrique des feutres non tissés de 100 à 3000 g / m<sup>2</sup> pour l'industrie des matériaux composites.

Elle propose des non tissés à base de fibres de lin mélangées ou non à des fibres thermoplastiques et destinés essentiellement à l'industrie automobile.

Les fibres végétales (chanvre et le lin) et le basalte présentent de nombreux avantages (faible coût, biodégradabilité, ressource renouvelable.) par rapport aux fibres de verre. Malgré ces avantages, les composites renforcés par ces fibres ne présentent pas des propriétés mécaniques importantes.

Ces types de fibres peuvent être utilisés pour diminuer le coût car leurs prix sont est moins élevés que celui de la résine, mais non pas pour améliorer les caractéristiques mécaniques du matériau composite.

Les fibres naturelles présentent de nombreux avantages par rapport aux fibres synthétiques (faible coût, ressource renouvelable, biodégradabilité, propriétés mécaniques spécifiques importantes (résistance et

rigidité)). En revanche, certains inconvénients peuvent être un frein au niveau du développement industriel tels que, la méthode de mise en oeuvre difficilement reproductible (non industrielle, des propriétés physiques non reproductibles, la quantité et la qualité des fibres dépendent de l'environnement et de l'humidité ainsi actuellement ces fibres sont en cours de développement. La plupart des fournisseurs de ces fibres sont situés à l'étranger, essentiellement en Allemagne et en Hollande. Ces deux pays semblent en effet être assez avancés dans l'utilisation potentielle de fibres naturelles dans les matériaux composites. En France, il existe très peu de fournisseurs de fibres naturelles. Nous avons toutefois pu identifier quelques entreprises dont AFT Plasturgie et Technilin.

Les composites renforcés par des fibres naturelles sont encore peu utilisés et en court de développement. Pour le développement à grande échelle, les efforts portent actuellement sur :

- la mise en place de filière de production et de distribution pour répondre aux besoins de l'industrie ;
- l'augmentation des connaissances sur ces matériaux (performances, gestion, maîtrise de la biodégradabilité, identifications de ces structures complexes...) sachant qu'il existe des fibres végétales ;
- la mise en place de filières de recyclage (de démontage et gestion des déchets) ;
- la mise en point de biopolymères ayant un coût compétitif ;
- le développement de technologies industrielles pour transformer ces fibres végétales (comme on sait le faire dans l'industrie textile, papetière et du bois)

## Références

Baley C. Fibres naturelles de renfort pour matériaux composites : Techniques de l'Ingénieur N 2 220 –(2005)

Pouteau C. Les fibres naturelles comme outil de différenciation, Pôle Européen de Plasturgie, présentation à GOPLAST, Angers juin 2007

CARMA : Centre d'animation régionale en matériaux avancés : Glossaire des matériaux composites renforcés de fibres d'origine renouvelable, décembre 2006

## Annexes 15 : Données complémentaires issues de la base Evalutil

## Tableaux 1 à 8 détaillant l'ensemble des données issus d'EVALUTIL présentées dans les graphiques 1 à 8

Tableau 1 : Concentrations observées dans le secteur de la production et de la transformation de laine de roche (*métrologies individuelles brutes*)

Classe d'exposition	Réf. Evalutil	Auteurs Année	Profession de l'opérateur	Activité de l'opérateur	Nb de prél.	Durée moy.	Moy.	Min.	Max.
> 1 f/ml	133.21 - 692	Esmen NA 1978	Ouvrier de production Ouvrier du nettoyage	Balayage du sol, nettoyage des collecteurs de poussière, des machines et nettoyage général	4		1,104	0,144	1,72
0,1 - 1 f/ml	133.19 - 690	Esmen NA 1978		Production B : taillage, découpage, sciage et finitions Production C : peinture, emballage, mise en carton, conduite des fours de séchage des moules	14		0,524	0,206	1,26
	119.4 - 528	Kauffer E 1993.	Monteurs en isolations, ouvriers de la transformation des FMA	Dépilleurs et approvisionneurs pour le placage de laine de roche sur des carreaux de plâtre	4		0,38	0,23	0,6
	133.19 - 690	Esmen NA 1978		Production B : taillage, découpage, sciage et finitions Production C : peinture, emballage, mise en carton, conduite des fours de séchage des moules	14		0,24	0,18	0,496
	133.18 - 689	Esmen NA 1978		Fibérisation : conduite des fours, mélange des lots, chargement et transfert Production A : curage, rembourrage, tendeurs de machine	7		0,235	0,075	0,65
	133.22 - 693	Esmen NA 1978	Ouvrier de la maintenance		11		0,196	0,041	0,65
	133.20 - 691	Esmen NA 1978	Magasinier ; Conducteur de chariot élévateur	Transport, conduite des chariots à fourche	5		0,154	0,101	0,276
	133.18 - 689	Esmen NA 1978		Fibérisation : conduite des fours, mélange des lots, chargement et transfert Production A : curage, rembourrage, tendeurs de machine	7		0,146	0,068	0,231
< 0,1 f/ml	133.23 - 694	Esmen NA 1978			2		0,077	0,053	0,101

