

Présentation d'une matrice emplois-expositions aux poussières alvéolaires de silice cristalline libre

Quelques applications à un échantillon de population en France

Groupe de travail Matgéné

Département santé travail, Institut de veille sanitaire (DST, InVS), Saint-Maurice;
Unité mixte de recherche épidémiologique et de surveillance en transport, travail et environnement (Umrestte) Inrets/UCBL/InVS, Lyon.

Le programme Matgéné

Le Département santé travail de l'Institut de veille sanitaire a mis en place et coordonne un programme de réalisation de matrices emplois-expositions adaptées à la population générale en France : le programme Matgéné.

Une matrice emplois-expositions peut être sommairement décrite comme un tableau donnant la correspondance entre des intitulés d'emplois et des indices d'exposition à une ou plusieurs nuisances. Les expositions peuvent ensuite être attribuées automatiquement aux individus en fonction de leurs intitulés d'emploi.

Les applications potentielles de ces matrices sont nombreuses. Elles permettent notamment d'estimer la prévalence d'expositions professionnelles dans la population et d'étudier les variations de cette prévalence en fonction du sexe, de l'âge, de la région, de la profession, du secteur d'activité et de la période. Elles peuvent également être utilisées pour évaluer les expositions professionnelles de sujets dans des études épidémiologiques, ou comme aide au repérage des expositions pour la prévention ou la prise en charge médico-sociale.

Les matrices réalisées sont spécifiques d'une substance ou d'un groupe de substances. Afin de pouvoir être utilisée de façon la plus large possible, chaque matrice comprend l'ensemble des professions et branches d'activité considérées comme pouvant générer une exposition, avec les codes correspondants dans plusieurs nomenclatures. Les professions et branches d'activité considérées comme non exposées ou exposées au dessous d'un niveau minimum défini ne sont pas présentées dans la matrice.

SILICE : DÉFINITIONS ET CIRCONSTANCES D'EXPOSITION

Définitions

L'élément chimique silicium, Si, est un composant majeur de la croûte terrestre (environ 25 %). Il se trouve principalement sous forme :

- de **silice libre**, SiO_2 , qui est un solide de grande dureté, blanc ou incolore, dont le motif de base (la maille) est un tétraèdre de formule SiO_4 ;
- de **silicates** qui sont des minéraux également constitués de tétraèdres SiO_4 mais entre lesquels sont insérés divers oxydes métalliques (fer, magnésium...).

La silice et les silicates peuvent exister sous forme **cristalline** (la maille est répétée de façon périodique dans l'espace) ou **amorphe** (pas de structure spatiale fixe). Toutes ces formes peuvent être naturelles ou résulter d'un processus industriel.

Formes de silice	Exemples
Silice cristalline libre naturelle	Quartz, cristobalite, trydimite
Silice cristalline libre synthétique	Monocristaux de quartz
Silice amorphe libre naturelle	Terre de diatomées
Silice amorphe libre synthétique	Silice précipitée
Silicates cristallins naturels	Argile, kaolin
Silicates amorphes naturels	Opale

Circonstances d'exposition à la silice cristalline libre

La silice cristalline libre se retrouve dans de nombreux matériaux utilisés en milieu professionnel. La teneur en silice de chacun ne peut être établie précisément car elle varie pour une même famille. Les matériaux les plus couramment rencontrés en milieu professionnel peuvent cependant être classés en trois catégories suivant leur taux de silice.

Ce document et la matrice réalisée s'intéressent uniquement à la silice cristalline libre.

Proportion de silice cristalline libre	Exemples de matériaux concernés
1-10 %	Charbon et gangue de charbon Ciment
11-50 %	Ardoise, argile/kaolin Béton/mortier Minerais métalliques et gangue
≥51 %	Sable, granit, grès...

Principales professions concernées : mineurs et carriers, mouleurs et noyauteurs en sable, sableurs, maçons, tailleurs de pierres...

Principaux secteurs d'activité concernés : mines et carrières, fonderie, BTP, fabrication d'éléments en béton, travail de la pierre...

