

Santé travail

Éléments techniques sur l'exposition professionnelle aux poussières alvéolaires de silice cristalline libre

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

Sommaire

1. Définitions	2
1.1 Les différentes formes de silice	2
1.2 La silice cristalline libre	2
2. Effets sur la santé	3
3. Secteurs professionnels concernés	3
3.1 Mines et carrières	4
3.2 Bâtiment et travaux publics	4
3.3 Verrerie	5
3.4 Cokerie	5
3.5 Métallurgie	5
3.6 Céramique et poterie	5
3.7 Travail de la pierre	5
3.8 Fabrication de ciment	5
3.9 Fabrication d'éléments préfabriqués en béton	5
3.10 Fabrication et utilisation de produits abrasifs	5
3.11 Fabrication de prothèses dentaires	6
3.12 Autres secteurs	6
4. Historique de la réglementation en milieu professionnel	7
5. Matrice emplois-expositions aux poussières alvéolaires de silice cristalline libre	9
5.1 Définition de la nuisance évaluée	9
5.2 Structure de la matrice	9
5.3 Spécificités de la matrice	12
Références bibliographiques	13

Éléments techniques sur l'exposition professionnelle aux poussières alvéolaires de silice cristalline libre

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

Document rédigé par Laurène Delabre¹, Corinne Pilorget^{1,2}, Loïc Garras¹, Joëlle Févotte^{1,2} et le groupe de travail Matgéné^{1,2}

¹ Département santé travail, Institut de veille sanitaire, Saint-Maurice

² Unité mixte de recherche épidémiologique et de surveillance en transport, travail et environnement Inrets/UCBL/InVS, Lyon

Ce guide a pour but de présenter la matrice emplois-expositions spécifique des poussières alvéolaires de silice cristalline libre développée par le Département santé travail (DST) de l'Institut de veille sanitaire (InVS) et l'Unité mixte de recherche épidémiologique et de surveillance en transport, travail, environnement (Umrestte), Inrets/UCBL/InVS et de donner des éléments techniques sur l'exposition professionnelle à cette nuisance en France. La matrice, dans trois versions de nomenclatures (CITP 1968 × Citi 1975, PCS 1994 × NAF 2000, CITP 1968 × NAF 2000), ainsi qu'un document synthétique de présentation, sont consultables sur le site Internet de l'InVS : www.invs.sante.fr/surveillance/matgene/index.htm.

Remerciements

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui nous ont fait part de leurs connaissances pour réaliser ce travail :

- les médecins du travail de l'APST-BTP d'Île-de-France, en particulier les docteurs Leuxe et Lebeau-pin ;
- Dr Baud, médecin du travail à l'APAS MT BTP du Rhône et médecin conseil du Comité régional Centre-Est de l'OPPBTB ;
- Mr Payen de l'OPPBTB ;
- Mrs Bachelot, Rebuffaud et Gardia de la Cram Normandie ;
- Dr Barbet, de l'AST-BTP de l'Ain ;
- Dr Berthelon ;
- Mme Anne Thuret.

1. Définitions

1.1 LES DIFFÉRENTES FORMES DE SILICE

L'élément chimique silicium (Si) est un composant majeur de la croûte terrestre (environ 25 %) [1,2].

Il existe principalement sous la forme :

- de **silice libre** (dioxyde de silicium, 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 contenant une combinaison de silice avec divers oxydes métalliques (fer, magnésium...);