Tableau 2 : Concentrations observées dans le secteur du BTP lors de l'utilisation de laine de roche (*métrologies individuelles brutes*)

Classe d'exposition	Réf. Evalutil	Auteurs Année	Profession de l'opérateur	Activité de l'opérateur	Nb de prél.	Durée moy. minute	Moy.	Min.	Max.
> 1 f/ml	125.9 - 595	Esmen NA 1982	Monteur en matériaux d'isolation et d'insonorisation Calorifugeur à la machine	Soufflage de laine de roche dans un grenier	23		6,7	0,62	23
	125.9 - 595	Esmen NA 1982	Monteur en matériaux d'isolation et d'insonorisation Calorifugeur à la machine	Soufflage de laine de roche dans un grenier	23		4,2	0,5	14,8
	119.5 - 529	Kauffer E 1993	Monteur en isolations Calorifugeur	Projection de laine de roche dans des combles	4		2,56	2,33	2,73
	125.10 - 596	Esmen NA 1982	Monteur en matériaux d'isolation et d'insonorisation Calorifugeur à la machine	Alimentation de la machine pour le soufflage de laine de roche dans un grenier	9		1,8	0,33	4,5
	125.10 - 596	Esmen NA 1982	Monteur en matériaux d'isolation et d'insonorisation Calorifugeur à la machine	Alimentation de la machine pour le soufflage de laine de roche dans un grenier	9		1,4	0,26	4,4
0,1 - 1 f/ml	125.8 - 594	Esmen NA 1982	Monteur en matériaux d'isolation et d'insonorisation Calorifugeur à la machine	Aide pour le soufflage de laine de roche dans un grenier	9		0,7	0,078	2,7
	125.8 - 594	Esmen NA 1982	Monteur en matériaux d'isolation et d'insonorisation Calorifugeur à la machine	Aide pour le soufflage de laine de roche dans un grenier	9		0,53	0,041	2,03
	137.1 - 719	LABORATOIRE (CRAM Ile-de-France) 01/08/2001	Floqueur	Projection d'un flochage	1	47	0,19		
	137.3 - 721	LABORATOIRE (CRAM Ile-de-France) 01/08/2001	Calorifugeur en bâtiment	Finitions du flochage (talochage - roulage)	1	16	0,16		
< 0,1 f/ml	137.2 - 720	LABORATOIRE (CRAM Ile-de-France) 01/08/2001	Floqueur	Projection d'un flochage	1	48	0,069		

Tableau 3 : Concentrations observées dans le secteur de la production et de la transformation de laine de verre (*métrologies individuelles brutes*)