RÉGLEMENTATION

Classement de la silice cristalline libre

- **Circ :** groupe 1 (cancérogène pour l'homme).
- **UE (CMR) :** non classée.

Valeurs limites moyennes d'exposition professionnelle (VME)

- Quartz : 0,1 mg/m³.
- Trydimite et cristobalite : 0,05 mg/m³.
- En cas d'inhalation d'un mélange de poussières siliceuses et non siliceuses, un indice d'exposition (IE) propre à chaque situation de travail est calculé ; il doit être inférieur à 1. Le calcul de cet indice nécessite des prélèvements afin de connaître la composition des poussières pour la situation concernée :

$$IE = Cns/5 + Cq/0,1 + Cc/0,05 + Ct/0,05, \text{ où}$$

Cns = concentration en poussières alvéolaires non siliceuses de la situation de travail, en mg/m³ ;

Cq = concentration en quartz de la situation de travail, en mg/m³ ;

Cc = concentration en cristobalite de la situation de travail, en mg/m³ ;

Ct = concentration en trydimite de la situation de travail, en mg/m³ ;

Les chiffres figurant aux dénominateurs correspondent aux VME, en mg/m³.

Tableaux de maladies professionnelles concernées par l'exposition à la silice cristalline libre

N° du tableau	Libellé du tableau
RG n° 25	Affections consécutives à l'inhalation de poussières minérales renfermant de la silice cristalline (quartz, trydimite, cristobalite), des silicates cristallins (kaolin, talc), du graphite ou de la houille
RA n° 22	Pneumoconiose consécutive à l'inhalation de poussières minérales renfermant de la silice
RA n° 22 bis	Affections non pneumoconiotiques dues à l'inhalation de poussières minérales renfermant de la silice cristalline

MATRICE EMPLOIS-EXPOSITIONS AUX POUSSIÈRES ALVÉOLAIRES DE SILICE CRISTALLINE LIBRE

La matrice présente tous les emplois exposés, à une période donnée, aux poussières alvéolaires (c'est-à-dire ayant un diamètre inférieur à 5 µm) de silice cristalline libre, un emploi étant défini comme une profession dans un secteur d'activité.

Nomenclatures utilisées

Les codes et intitulés des professions et des activités sont issus des nomenclatures internationales (CITP 1968 et CITI 1975) et nationales (PCS 1994 et NAF 2000)¹.

Trois versions ont été élaborées :

- CITP 1968 croisée avec la NAF 2000 ;
- CITP 1968 croisée avec la CITI 1975 ;
- PCS 1994 croisée avec la NAF 2000.

Périodes prises en compte

La matrice retrace les expositions de 1947 à 2007. Les évaluations ont été réalisées pour différentes périodes qui dépendent des secteurs d'activité en raison de réglementations différentes :

- mines : trois périodes retenues :
 - de 1947 à 1960 (date moyenne de mise en application de l'instruction du 30/11/1956 qui préconise des techniques de prévention efficaces pour l'extraction),
 - de 1961 à 1980 (date moyenne de mise en application de la circulaire du 15/12/1975 sur la prévention médicale des pneumoconioses),
 - de 1981 à 2007 ;

¹ Classification internationale type des professions. Édition révisée ed. Genève: Bureau international du travail; 1968.
Index de la classification internationale type par industrie, de toutes les branches d'activité économique. New-York: Nations Unies; 1975.
Nomenclature des professions et catégories socioprofessionnelles PCS. 2^e ed: Insee; 1994.
Nomenclatures d'activités et de produits françaises NAF-CPF. Paris: Insee; 1999.

- carrières : trois périodes retenues :
 - de 1947 à 1960 (date moyenne de mise en application de l'instruction du 30/11/1956 qui préconise des techniques de prévention efficaces pour l'extraction),
 - de 1961 à 1995 (date moyenne de mise en application du décret du 02/09/1994 qui définit un empoussiérement de référence puis des classes d'empoussiérement),
 - de 1996 à 2007 ;
- milieu industriel et BTP : quatre périodes retenues :
 - de 1947 à 1970 (amélioration globale des conditions de travail en France dans le milieu industriel),
 - de 1971 à 1985 (date moyenne d'application de la circulaire du 21/03/1983 qui donne des VME indicatives),
 - de 1986 à 1998 (date moyenne de mise en application du décret du 10/04/1997 qui rend règlementaires les VME recommandées dans la circulaire du 21/03/1983),
 - de 1999 à 2007.