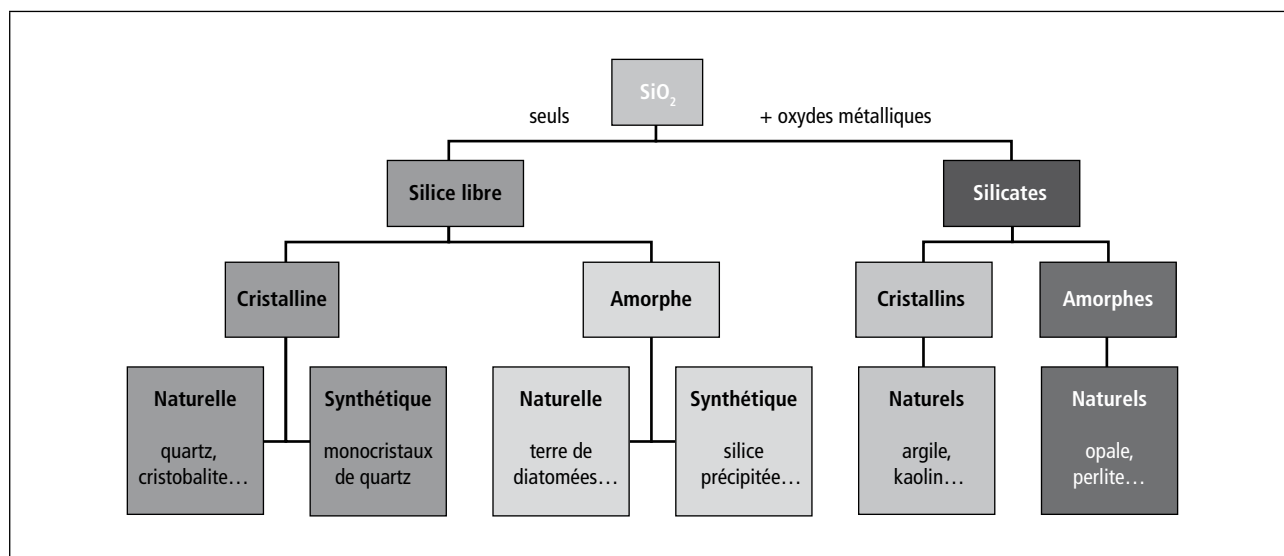
dans ce cas, les mailles sont également des tétraèdres SiO_4 mais entre lesquels sont insérés des oxydes métalliques.

La silice et les silicates peuvent exister sous forme **crystalline** ou **amorphe**. Ils se trouvent à l'état naturel ou résultent d'un processus industriel. Le terme cristallin désigne le fait que l'élément de base (ici le tétraèdre SiO_4) se répète de façon périodique dans les trois dimensions de l'espace. *A contrario*, dans une structure amorphe, les tétraèdres SiO_4 n'ont pas de structure spatiale fixe.

La figure 1 résume les différentes formes de silice existantes et donne des exemples pour chacune d'elles.

| FIGURE 1 |

Les différentes formes de silice



La matrice réalisée évaluant les expositions à la silice cristalline libre, ce guide sera consacré uniquement à cette forme de silice.

1.2 LA SILICE CRISTALLINE LIBRE

Il existe huit polymorphes de silice cristalline libre [2,3] : le quartz- α et - β , la tridymite- α et - β , la cristobalite- α et - β , la coésite et la stishovite. Ils ont la même composition chimique mais des structures spatiales différentes qui dépendent des conditions de température et de pression dans lesquelles ils se sont formés. Cependant, dans les études en milieu professionnel, les formes- α et - β ne sont jamais distinguées :

- le quartz (N° CAS : 14808-60-7) : il représente 12 % de la croûte terrestre. Il est le composant principal de roches ignées comme le granit et de roches sédimentaires comme le sable. Des monocristaux de quartz peuvent également être obtenus de façon industrielle par réaction chimique;

- la cristobalite (N° CAS : 14464-46-1) : ce minéral est beaucoup plus rare que le quartz dans la nature. Seules certaines roches volcaniques et certaines météorites sont susceptibles d'en contenir. Cependant la cristobalite se forme également lorsque le quartz est chauffé, notamment lors de la production et l'utilisation de matériaux réfractaires et lors de la cuisson/calcination de la silice amorphe (entre 800 et 1100 °C [4], mais la transformation peut commencer dès 450 °C [5,6]). Le pourcentage de cristobalite obtenu est très variable, mais peut monter jusqu'à 60 % en cas d'ajout de fondants. Il est donc possible d'être exposé à la cristobalite en milieu professionnel;

- la tridymite (N° CAS : 15468-32-3) : comme la cristobalite, ce minéral se trouve uniquement dans certaines roches volcaniques et météorites. Mais à la différence de la cristobalite, la tridymite apparaît plus rarement lors du chauffage du quartz ou des matériaux réfractaires (car au vu des températures d'utilisation, le quartz se transforme directement en cristobalite); elle est donc très rare en milieu professionnel;

- la coésite et la stishovite sont deux formes de silice cristalline qui ne peuvent s'observer que dans des conditions extrêmement particulières que l'on ne retrouve pas en milieu professionnel.

L'exposition professionnelle à la silice cristalline libre concerne essentiellement le quartz et la cristobalite. Il est très difficile de distinguer ces deux formes lors de l'évaluation des expositions. Par la suite, elles seront donc évaluées en même temps et regroupées sous le terme "silice cristalline libre".