Classe d'exposition	Réf. Evalutil	Auteurs Année	Profession de l'opérateur	Activité de l'opérateur	Nb de prél.	Durée moy. minute	Moy.	Min.	Max.
0,1 - 1 f/ml	119.9 - 533	Kauffer E 1993.	Opérateurs de la transformation des FMA	Déroutage, traçage, découpe, finition et soudure du matelas	4		0,68	0,22	1,49
	119.9 - 533	Kauffer E 1993.	Opérateurs de la transformation des FMA	Déroutage, traçage, découpe, finition et soudure du matelas	4		0,3		
	119.8 - 532	Kauffer E 1993.	Opérateurs de la transformation des FMA	Déroutage, traçage, découpe, finition et soudure du matelas	10		0,15	0,1	0,23
< 0,1 f/ml	105.23 - 324	Corn M 1974	Opérateurs de finition	Pulvérisation de résine sur de la nappe, pressage à chaud, ponçage à la main (à sec ou à l'humide), perçage et rabotage	5		0,08	0,04	0,11
	105.9 - 310	Corn M 1974	Opérateurs de production, conducteurs de four	Projection de fibres en vrac et de liant sur de la nappe, cuisson, découpe, enroulage et emballage	2		0,08	0,06	0,1
	105.4 - 305	Corn M 1974	Opérateurs de production	Moulage de "tuyaux" en laine de verre	4		0,07	0,04	0,09
	105.5 - 306	Corn M 1974	Opérateurs de production et conducteurs de four	Projection de liant, pressage et cuisson, puis découpe et enroulage des feutres	4		0,07	0,05	0,08
	105.1 - 302	Corn M 1974	Opérateurs sur chaîne de production, conducteurs de four	Fibérisation, production de nappes, découpe et conditionnement	4		0,07	0,01	0,14
	105.23 - 324	Corn M 1974	Opérateurs de finition	Pulvérisation de résine sur de la nappe, pressage à chaud, ponçage à la main (à sec ou à l'humide), perçage et rabotage	5		0,07	0,04	0,12
	105.7 - 308	Corn M 1974	Opérateurs de production	Moulage autour d'un mandrin, enveloppement dans du polyéthylène ou du vinyle, chauffage et conditionnement	3		0,06	0,05	0,07
	105.2 - 303	Corn M 1974	Conducteurs de broyeur et de machine de conditionnement	Broyage et conditionnement de flocons	2		0,06	0,04	0,07
	105.5 - 306	Corn M 1974	Opérateurs de production et conducteurs de four	Projection de liant, pressage et cuisson, puis découpe et enroulage des feutres	4		0,06	0,02	0,11
	105.8 - 309	Corn M 1974	Opérateurs de production	Fabrication de filtres : fibérisation, pulvérisation de liant, cuisson, découpe, fixation sur cadre en carton et conditionnement	1		0,06		
	105.4 - 305	Corn M 1974	Opérateurs de production	Moulage de "tuyaux" en laine de verre	4		0,05	0,02	0,09
	105.1 - 302	Corn M 1974	Opérateurs sur chaîne de production, conducteurs de four	Fibérisation, production de nappes, découpe et conditionnement	4		0,05	0,02	0,09
	105.7 - 308	Corn M 1974	Opérateurs de production	Moulage autour d'un mandrin, enveloppement dans du polyéthylène ou du vinyle, chauffage et	3		0,04		

				conditionnement					
	105.8 - 309	Corn M 1974	Opérateurs de production	Fabrication de filtres : fibérisation, pulvérisation de liant, cuisson, découpe, fixation sur cadre en carton et conditionnement	1		0,04		
	105.2 - 303	Corn M 1974	Conducteurs de broyeur et de machine de conditionnement	Broyage et conditionnement de flocons	2		0,02		

Tableau 4 : Concentrations observées dans le secteur de la production et de la transformation de laine de verre (*métrologies individuelles pondérées*)

Classe d'exposition	Réf. Evalutil	Auteurs Année	Profession de l'opérateur	Activité de l'opérateur	Nb de prél.	Durée moy. minute	Moy.	Min.	Max.
0,1 - 1 f/ml	141.4 - 741	Marchant GE			376	344	0,8	0,01	4,63
	118.5 - 518	Breyse PN. 2001	Monteurs en isolations	Pose d'isolants (nappes revêtues) sur des tuyaux	4	277	0,68	0,17	2,13
	141.10 - 747	Marchant GE			122	344	0,55	0,01	3,8
	141.1 - 738	Marchant GE			344	344	0,38	0,01	7,49
	141.13 - 750	Marchant GE			890	344	0,34	0,01	4,63
	141.11 - 748	Marchant GE			146	344	0,32	0,01	1,9
	141.1 - 738	Marchant GE			475	344	0,28	0,01	3,8
	141.1 - 738	Marchant GE			6	344	0,26	0,03	0,74
	141.1 - 738	Marchant GE			2473	344	0,26	0,01	7,49
	141.1 - 738	Marchant GE			1648	344	0,23	0,01	4,63
	141.3 - 740	Marchant GE			67	344	0,19	0,01	2,29
	141.12 - 749	Marchant GE			40	344	0,18	0,01	1,3
	141.13 - 750	Marchant GE			75	344	0,18	0,01	1,2
	118.5 - 518	Breyse PN 2001	Monteurs en isolations	Pose d'isolants (nappes revêtues) sur des tuyaux	4	277	0,14	0,06	0,22
	141.10 - 747	Marchant GE			37	344	0,14	0,01	0,65
	141.3 - 740	Marchant GE			28	344	0,12	0,01	1,3
	141.4 - 741	Marchant GE			53	344	0,11	0,01	0,49
	141.12 - 749	Marchant GE			289	344	0,11	0,01	2,3