Indices d'exposition

Trois indices ont été utilisés pour évaluer l'exposition aux poussières alvéolaires de silice cristalline libre :

- **probabilité** : elle correspond à la proportion de travailleurs de l'emploi concerné exposés aux poussières alvéolaires de silice cristalline. Elle est exprimée en pourcentage. Lorsque la proportion d'exposés est inférieure à 1 %, l'emploi a été considéré comme non exposé ;
- **fréquence** : elle donne une indication du temps que l'opérateur passe à effectuer des tâches exposantes sur l'ensemble de son temps de travail. Elle est également exprimée en pourcentage. En dessous de 1 % de temps de travail exposant à la nuisance, l'emploi a été considéré comme non exposé ;
- **intensité** : elle évalue la concentration à laquelle est soumis l'opérateur en fonction des tâches effectuées et de son environnement de travail. Un travail bibliographique de recueil de données météorologiques a permis de définir quatre classes d'intensité d'exposition, ainsi qu'une intensité minimum d'exposition (0,02 mg/m³) correspondant à des niveaux retrouvés en environnement général :
 - classe 1 : de 0,02 à 0,1 mg/m³ ;
 - classe 2 : de 0,1 à 0,5 mg/m³ ;
 - classe 3 : de 0,5 à 1 mg/m³ ;
 - classe 4 : supérieur à 1 mg/m³.

Cette matrice est décrite de façon plus détaillée dans un document technique comportant également des éléments sur l'exposition professionnelle aux poussières alvéolaires de silice cristalline libre (voir encadré à la fin de ce document).

DESCRIPTION DE L'EXPOSITION À LA SILICE CRISTALLINE LIBRE DANS LA POPULATION EN FRANCE

La prévalence d'exposition (proportion d'exposés) à la silice a été estimée à partir d'un échantillon d'environ 10 000 sujets pour lesquels on dispose, pour chaque emploi exercé pendant la vie active, de la profession et de la branche d'activité. L'échantillon est représentatif de la population en France en 2007, en termes de sexe, d'âge, de catégorie socioprofessionnelle et de région. L'application de la matrice à cet échantillon permet d'estimer à la fois la proportion d'exposés en 2007 et la prévalence d'exposition sur la vie entière.

Les prévalences d'exposition ont été estimées en prenant en compte les probabilités d'exposition de chaque sujet. Elles peuvent être considérées comme fiables, même s'il ne s'agit pas de valeurs exactes. Les fluctuations d'échantillonnage sont prises en compte par la présentation de l'intervalle de confiance (IC), estimé par la méthode du bootstrap, mais il subsiste toutefois une imprécision difficile à estimer, liée à différentes approximations inhérentes à la nature même des matrices, aux divers calculs et à l'imprécision des nomenclatures utilisées. L'intensité et la fréquence d'exposition étant évaluées séparément, un niveau moyen d'exposition sur la journée de travail a été calculé pour chaque sujet, en multipliant l'intensité par la fréquence.

En 2007, 5,6 % [4,95-6,25] des hommes et 0,3 % [0,18-0,48] des femmes étaient exposés à la silice (tableau 1). Les niveaux d'exposition sont majoritairement inférieurs à la VME (0,1 mg/m³). Néanmoins 1,5 % des hommes sont exposés à un niveau compris entre 0,1 et 0,5 mg/m³. Aucun homme n'est exposé à un niveau supérieur à 0,5 mg/m³ et aucune femme n'est exposée à un niveau supérieur à la VME. En raison de la faible proportion d'exposés chez les femmes, les résultats plus détaillés ne seront présentés que pour les hommes.