2. Effets sur la santé

La silice cristalline libre pénètre dans le corps humain par voie respiratoire. Les poussières de diamètre supérieur à 5 µm se déposent dans la région nasopharyngée puis sont éliminées. Les poussières alvéolaires (diamètre inférieur à 5 µm) atteignent les zones plus profondes des poumons [3]:

- toxicité aiguë: les poussières de silice cristalline peuvent provoquer une irritation des yeux et du tractus respiratoire;

- toxicité chronique: trois sortes d'atteintes chroniques sont liées à l'exposition aux poussières de silice cristalline:
 - *atteinte pulmonaire: la silicose.* Il s'agit d'une pneumoconiose fibrosante secondaire à l'inhalation de particules de silice. Les manifestations sont tardives (jusqu'à 30 ans de latence) et sont fonction de la durée d'exposition et de la concentration de la silice cristalline dans l'air;
 - *cancérogène:* la silice cristalline inhalée sous forme de quartz ou de cristobalite de source professionnelle est classée cancérogène avéré pour l'homme (groupe 1) par le Centre international de recherche contre le cancer (Circ) depuis 1997 [7]. La silice n'est pas inscrite à ce jour dans le classement CMR européen (cancérogène, mutagène ou reprotoxique);
 - *atteintes auto-immunes:* il peut s'agir de glomérulonéphrite extra capillaire proliférative ou non chez les personnes dont l'exposition à la silice a été longue et importante, du syndrome de Caplan-Colinet, du syndrome d'Erasmus... Certaines de ces affections peuvent être observées avant le développement d'une silicose et peuvent régresser dans certains cas à l'arrêt de l'exposition.

Trois tableaux de maladies professionnelles concernent des pathologies liées à cette exposition (tableau 1).

| TABLEAU 1 |

Tableaux de maladies professionnelles liées à l'exposition à la silice et exemples de pathologies associées

N° du tableau	Libellé du tableau	Pathologies associées
RG N° 25	Affections consécutives à l'inhalation de poussières minérales renfermant de la silice cristalline (quartz, cristobalite, tridymite), des silicates cristallins (kaolin, talc), du graphite ou de la houille	Silicose aiguë ou chronique (avec des complications possibles comme des cancers broncho-pulmonaires); sclérodémie systémique progressive; kaolinose; talcose; graphitose; affections dues à l'inhalation de poussières de houille (pneumoconioses, fibroses)
RA N° 22	Pneumoconioses consécutives à l'inhalation de poussières minérales renfermant de la silice cristalline	Silicose, schistose, talcose, kaolinose et autres pneumoconioses provoquées par ces poussières
RA N° 22 bis	Affections non pneumoconiotiques dues à l'inhalation de poussières minérales renfermant de la silice cristalline	Sclérodémie systémique progressive

3. Secteurs professionnels concernés

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 (tableau 2).

| TABLEAU 2 |

Teneur en silice des matériaux les plus couramment rencontrés en milieu professionnel

Classement	Exemple de matériaux concernés
Faiblement siliceux (1-10%)	- charbon et gangue de charbon - ciment
Moyennement siliceux (11-50%)	- ardoise - argile/kaolin - béton/mortier - minéral métallique et gangue
Fortement siliceux (≥51%)	- sable - grès - quartz - granit

Les sous-chapitres suivants détaillent les secteurs d'activités (basés sur la nomenclature des activités française, NAF, édition 1999) concernés par l'exposition aux poussières de silice cristalline libre, en présentant la source de l'exposition.

3.1 MINES ET CARRIÈRES

Une mine se définit comme l'exploitation d'une matière minérale rare ou à grande valeur. Cela comprend :

- des combustibles fossiles (charbon, lignite, hydrocarbures) ;
- des métaux, des éléments radioactifs ;
- du soufre, des sels de potassium, du gaz carbonique, etc.

Toutes les autres exploitations, qui concernent des matières minérales abondantes (ocre, sable, argile, pierre de taille...) sont appelées carrières [8,9]. La différence entre une mine et une carrière dépend donc du matériau extrait, et non du fait que l'exploitation soit souterraine ou à ciel ouvert (il existe des carrières souterraines et des mines à ciel ouvert).

Dans tous les cas, l'exposition provient de la silice cristalline libre contenue dans les matériaux extraits ou présents dans le terrain d'exploitation du gisement et qui est libérée lors d'opérations mécaniques (ou de manipulation en grande quantité) sur ces matériaux.

Les différents types de mines peuvent être classés en catégories d'expositions homogènes :

- mines de charbon : l'exposition provient du charbon lui-même et du terrain dont il est extrait, les deux étant très faiblement siliceux (<10 % de silice) ;
- mines de minerais métalliques : l'exposition provient du minerai métallique et du terrain dont il est extrait. Ils peuvent contenir entre 10 et 50 % de silice.