	141.12 - 749	Marchant GE			62	344	0,11	0,01	2,29
	141.13 - 750	Marchant GE			10	344	0,11	0,01	0,66
	141.11 - 748	Marchant GE			74	344	0,1	0,01	0,64
< 0,1 f/ml	141.13 - 750	Marchant GE			91	344	0,08	0,01	0,62
	141.10 - 747	Marchant GE			11	344	0,07	0,01	0,23
	141.5 - 742	Marchant GE			339	344	0,07	0,01	2,3
	118.1 - 514	Breyse PN 2001	Opérateur de production	Fabrication de conduites à base de laine de verre (duct board)	14	325	0,05	0,01	0,39
	141.5 - 742	Marchant GE			114	344	0,05	0,01	0,7
	141.12 - 749	Marchant GE			29	344	0,05	0,01	0,25
	141.5 - 742	Marchant GE			472	344	0,05	0,01	0,97
	141.10 - 747	Marchant GE			66	344	0,05	0,01	0,22
	141.10 - 747	Marchant GE			19	344	0,05	0,01	0,1
	118.3 - 516	Breyse PN 2001	Ouvriers de production	Fabrication d'isolants pour l'intérieur des conduits (duct liner)	26	322	0,04	0,01	0,27
	118.4 - 517	Breyse PN 2001	Monteurs en isolations	Pose d'isolants pour l'intérieur des conduits (duct liner)	5	428	0,04	0,01	0,27
	118.6 - 519	Breyse PN 2001	Monteurs en isolations	Pose d'isolants sur des tuyaux et des cuves	23	361	0,04	0,01	0,21
	118.1 - 514	Breyse PN 2001	Opérateur de production	Fabrication de conduites à base de laine de verre (duct board)	12	295	0,04	0,01	0,31
	118.6 - 519	Breyse PN 2001	Monteurs en isolations	Pose d'isolants sur des tuyaux et des cuves	21	344	0,04	0,01	0,56
	141.4 - 741	Marchant GE			71	344	0,04	0,01	0,02
	141.12 - 749	Marchant GE			109	344	0,04	0,01	0,88
	118.2 - 515	Breyse PN 2001	Ouvriers de l'isolation	Montage de conduites à base de laine de verre (duct board)	4	277	0,03	0,02	0,05
	141.3 -	Marchant GE			12	344	0,03	0,01	0,13

	740									
	118.3 - 516	Breyse PN 2001	Ouvriers de production	Fabrication d'isolants pour l'intérieur des conduits (duct liner)	25	310	0,02	0,01	0,16	
	118.4 - 517	Breyse PN 2001	Monteurs en isolations	Pose d'isolants pour l'intérieur des conduits (duct liner)	5	428	0,02	0,01	0,16	
	141.3 - 740	Marchant GE			102	344	0,02	0,01	0,18	
	141.4 - 741	Marchant GE			14	344	0,02	0,01	0,09	
	118.2 - 515	Breyse PN 2001	Ouvriers de l'isolation	Montage de conduites à base de laine de verre (duct board)	4	277	0,01	0,01	0,01	
	141.13 - 750	Marchant GE			53	344	0,01	0,01	0,06	

Tableau 5 : Concentrations observées dans le secteur du BTP "Travaux d'isolation" lors de l'utilisation de laine de verre (métrologies individuelles brutes)