| TABLEAU 1 |

Prévalence d'exposition à la silice en 2007 selon le niveau d'exposition

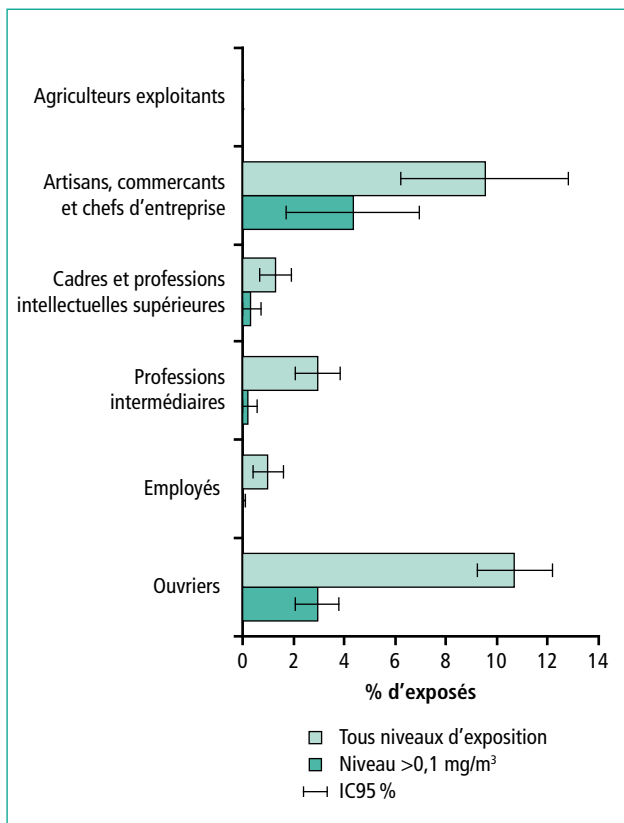
Niveau d'exposition ^a	Hommes		Femmes		Total	
	% d'exposés	IC95 %	% d'exposées	IC95 %	% d'exposés	IC95 %
<0,02 mg/m ³	2,58	[2,20-2,96]	0,31	[0,16-0,47]	1,50	[1,27-1,73]
0,02-0,1 mg/m ³	1,53	[1,19-1,87]	0,01	[0,00-0,03]	0,81	[0,63-0,99]
0,1-0,5 mg/m ³	1,49	[1,10-1,87]	-	-	0,78	[0,59-0,98]
>0,5 mg/m ³	-	-	-	-	-	-

^a Niveau moyen (intensité x fréquence) sur la journée de travail.

L'exposition à la silice concerne principalement les ouvriers et les artisans, chez lesquels sont observées les prévalences d'exposition les plus élevées (figure 1), et dans une moindre mesure les professions intermédiaires. Les expositions à un niveau supérieur à la VME ne touchent que les ouvriers et artisans.

| FIGURE 1 |

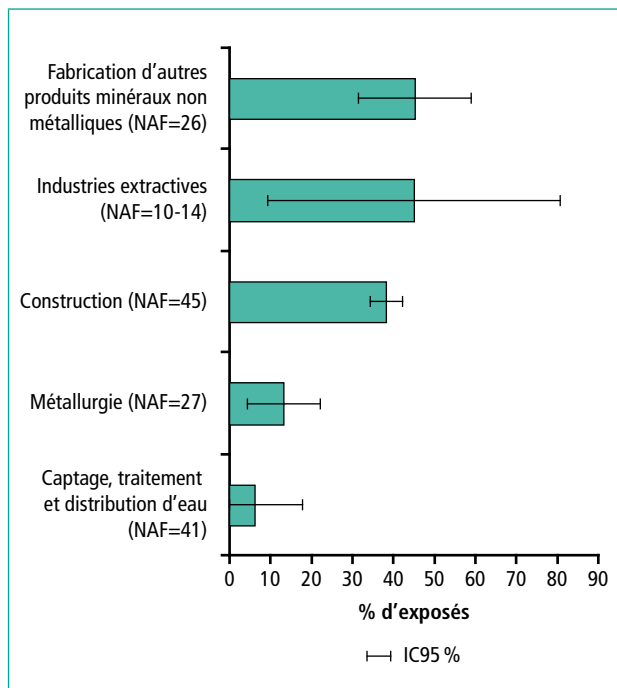
Prévalence d'exposition à la silice en 2007 chez les hommes selon la catégorie socioprofessionnelle