Pour les carrières, les particularités de chaque secteur sont indiquées ci-dessous :

- pierres de construction : ce secteur comporte l'extraction de pierres fortement siliceuses (ex : granit, grès, pierres meulières) mais également de pierres non siliceuses (ex : pierres calcaires, marbre...). Le niveau d'exposition à la silice varie donc beaucoup d'un chantier à un autre. De plus, les ouvriers ne restent pas tous sur un même chantier, l'entreprise pouvant avoir plusieurs chantiers de natures différentes ;
- production de sables et granulats : les sables et granulats sont des matériaux fortement siliceux (>50 % de silice). L'extraction des granulats se fait dans de la roche dure (utilisation d'explosifs, marteaux-piqueurs...). Celle des sables peut se faire dans de la roche dure ou être d'origine alluvionnaire ; dans ce dernier cas, l'extraction se fait en milieu humide, à l'aide d'une drague. D'après la Drire Pays de la Loire [8], les sables alluvionnaires représenteraient environ 50 % des sables et granulats extraits (cette proportion tend à baisser avec les années mais est compensée par l'extraction de sable en haute mer). Cependant, même si ce type d'extraction est moins générateur de poussières, les conditions climatiques (vent, soleil), le stockage et le traitement de ces matériaux font que des poussières sont quand même émises ;
- extraction d'ardoise, d'argile et de kaolin : les matériaux extraits ont des teneurs en silice comprises entre 10 et 50 %.

Selon le site d'extraction, les matériaux peuvent se présenter sous forme de roches dures nécessitant l'utilisation d'explosifs et d'engins d'abattage ou sous forme humide pour laquelle l'extraction se fait avec des engins de type drague ;

- extraction de minéraux pour l'industrie chimique et d'engrais naturels : dans ce secteur, seule l'extraction de terres colorantes est concernée par l'exposition à la silice. Ces matériaux, généralement fortement siliceux, ne représentent qu'environ 10 % des matériaux extraits dans les carrières relevant de ce secteur ;
- activités extractives non classées par ailleurs : dans ce secteur, seules les extractions de farines siliceuses (terres de diatomées), feldspath, pierres gemmes, mica, quartz, sont concernées par l'exposition à la silice cristalline libre. On peut estimer que ces matériaux représentent environ 50 % des matériaux relevant de ce secteur.

Certains secteurs de l'extraction ne sont pas concernés par l'exposition à la silice :

- extraction et agglomération de la tourbe, extraction de calcaire industriel, de gypse, de craie, ainsi que la production de sel car les matières extraites ne sont pas siliceuses ;
- extraction d'hydrocarbures et services annexes à l'extraction d'hydrocarbures, du fait du procédé spécial d'extraction qui n'entraîne pas d'exposition à la silice.

3.2 BÂTIMENT ET TRAVAUX PUBLICS

L'exposition à la silice cristalline provient de plusieurs sources :

- le béton (et éléments préfabriqués en béton) : lors de sa fabrication (mélange de sable, granulats et ciment) et surtout lors d'opérations mécaniques sur le béton sec (ponçage, perçage...);
- les matériaux à base de céramique lors d'opérations mécaniques sur ces matériaux (ex : découpe de carrelage) ;
- les pierres de construction siliceuses (ex : granit) : là aussi, l'exposition a lieu lors d'opérations mécaniques sur ces matériaux (ex : découpe de bordures de trottoirs) ;
- les terrains siliceux, lors de grands chantiers d'aménagement de sites (travaux publics), principalement le creusement de tunnels.

Les expositions sont souvent plus élevées sur les chantiers de rénovation que sur les chantiers de constructions neuves (plus de démolition, perçage de murs...).

Tjoe *et al.* [10] ont mis en évidence l'hétérogénéité des situations d'exposition à la silice cristalline dans le secteur du bâtiment et travaux publics (BTP) du fait des spécificités propres à chaque chantier (matériaux, tâches de travail, outils) et de la mobilité des travailleurs. Beaucoup de professions peuvent avoir des tâches différentes d'un chantier à un autre. Il existe des tâches peu exposantes mais qui prennent beaucoup de temps, et d'autres très exposantes mais de courte durée et qui ne sont pas systématiquement réalisées par toutes les personnes de cette profession.

Malgré des améliorations (béton prêt à l'emploi, béton nécessitant moins de finitions...) qui ont fait diminuer la fréquence d'exposition au cours du temps, beaucoup de tâches se font encore à sec et entraînent une forte exposition.