Classe d'exposition	Réf. Evalutil	Auteurs Année	Profession de l'opérateur	Activité de l'opérateur	Nb de prél.	Durée moy.	Moy.	Min.	Max.
> 1 f/ml	111.4 - 440	Fowler DP 1987	Monteurs en isolations	Usinage, découpe, pose de panneaux	1		8,08		
	111.4 - 440	Fowler DP 1987	Monteurs en isolations	Usinage, découpe, pose de panneaux	1		4,18		
	119.1 - 525	Kauffer E 1993	Monteurs en isolations	Pose de laine de verre en vrac dans des plafonds	1		3,71		
	111.3 - 439	Fowler DP 1987	Monteurs en isolations	Usinage, découpe, pose de panneaux	1		3,26		
	125.6 - 592	Esmen NA 1982	Monteur en matériaux d'isolation et d'insonorisation Calorifugeur à la machine	Soufflage de laine de verre dans un grenier	16		2,8	0,86	5,8
	125.6 - 592	Esmen NA 1982	Monteur en matériaux d'isolation et d'insonorisation Calorifugeur à la machine	Soufflage de laine de verre dans un grenier	16		1,8	0,67	4,8
	111.2 - 438	Fowler DP 1987	Monteurs en isolations	Découpe, montage et ajustage de nappes sur des canalisations	2		1,4		
	111.1 - 437	Fowler DP 1987	Monteurs en isolations	Découpe, montage et ajustage de nappes sur des canalisations	2		1,26		
	111.2 - 438	Fowler DP 1987	Monteurs en isolations	Découpe, montage et ajustage de nappes sur des canalisations	2		1,2		
0,1 - 1 f/ml	119.15 - 539	Kauffer E 1993	Monteurs en isolations	Ajustage d'un bourrelet dans des conteneurs	6		0,97	0,58	1,88
	111.5 - 441	Fowler DP 1987	Monteurs en isolations	Usinage, découpe et pose de coquilles sur des tuyaux	2		0,93		
	111.2 - 438	Fowler DP 1987	Monteurs en isolations	Découpe, montage, ajustage de nappes sur des canalisations	1		0,8		
	125.7 - 593	Esmen NA 1982	Monteur en matériaux d'isolation et d'insonorisation Calorifugeur à la machine	Alimentation de la machine pour le soufflage de laine de verre dans un grenier	18		0,78	0,059	1,475
	125.7 - 593	Esmen NA 1982	Monteur en matériaux d'isolation et d'insonorisation Calorifugeur à la machine	Alimentation de la machine pour le soufflage de laine de verre dans un grenier	18		0,75	0,083	1,5
	111.6 - 442	Fowler DP 1987	Monteurs en isolations	Usinage, découpe et pose de coquilles sur des tuyaux	1		0,57		
	111.3 - 439	Fowler DP 1987	Monteurs en isolations	Usinage, découpe, pose de panneaux	1		0,53		

111.1 - 437	Fowler DP 1987	Monteurs en isolations	Découpe, montage et ajustage de nappes sur des canalisations	2		0,51		
119.3 - 527	Kauffer E 1993	Monteurs en isolations	Pose de laine de verre en nappes dans des fenêtres et des plafonds	4		0,43	0,3	0,62
125.5 - 591	Esmen NA 1982	Monteur en matériaux d'isolation et d'insonorisation Calorifugeur à la machine	Aide au soufflage de laine de verre dans un grenier	6		0,37	0,088	0,95
125.5 - 591	Esmen NA 1982	Monteur en matériaux d'isolation et d'insonorisation Calorifugeur à la machine	Aide au soufflage de laine de verre dans un grenier	6		0,31	0,073	0,929
125.11 - 597	Esmen NA 1982	Monteur en matériaux d'isolation et d'insonorisation	Ajustage et pose de rouleaux de laine de verre dans des combles	31		0,14	0,013	0,45
125.11 - 597	Esmen NA 1982	Monteur en matériaux d'isolation et d'insonorisation	Ajustage et pose de rouleaux de laine de verre dans des combles	31		0,13	0,013	0,41
119.2 - 526	Kauffer E 1993	Monteurs en isolations	Pose de laine de verre en nappes dans des planchers	1		0,12		

Tableau 6 : Concentrations observées dans le secteur du BTP "Travaux d'isolation" lors de l'utilisation de laine de verre (métrologies individuelles pondérées)

Classe d'exposition	Réf. Evalutil	Auteurs Année	Profession de l'opérateur	Activité de l'opérateur	Nb de prél.	Durée moy.	Moy.	Min.	Max.
0,1 - 1 f/ml	141.17 - 754	Marchant GE			84	344	1,0	0,04	7,49
	141.6 - 743	Marchant GE			133	344	0,79	0,01	7,49
	118.5 - 518	Breyse PN 2001	Monteurs en isolations	Pose d'isolants (nappes revêtues) sur des tuyaux	4	277	0,68	0,17	2,13
	141.14 - 751	Marchant GE			232	344	0,45	0,01	7,49
	141.17 - 754	Marchant GE			49	344	0,44	0,01	2,18
	141.17 - 754	Marchant GE			13	344	0,39	0,09	1,13
	141.1 - 738	Marchant GE			344	344	0,38	0,01	7,49
	141.14 - 751	Marchant GE			63	344	0,36	0,01	2,18
	141.6 - 743	Marchant GE			19	344	0,3	0,04	1,13
	141.6 - 743	Marchant GE			11	344	0,28	0,02	1,23
	141.1 - 738	Marchant GE			475	344	0,28	0,01	3,8
	141.1 - 738	Marchant GE			6	344	0,26	0,03	0,74
	141.1 - 738	Marchant GE			2473	344	0,26	0,01	7,49
	118.7 - 520	Breyse PN 2001	Monteurs en isolations	Pose de faux plafonds	14	323	0,24	0,08	0,48
	141.1 - 738	Marchant GE			1648	344	0,23	0,01	4,63
	118.8 - 521	Breyse PN 2001	Monteurs en isolations	Pose de rouleaux sur les parois	3	443	0,19	0,16	0,26
	141.7 - 744	Marchant GE			62	344	0,17	0,01	0,46
	118.10 - 523	Breyse PN 2001	Monteurs en isolations	Installation en général	5	289	0,16	0,06	0,32