Les secteurs d'activité dans lesquels la prévalence d'exposition chez les hommes est supérieure à la moyenne (5,6%) sont présentés sur la figure 2. Une prévalence d'exposition élevée est observée dans le secteur de la construction. C'est aussi le secteur qui est à l'origine de la plus grande part des expositions : deux tiers des exposés travaillent dans la construction. En revanche, d'autres secteurs dans lesquels on observe une forte proportion d'exposés, comme la fabrication de produits minéraux non métalliques, les industries extractives, la métallurgie ou le captage et distribution d'eau contribuent peu à l'exposition globale en France : respectivement 8%, 1%, 2% et 0,3% des exposés travaillent dans ces secteurs.

| FIGURE 2 |

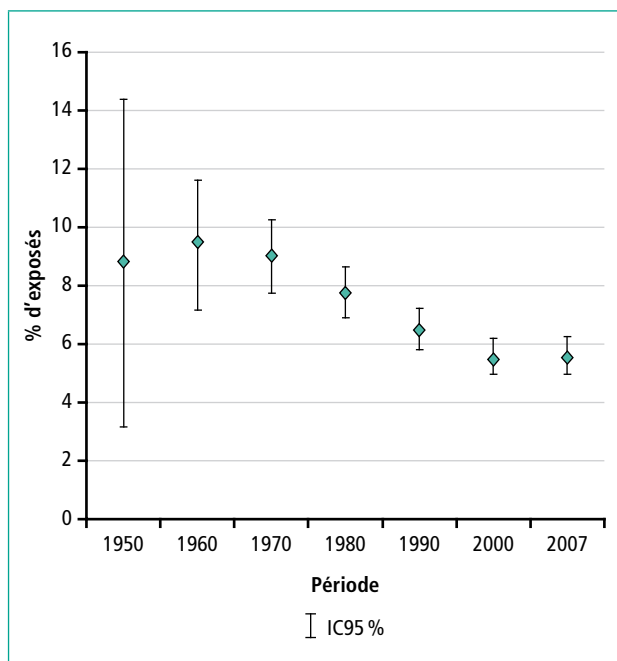
Prévalence d'exposition à la silice en 2007 chez les hommes selon le secteur d'activité



La prévalence d'exposition à la silice, relativement stable jusqu'en 1970, a diminué entre 1970 et 2000, et est restée constante depuis (figure 3).

| FIGURE 3 |

Prévalence d'exposition à la silice chez les hommes selon la période



La proportion de sujets exposés au moins une fois au cours de leur vie professionnelle à la silice est de 15,6 % [14,60-16,54] chez les hommes et de 0,75 % [0,54-0,96] chez les femmes. Le tableau 2 donne les prévalences d'exposition

sur la vie entière en fonction du niveau d'exposition le plus élevé atteint au cours de la vie professionnelle. Les expositions sont majoritairement des expositions inférieures à la VME.

| TABLEAU 2 |

Prévalence d'exposition vie entière à la silice en 2007, selon le niveau d'exposition maximum atteint au cours de la vie professionnelle