3.3 VERRERIE

La fabrication de verre, quelles que soient ses caractéristiques techniques, fait intervenir, en début de procédé, la manipulation et la fusion de très grandes quantités de sable.

Seules certaines professions bien spécifiques de la fabrication (préparation des matières premières, cuisson) et du travail du verre ainsi que les professions de maintenance et d'encadrement peuvent être exposées.

3.4 COKERIE

Le coke est obtenu par cuisson du charbon. Le charbon est faiblement siliceux mais présent en grande quantité.

Des expositions peuvent avoir lieu lors du stockage, de la manipulation du charbon, autour des fours. Elles peuvent également concerner les professions de maintenance.

3.5 MÉTALLURGIE

Les secteurs concernés par l'exposition à la silice sont ceux de la fonderie de première fusion pour lesquels il y a préparation du métal à partir du minerai (exposition au minerai, aux fondants et aux produits réfractaires des fours), puis lors de l'utilisation de moules ou de noyaux en sable : mouleurs, démouleurs, décocheurs, ébarbeurs.

La production d'aluminium n'entraîne pas d'exposition à la silice car l'obtention de l'aluminium se fait à partir de la bauxite (minerai non siliceux) par procédé chimique. Par contre, la fonderie d'aluminium peut être exposante car, bien que les moules utilisés soient principalement en métal, certains peuvent être en sable.

Ensuite, le meulage de pièces coulées dans un moule en sable peut entraîner une exposition à la silice cristalline libre ; celle-ci est liée aux poussières de sable restant sur la pièce dégagées lors du décochage et du nettoyage de la pièce, mais également, dans une moindre mesure, aux abrasifs utilisés (de moins en moins siliceux au cours du temps).

3.6 CÉRAMIQUE ET POTERIE

Quels que soient les produits fabriqués (tuiles, briques, appareils sanitaires...), les matières premières et les procédés de base sont identiques : les matières premières (principalement l'argile et le kaolin), siliceuses, sont broyées, mélangées puis humidifiées pour être moulées et cuites ; les pièces obtenues peuvent ensuite subir différentes étapes de finition, dont l'émaillage. Toutes les étapes de fabrication sont concernées par l'exposition à la silice, ainsi que les ouvriers travaillant sur les postes annexes à la production mais présents dans l'atelier de fabrication (entretien des fours, maintenance...).

3.7 TRAVAIL DE LA PIERRE

La nature de la pierre travaillée peut varier (très siliceuse comme le granit ou non siliceuse comme le calcaire). Ce secteur peut

également concerner le travail sur des pierres reconstituées et inclut la production d'ouvrages funéraires. Lors d'un travail sur du matériau siliceux, la silice est présente à toutes les étapes et concerne également toutes les personnes amenées à travailler dans l'atelier de production.

3.8 FABRICATION DE CIMENT

Les matières premières utilisées pour la fabrication du ciment sont à 80 % du calcaire (non siliceux), et à 20 % de l'argile et du kaolin (moyennement siliceux). Après homogénéisation et broyage, ces matières premières sont cuites. À la sortie du four, on obtient du clinker puis du ciment, après broyage et ajout de constituants secondaires. Le clinker et le ciment obtenus sont faiblement siliceux. L'exposition à la silice cristalline concerne donc toutes les étapes de fabrication mais à des niveaux différents.

Certaines cimenteries peuvent posséder leurs propres sites d'extraction (carières de calcaire et d'argile/kaolin).

3.9 FABRICATION D'ÉLÉMENTS PRÉFABRIQUÉS EN BÉTON

Comme pour le secteur de la céramique, le procédé est là aussi le même quel que soit le produit fini : le béton (mélange de ciment, sable et granulats) est préparé puis les pièces sont moulées et séchées ; viennent ensuite différentes étapes de finition (démoulage, meulage, ponçage...). L'exposition à la silice cristalline concerne toutes les étapes de fabrication.

Comme dans le cas des cimenteries, certaines usines peuvent posséder leurs propres sites d'extraction de sables et granulats.

3.10 FABRICATION ET UTILISATION DE PRODUITS ABRASIFS

Le sable est l'abrasif qui a été le plus utilisé car il est peu onéreux. Son grain peut être plus ou moins fin suivant l'utilisation finale. Sa préparation (manipulation de grandes quantités, broyage) et son utilisation "à sec" entraînent des expositions à la silice cristalline libre. La limitation du taux de silice dans les abrasifs utilisés "à sec" avec un jet (voir décret du 6 juin 1969 dans le chapitre 4. Historique de la réglementation) a conduit à les remplacer par des matériaux moins ou non siliceux comme le corindon (oxyde d'aluminium) ou la grenaille.