	118.11 - 524	Breyse PN 2001	Opérateurs de production	Fabrication de produits divers SAI	5	296	0,16	0,01	0,42
	118.11 - 524	Breyse PN 2001	Opérateurs de production	Fabrication de produits divers SAI	5	326	0,16	0,01	0,51
	141.14 - 751	Marchant GE			9	344	0,16	0,03	0,37
	141.7 - 744	Marchant GE			12	344	0,15	0,04	0,47
	118.5 - 518	Breyse PN 2001	Monteurs en isolations	Pose d'isolants (nappes revêtues) sur des tuyaux	4	277	0,14	0,06	0,22
	118.9 - 522	Breyse PN 2001	Monteurs en isolations	Soufflage de flocons	5	383	0,13	0,06	0,2
	118.7 - 520	Breyse PN 2001	Monteurs en isolations	Pose de faux plafonds	14	327	0,12	0,04	0,36
< 0,1 f/ml	141.17 - 754	Marchant GE			6	344	0,09	0,04	0,19
	141.6 - 743	Marchant GE			31	344	0,08	0,01	0,06
	118.9 - 522	Breyse PN 2001	Monteurs en isolations	Soufflage de flocons	5	414	0,05	0,02	0,11
	141.7 - 744	Marchant GE			28	344	0,05	0,01	0,19
	141.7 - 744	Marchant GE			25	344	0,05	0,01	0,16
	118.6 - 519	Breyse PN 2001	Monteurs en isolations	Pose d'isolants sur des tuyaux et des cuves	23	361	0,04	0,01	0,21
	141.14 - 751	Marchant GE			34	344	0,04	0,01	0,35
	118.6 - 519	Breyse PN 2001	Monteurs en isolations	Pose d'isolants sur des tuyaux et des cuves	21	344	0,04	0,01	0,56
	118.8 - 521	Breyse PN 2001	Monteurs en isolations	Pose de rouleaux sur les parois	3	271	0,04	0,04	0,05
	118.10 - 523	Breyse PN 2001	Monteurs en isolations	Installation en général	5	289	0,03	0,02	0,03
	141.6 - 743	Marchant GE			17	344	0,02	0,01	0,05

Tableau 7 : Concentrations observées dans le secteur de la production et de la transformation de laine de laitier (*métries individuelles brutes*)

Classe d'exposition	Réf. Evalutil	Auteurs Année	Profession de l'opérateur	Activité de l'opérateur	Nb de prél.	Durée moy.	Moy.	Min.	Max.
0,1 - 1 f/ml	133.7 - 678	Esmen NA 1978	Contrôleur qualité		2		0,192	0,077	0,307
	133.2 - 673	Esmen NA 1978		Curage, rembourrage, tendeurs de machine	19		0,165	0,017	0,63
	133.5 - 676	Esmen NA 1978	Ouvrier de production Ouvrier du nettoyage	Balayage du sol, nettoyage des collecteurs de poussière, des machines et nettoyage général	1		0,146		
	133.3 - 674	Esmen NA 1978		Peinture, emballage, mise en carton, conduite des fours de séchage des moules	6		0,122	0,051	0,188
< 0,1 f/ml	133.24 - 695	Esmen NA 1978		Conduite des fours, mélange des lots, chargement et transfert	2		0,092	0,006	0,195
	133.6 - 677	Esmen NA 1978	Ouvrier de la maintenance		6		0,08	0,044	0,134
	133.30 - 701	Esmen NA 1978	Contrôleur qualité		2		0,076	0,022	0,131
	133.1- 672	Esmen NA 1978		Conduite des fours, mélange des lots, chargement et transfert	9		0,071	0,033	0,12
	133.7 - 678	Esmen NA 1978	Contrôleur qualité		2		0,071	0,013	0,129
	133.4 - 675	Esmen NA 1978	Magasinier Conducteur de chariot élévateur	Transport, conduite des chariots à fourche	5		0,065	0,041	0,088
	133.11- 682	Esmen NA 1978		Taillage, découpage, sciage et finitions	1		0,056		
	133.28 - 699	Esmen NA 1978	Ouvrier de production Ouvrier du nettoyage	Balayage du sol, nettoyage des collecteurs de poussière, des machines et nettoyage général	5		0,056	0,008	0,145
	133.25 - 696	Esmen NA 1978		Curage, rembourrage, tendeurs de machine	17		0,049	0,007	0,153
	133.27 - 698	Esmen NA 1978	Magasinier Conducteur de chariot élévateur	Transport, conduite des chariots à fourche	7		0,049	0,005	0,169
	133.31 - 702	Esmen NA 1978			10		0,045	0,002	0,168
	133.2 - 673	Esmen NA 1978		Curage, rembourrage, tendeurs de machine	19		0,041	0,002	0,139
	133.1- 672	Esmen NA 1978		Conduite des fours, mélange des lots, chargement et transfert	9		0,04	0,0102	0,096
	133.26 -	Esmen NA		Peinture, emballage, mise en carton, conduite	6		0,038	0,017	0,064