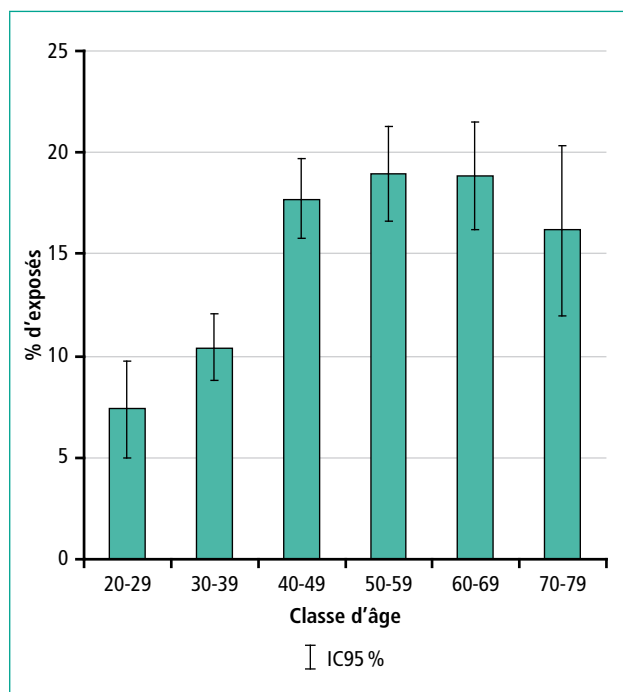
Niveau d'exposition ^a	Hommes		Femmes		Total	
	% d'exposés	IC95 %	% d'exposées	IC95 %	% d'exposés	IC95 %
<0,02 mg/m ³	4,84	[4,29-5,39]	0,40	[0,25-0,54]	2,51	[2,22-2,79]
0,02-0,1 mg/m ³	4,96	[4,36-5,57]	0,16	[0,06-0,25]	2,44	[2,16-2,73]
0,1-0,5 mg/m ³	5,50	[4,86-6,15]	0,18	[0,07-0,29]	2,71	[2,40-3,02]
0,5-1 mg/m ³	0,25	[0,11-0,38]	0,02	[0,00-0,06]	0,13	[0,06-0,19]
>1 mg/m ³	0,02	[0,00-0,06]	-	-	0,01	[0,00-0,03]

^a Niveau moyen (intensité x fréquence) sur la journée de travail.

La prévalence d'exposition vie entière augmente en fonction de l'âge (figure 4). En 2007, près de 20 % des hommes âgés de 50 à 59 ans ont été exposés à la silice au moins une fois dans leur vie professionnelle.

| FIGURE 4 |

Prévalence d'exposition vie entière à la silice en 2007 chez les hommes selon l'âge



REMARQUES GÉNÉRALES

La matrice emplois-expositions aux poussières alvéolaires de silice cristalline libre permet de documenter l'exposition professionnelle à cette nuisance en France de 1947 à 2007 par profession, secteur d'activité et période. Il apparaît que l'exposition à la silice concerne une grande variété de professions et de secteurs d'activité. Cette nuisance a été régulièrement réglementée (diminution des limites d'exposition, limitation de certains procédés) pour prévenir l'apparition de cas de silicose.

Le croisement de la matrice avec un échantillon représentatif de la population en France en 2007 permet d'estimer la prévalence d'exposition à la silice cristalline à cette date. De plus, compte-tenu que cet échantillon comporte toute l'histoire professionnelle des personnes, le croisement avec la matrice permet de faire des estimations sur l'exposition professionnelle vie entière. Les résultats obtenus donnent une prévalence en 2007 de 3,1 % dans la population active (5,6 % chez les hommes et 0,3 % chez les femmes) et une prévalence vie entière de 7,8 % (15,6 % chez les hommes et 0,7 % chez les femmes). Ces résultats peuvent être comparés avec d'autres estimations déjà publiées.

Dans l'enquête Sumer réalisée en 2003², la prévalence d'exposition à la silice cristalline à cette date a été estimée à 1,5 % (2,5 % chez les hommes et 0,2 % chez les femmes). L'écart observé avec nos résultats peut s'expliquer par les différences d'évaluation et de population utilisées : Sumer 2003 exclut les artisans, le secteur des mines, l'exposition à la silice issue du ciment alors que la méthode présentée ici les inclut.

² Les expositions aux risques professionnels – Les produits chimiques. Résultats Sumer 2003. Document d'études Dares, n° 118, juillet 2006.

Il n'existe pas d'enquête nationale permettant d'estimer la prévalence d'exposition vie entière. Une estimation de cette prévalence peut cependant être obtenue à partir de la proportion d'exposés chez les témoins d'études cas-témoins en population générale. Deux études comportant une évaluation de l'exposition professionnelle à la silice ont été réalisées en France. La première n'inclut que des hommes³, et permet d'estimer à 14 % la proportion d'exposés à la silice. Dans la seconde étude, les proportions d'exposés sont de 14 % chez les hommes et de 0,7 % chez les femmes⁴. D'autres études en Europe^{5,6} présentent des prévalences d'exposition vie entière du même ordre. Bien que les témoins des études analysées ne soient pas toujours représentatifs de la population des pays concernés, les estimations sont néanmoins très comparables à celles obtenues ici par l'application de la matrice.