Les meules meunières (ou meules de grès), quant à elles, ne sont plus utilisées depuis la fin des années 1940.

Les meules céramiques peuvent entraîner une exposition à la silice cristalline lors de leur fabrication (mélange des matières premières, travail du cru).

Le carbure de silicium, ou carborundum, est utilisé pour l'abrasion des métaux ou de la pierre. Sa fabrication, à partir de sable, entraîne une exposition à la silice uniquement lors de la préparation des matières premières ; son utilisation n'est pas exposante.

3.11 FABRICATION DE PROTHÈSES DENTAIRES

L'exposition à la silice peut avoir lieu à plusieurs étapes de la fabrication de prothèses en métal, en porcelaine, en céramique ou en résines : moulage/démoulage et surtout lors des étapes de sablage et de finition.

En France, le secteur de la prothèse dentaire concerne essentiellement des petites structures.

3.12 AUTRES SECTEURS

- La silice cristalline peut intervenir comme charge dans différents secteurs (fabrication de plastiques, caoutchoucs, pneumatiques, cartons, détergents, produits explosifs...). Dans ces secteurs, seules des professions bien spécifiques peuvent être concernées (par exemple : mise en œuvre des matières premières, emballage de détergents en poudre...).
- Le secteur de la fabrication de laines de verre/roche ou de silice amorphe calcinée : une exposition à la silice cristalline libre est possible dans les étapes de préparation des matières premières.

Le tableau 3 synthétise les principaux secteurs professionnels concernés par l'exposition à la silice cristalline libre, en indiquant la source d'exposition et des exemples de tâches exposantes.

| TABLEAU 3 |

Principaux secteurs concernés par l'exposition à la silice cristalline et exemples de tâches exposantes

Secteur d'activité	Source de silice	Exemples de tâches exposantes
Mines (charbon ou minerais métalliques)	Terrain d'extraction (teneur variable en silice) Charbon Minerai métallique	- extraction et opérations mécaniques sur le minerai ; - activités secondaires (chargement et déchargement des camions...).
Carrières de roches siliceuses (granit, sables, ardoise...)	Matériau extrait (teneur en silice variable selon la nature du matériau)	- opérations mécaniques sur le matériau extrait : extraction, traitement, taille... ; - activités secondaires (chargement et déchargement des camions...); - exposition d'ambiance.
Taille de pierres siliceuses (sculpture...)	Pierres (plus ou moins siliceuses)	- taille, polissage.
Production de sables industriels	Sable	- préparation des matières premières ; - ensachage.
BTP	Sable Béton Pierre, brique, parpaing	- décapage au jet de sable ; - fabrication de béton et macadam ; - opérations mécaniques sur du béton ; - taille de matériaux de construction.
Cimenterie	Matières premières (dont argile) Ciment	- préparation matières premières ; - chargement/emballage ciment.
Fabrication d'éléments préfabriqués en béton	Sable, ciment	- préparation des matières premières ; - finition des éléments.
Fabrication de porcelaine, faïence, céramique, émaux, produits réfractaires (dont laines minérales et FCR)	Matières premières (argile, kaolin, feldspath)	- préparation des matières premières ; - cuisson ; - finition.
Verrerie	Sable	- préparation des matières premières ; - polissage et gravure sur verre au sable.
Fabrication et utilisation de produits abrasifs siliceux	Matières premières	- préparation et broyage des matières premières.
Démolition, réparation et fabrication de fours industriels en briques réfractaires	Briques réfractaires	- démolition de parois de four ; - découpe des briques neuves.
Métallurgie : hauts fourneaux, fonderies	Minerai, sable	- fusion du minerai ; - fabrication de moules, démoulage et nettoyage des pièces moulées.
Fabrication de bijoux	Matériaux réfractaires, sable	- fabrication de moules, démoulage et nettoyage des pièces moulées.
Fabrication de prothèses dentaires	Matériaux réfractaires, sable, ponce	- fabrication de moules, démoulage et nettoyage des pièces moulées, travaux de finition.

4. Historique de la réglementation en milieu professionnel

Ce chapitre détaille par ordre chronologique les différentes réglementations qui ont eu des conséquences importantes sur le niveau d'empoussièrément des lieux de travail. Les secteurs d'activité concernés par ces réglementations ont été précisés entre crochets.