	697	1978		des fours de séchage des moules					
	133.6 - 677	Esmen NA 1978	Ouvrier de la maintenance		6		0,038	0,013	0,12
	133.8 - 679	Esmen NA 1978	Opérateur sur chaudière Chefs d'expédition Personnel de la boutique du personnel etc.		7		0,033	0,013	0,059
	133.29 - 700	Esmen NA 1978	Ouvrier de la maintenance		9		0,032	0,008	0,074
	133.3 - 674	Esmen NA 1978		Peinture, emballage, mise en carton, conduite des fours de séchage des moules	6		0,031	0,002	0,076
	133.28 - 699	Esmen NA 1978	Ouvrier de production Ouvrier du nettoyage	Balayage du sol, nettoyage des collecteurs de poussière, des machines et nettoyage général	5		0,029	0,002	0,084
	133.10 - 681	Esmen NA 1978		Curage, rembourrage, tendeurs de machine	22		0,028	0,004	0,109
	133.13 - 684	Esmen NA 1978		Transport, conduite des chariots à fourche	8		0,026	0,008	0,046
	133.16 - 687	Esmen NA 1978	Contrôleur qualité		1		0,025		
	133.5 - 676	Esmen NA 1978	Ouvrier de production Ouvrier du nettoyage	Balayage du sol, nettoyage des collecteurs de poussière, des machines et nettoyage générale	1		0,025		
	133.26 - 697	Esmen NA 1978		Peinture, emballage, mise en carton, conduite des fours de séchage des moules	6		0,025	0,002	0,079
	133.25 - 696	Esmen NA 1978		Curage, rembourrage, tendeurs de machine	17		0,024	0,002	0,072
	133.4 - 675	Esmen NA 1978	Magasinier Conducteur de chariot élévateur	Transport, conduite des chariots à fourche	5		0,023	0,009	0,048
	133.12 - 683	Esmen NA 1978		Peinture, emballage, mise en carton, conduite des fours de séchage des moules	4		0,022	0,013	0,03
	133.14 - 685	Esmen NA 1978		Balayage du sol, nettoyage des collecteurs de poussière, des machines et nettoyage général	3		0,022	0,015	0,028
	133.17 - 688	Esmen NA 1978	Opérateur sur chaudière Chefs d'expédition Personnel de la boutique du personnel etc.		1		0,02	0,004	0,053
	133.16 - 687	Esmen NA 1978	Contrôleur qualité		1		0,019		
	133.15 - 686	Esmen NA 1978	Ouvrier de la maintenance		10		0,018	0,008	0,042
	133.14 -	Esmen NA		Balayage du sol, nettoyage des collecteurs de	3		0,016	0,007	0,026