Concernant les niveaux d'exposition, les données issues de la base Colchic de l'INRS⁷ montrent qu'au début des années 2000, environ 25 % des postes de travail exposés à la silice cristalline libre présentent des niveaux d'exposition supérieurs à la valeur limite d'exposition. Ces résultats sont similaires à ceux retrouvés dans notre étude (26,6 %) en 2007 considérant que la matrice n'introduit pas de différence d'exposition entre ces deux dates.

En conclusion, l'utilisation de cette matrice emplois-expositions avec cet échantillon d'histoires professionnelles apporte des nouveaux éléments sur la prévalence d'exposition à la silice cristalline libre en France en 2007, cohérents avec les résultats précédemment publiés suivant des méthodes différentes. Elle permet également de mettre en évidence une diminution globale des niveaux d'expositions depuis 1947, même si un quart des hommes exposés en 2007 restent exposés à un niveau supérieur à la VME.

³ Laforest L, Luce D, Goldberg P, Bégin D, Gérin M, Demers PA, Brugère J, Leclerc A. Laryngeal and hypopharyngeal cancers and occupational exposure to formaldehyde and various dusts: a case-control study in France. *Occup Environ Med.* 2000;57(11):767-73.

⁴ Diot E, Lesire V, Guilmot JL, Metzger MD, Pilore R, Rogier S, Stadler M, Diot P, Lemarie E, Lasfargues G. Systemic sclerosis and occupational risk factors: a case-control study. *Occup Environ Med.* 2002;59(8):545-9.

⁵ Cassidy A, 't Mannelte A, van Tongeren M, Field JK, Zaridze D, Szeszenia-Dabrowska N, Rudnai P, Lissowska J, Fabianova E, Mates D, Bencko V, Foretova L, Janout V, Fevotte J, Fletcher T, Brennan P, Boffetta P. Occupational exposure to crystalline silica and risk of lung cancer: a multicenter case-control study in Europe. *Epidemiology.* 2007;18(1):36-43.

⁶ Brüske-Hohlfeld I, Möhner M, Pohlabein H, Ahrens W, Bolm-Audorff U, Kreienbrock L, Kreuzer M, Jahn I, Wichmann HE, Jöckel KH. Occupational lung cancer risk for men in Germany: results from a pooled case-control study. *Am J Epidemiol.* 2000;151(4):384-95.

⁷ Vincent R, Jeandel B. Exposition professionnelle à la silice en France: informations fournies par la base de données Colchic. Poussières, fumées et brouillard sur les lieux de travail: risques et prévention. Actes. Toulouse, 11-13 juin 2001. 2001. p. 115-8.

Sont consultables sur le site de l'Institut de veille sanitaire (www.invs.sante.fr/surveillance/matgene/index.htm):

- la matrice emplois-expositions aux poussières alvéolaires de silice cristalline libre en version CITP 1968 × CITI 1975, PCS 1994 × NAF 2000 et CITP 1968 × NAF 2000 (chaque version étant triée par activité et par profession);
- le document technique correspondant;
- le rapport "Le programme Matgéné: matrices emplois-expositions en population générale, état d'avancement, septembre 2005". Institut de veille sanitaire, 2006.

Les fichiers informatiques pourront être mis à disposition sur demande; contacter Laurène Delabre: l.delabre@invs.sante.fr.

Groupe de travail Matgéné (ordre alphabétique): B. Dananché, L. Delabre, S. Ducamp, J. Févotte, L. Garras, M. Houot, D. Luce, C. Pilorget.

Mots clés: exposition professionnelle, poussière, silice, matrice emplois-expositions, réglementation

Citation suggérée:

Groupe de travail Matgéné. Présentation d'une matrice emplois-expositions aux poussières alvéolaires de silice cristalline libre – Quelques applications à un échantillon de population en France. Saint-Maurice (Fra): Institut de veille sanitaire, février 2010, 6 p. Disponible sur: www.invs.sante.fr