➤ *Décret 50-1289 du 16 octobre 1950 concernant les mesures particulières de prévention médicale de la silicose professionnelle (tous secteurs)*

Ce décret stipule que tout travailleur effectuant des travaux exposant à la poussière de silice libre ou travaillant de façon habituelle dans des locaux ou chantiers où s'effectuent de tels travaux doit avoir, tous les ans, une attestation médicale le déclarant apte à ce genre de travaux. Pour les travaux les plus exposants, cette attestation devra être renouvelée tous les six mois : perforation de roches ayant une teneur élevée en silice libre, dans le percement des tunnels et des galeries (front d'attaque ou d'aménagement, enlèvement des déblais), tous travaux de sablage exposant aux dégagements de silice libre.

La liste des travaux exposants concernés par cette réglementation est définie dans l'arrêté du 17 janvier 1955.

➤ *Arrêté du 17 janvier 1955 fixant la liste des travaux industriels assujettis au décret n° 50-1289 du 16 octobre 1950 concernant les mesures particulières de prévention médicale de la silicose professionnelle (tous secteurs)*

Cet arrêté fixe la liste des travaux industriels entraînant l'assujettissement des établissements où ils sont exécutés au décret du 16 octobre 1950 :

- taille, sciage, polissage de roches, de briques ou produits réfractaires, de pierres artificielles ou d'agglomérés renfermant de la silice libre ;
- travaux de construction, de réfection et de démolition de fours en briques réfractaires renfermant de la silice libre ;
- émaillage des métaux avec des produits renfermant de la silice libre (émaux) ;
- travaux de forage, abattage, extraction de roches renfermant de la silice libre ;
- concassage, broyage, tamisage et manipulations effectuées à sec, de minerais, roches ou tout autre produit renfermant de la silice libre ;
- fabrication et manutention de poudres à nettoyer ou d'autres produits renfermant de la silice libre ;
- travaux exposant aux poussières de silice libre dans la fabrication de porcelaine, de la faïence et autres produits céramiques ainsi que des autres produits réfractaires ;
- travaux de fonderie exposant aux poussières de silice libre (décochage, ébarbage, dessablage) ;
- travaux de meulage, polissage, aiguisage, ponçage effectués à sec au moyen d'abrasifs renfermant de la silice libre ;
- travaux au jet de sable exposant aux poussières de silice libre.

➤ *Instruction du 30 novembre 1956 pour l'application de l'arrêté du 30 novembre 1956 relatif aux mesures particulières de prévention médicale de la silicose professionnelle dans les mines, minières et carrières (mines et carrières)*

L'arrêté du 30 novembre 1956¹ fixe notamment, comme cela est demandé par le décret de décembre 1954, les types de chantiers assujettis à ce décret et, pour les travailleurs de ces chantiers, l'intervalle entre deux visites médicales. Cet arrêté n'autorise un délai "long" (1 ou 2 ans selon les situations) entre deux visites que "pour les chantiers où une prévention efficace est mise en œuvre ou pour ceux où les conditions sont reconnues favorables par un procédé de mesures de l'empoussiérage admis par une instruction ministérielle". Sinon, un délai "court" (entre 6 mois et 1 an) doit être respecté. Ces notions de "conditions favorables" et de "prévention efficace" étant trop subjectives, elles ont été définies de façon officielle par cette instruction :

- les "conditions favorables" ne peuvent concerner au mieux que de petites portions d'une exploitation pour lesquelles l'innocuité des poussières est reconnue par une expérience relativement longue, éventuellement étayée par des études. Tous les autres chantiers sont assujettis à cette réglementation. Ces chantiers sont répartis en plusieurs classes suivant le type de travail effectué et la ventilation mise en place (ex : classe 1 : voies de tête et bases de tailles munies de ventilation auxiliaire) ;
- la "prévention technique efficace" est obtenue par le suivi de règles obligatoires, détaillées dans cette instruction, comme par exemple l'humidification du massif avant abattage (ou aspiration à la source si ce n'est pas possible), l'humidification des tas de chargement et des matériaux de remblayage, un aérage suffisant des lieux de travail...

Cette instruction a joué un rôle très important pour la réduction de l'empoussiérage des mines.

➤ *Décret du 6 juin 1969 concernant les mesures particulières de protection des travailleurs applicables aux travaux de décapage, de dépolissage ou de dessablage au jet (tous secteurs) (en vigueur)*

Les opérations de décapage, dépolissage et dessablage au jet sont également soumises à une réglementation spéciale. Ces opérations sont définies ainsi :

- opération de décapage au jet : opération de nettoyage ou de finition d'une surface au moyen d'un abrasif projeté à grande vitesse ;
- opération de dépolissage au jet : opération de dépolissage effectuée à sec au moyen d'un abrasif projeté sous pression ;
- opération de dessablage au jet : opération consistant à débarrasser une pièce moulée du sable qui peut encore y adhérer au moyen d'eau ou d'un abrasif projeté à grande vitesse.