	685	1978		poussière, des machines et nettoyage général					
	133.9 - 680	Esmen NA 1978		Conduite des fours, mélange des lots, chargement et transfert	5		0,015	0,09	0,024
	133.30 - 701	Esmen NA 1978	Contrôleur qualité		2		0,014	0,002	0,023
	133.27 - 698	Esmen NA 1978	Magasinier Conducteur de chariot élevateur	Transport, conduite des chariots à fourche	7		0,013	0,002	0,052
	133.9 - 680	Esmen NA 1978		Conduite des fours, mélange des lots, chargement et transfert	5		0,01	0,002	0,028
	133.8 - 679	Esmen NA 1978	Opérateur sur chaudière Chefs d'expédition Personnel de la boutique du personnel etc.		7		0,009	0,002	0,016
	133.31 - 702	Esmen NA 1978			10		0,009	0,002	0,02
	133.10 - 681	Esmen NA 1978		Curage, rembourrage, tendeurs de machine	22		0,008	0,002	0,021
	133.13 - 684	Esmen NA 1978		Transport, conduite des chariots à fourche	8		0,006	0,002	0,01
	133.15 - 686	Esmen NA 1978	Ouvrier de la maintenance		10		0,006	0,002	0,018
	133.12 - 683	Esmen NA 1978		Peinture, emballage, mise en carton, conduite des fours de séchage des moules	4		0,005	0,002	0,008
	133.17 - 688	Esmen NA 1978	Opérateur sur chaudière Chefs d'expédition Personnel de la boutique du personnel etc.		1		0,005	0,002	0,009
	133.11 - 682	Esmen NA 1978		Taillage, découpage, sciage et finitions	1		0,004		
	133.29 - 700	Esmen NA 1978	Ouvrier de la maintenance		9		0,004	0,005	0,017

Tableau 8 : Concentrations observées dans le secteur de la production et de la transformation de filaments continus de verre (*métrologies individuelles – brutes/pondérées non précisées*)

Classe d'exposition	Réf. Evalutil	Auteurs Année	Profession de l'opérateur	Activité de l'opérateur	Nb de prél.	Durée moy.	Moy.	Min.	Max.
< 0,1 f/ml	131.5 - 653	Kim JH 1999			4		0,039	0,018	0,181
	131.8 - 656	Kim JH 1999			11		0,02	0,003	0,045
	107.64 - 389	Cherrie J 1986	Ouvriers de maintenance	Electricité, mécanique, maintenance générale	15		0,017	0,007	0,032
	107.64 - 389	Cherrie J 1986	Ouvriers de maintenance	Electricité, mécanique, maintenance générale	15		0,014	0,006	0,023
	107.77 - 402	Cherrie J 1986	Magasiniers et conducteurs d'engins de manutention	Stockage, transport, manutention	7		0,012	0,008	0,02
	107.61 - 386	Cherrie J 1986	Conducteurs de mélangeur Chauffeurs de chaudière	Mélange des matières premières, des liants, fibérisation	6		0,011	0,006	0,021
	131.7 - 655	Kim JH 1999			7		0,01	0,004	0,026
	107.75 - 400	Cherrie J 1986	Magasiniers et conducteurs d'engins de manutention	Stockage, transport, manutention	2		0,009	0,008	0,01
	131.6 - 654	Kim JH 1999			16		0,009	0,001	0,026
	107.61 - 386	Cherrie J 1986	Conducteurs de mélangeur Chauffeurs de chaudière	Mélange des matières premières, des liants, fibérisation	6		0,009	0,005	0,017
	107.57 - 382	Cherrie J 1986	Ouvriers de maintenance	Electricité, mécanique, maintenance générale	16		0,008	0,002	0,034
	107.54 - 379	Cherrie J 1986	Conducteurs de mélangeur Chauffeurs de chaudière	Mélange des matières premières, des liants, fibérisation	12		0,006	0,001	0,019
	107.57 - 382	Cherrie J 1986	Ouvriers de maintenance	Electricité, mécanique, maintenance générale	16		0,005	0,001	0,022
	107.75 - 400	Cherrie J 1986	Magasiniers et conducteurs d'engins de manutention	Stockage, transport, manutention	2		0,005		
	107.58 - 383	Cherrie J 1986	Techniciens et/ou ingénieurs de recherche	Recherche et développement	10		0,004	0,002	0,006
	107.54 - 379	Cherrie J 1986	Conducteurs de mélangeur Chauffeurs de chaudière	Mélange des matières premières, des liants, fibérisation	12		0,004	0,001	0,015
	107.76 - 401	Cherrie J 1986	Magasiniers et conducteurs d'engins de manutention	Stockage, transport, manutention	11		0,002	0,001	0,004
	107.58 - 383	Cherrie J 1986	Techniciens et/ou ingénieurs de recherche	Recherche et développement	10		0,002	0,001	0,003

	107.77 - 402	Cherrie J 1986	Magasiniers et conducteurs d'engins de manutention	Stockage, transport, manutention	7		0,0019	0,01	0,032
	107.76 - 401	Cherrie J 1986	Magasiniers et conducteurs d'engins de manutention	Stockage, transport, manutention	11		0,001	0,001	0,003