Lorsque ces opérations sont effectuées en cabine ou à l'air libre, l'abrasif utilisé ne doit pas contenir plus de 5 % en poids de silice libre. Les opérations exécutées à l'air libre par projection conjointe d'abrasif et d'eau ne sont pas concernées par la limite des 5 %.

Si les opérations de dépolissage ne peuvent pas se faire dans un appareil clos dont l'étanchéité est maintenue, alors l'abrasif ne doit pas non plus contenir plus de 5 % en poids de silice libre.

¹ *Relatif aux mesures particulières de prévention médicale de la silicose professionnelle dans les mines, minières et carrières.*

➤ *Circulaire du 15 décembre 1975 relative aux mesures de prévention médicale de la pneumoconiose et de la silicose dans les mines de houille (mines)*

Cette circulaire définit, à titre expérimental pour les mines de houille, une nouvelle manière de procéder au mesurage de l'empoussiérement. Cette mesure sert à calculer un taux d'empoussiérement du chantier et à répartir les différentes zones de la mine en six classes en fonction de ce taux. Les ouvriers du chantier seront suivis en fonction de la classe dans laquelle ils travaillent.

Cette réglementation a joué un rôle important pour la réduction de l'empoussiérement des mines de houille. On a estimé que cette mesure avait certainement eu un impact sur les autres types de mines (moins courantes).

➤ *Circulaire du 21 mars 1983 (secteurs industriels)*

Cette circulaire donnait les valeurs limites moyennes d'exposition (VME) indicatives suivantes, pour les poussières alvéolaires de silice cristalline libre :

- 0,1 mg/m³ pour le quartz ;
- 0,05 mg/m³ pour la tridymite ou cristobalite.

⇒ Ces valeurs ne sont applicables que si les poussières sont composées uniquement de quartz, tridymite ou cristobalite.

En cas d'inhalation d'un mélange de poussières alvéolaires non siliceuses et de particules de silice cristalline, cette circulaire définit un indice d'exposition (IE), propre à chaque situation de travail. Le calcul de cet indice nécessite des prélèvements afin de connaître le niveau d'empoussiérement et la composition des poussières pour la situation de travail concernée. Pour être réglementaire, cet indice doit être inférieur à 1.

Indice d'exposition $IE = Cns/Vns + Cq/Vq + Cc/Vc + Ct/Vt$, où :

- Cns : concentration en poussières alvéolaires non siliceuses, en mg/m³, qui correspond à la différence entre la concentration totale des poussières alvéolaires et la somme des concentrations correspondant aux silices cristallines ;
- Vns : valeur limite moyenne de concentration en poussières alvéolaires non siliceuses, en mg/m³, admise sur 8 heures et telle que définie par l'article R 232-5-5 du code du travail ;
- Vq, Vt, Vc : valeur limite moyenne de concentration en poussières alvéolaires de quartz (Vq), tridymite (Vt) et cristobalite (Vc), en mg/m³, admise sur 8 heures ;
- Cq : concentration en quartz en mg/m³ de la situation de travail ;
- Cc : concentration en cristobalite en mg/m³ de la situation de travail ;
- Ct : concentration en tridymite en mg/m³ de la situation de travail.

Cette circulaire, qui n'avait qu'un objectif de recommandation, a joué un rôle important pour la réduction de l'empoussiérement des secteurs industriels.

➤ *Décret du 2 septembre 1994 complétant le règlement général des industries extractives institué par le décret du 7 mai 1980 (carrières) (en vigueur)*

Les mines et carrières ne sont pas concernées par le décret du 10 avril 1997 (cf. paragraphe suivant) mais par celui de septembre 1994, remplaçant celui de 1954. Ce décret définit un empoussiérement de référence (ER) qui peut être égal à :

- soit 5 mg/m³ ;

• soit 25 K/Q où :

- K : coefficient de nocivité des poussières déterminé à partir des connaissances scientifiques, et fixé périodiquement, pour les mines, par le préfet, sur proposition de l'exploitant (après consultation, lorsqu'il existe, du CHSCT auquel sont fournis tous les éléments d'appréciation nécessaires), et pour les carrières par le ministre chargé des mines,
- Q : pourcentage de quartz contenu dans les poussières alvéolaires siliceuses, déterminé au moins une fois par an par groupe de fonctions de travail soumises à des expositions homogènes.

La valeur la plus contraignante est retenue. Puis, à partir de cet empoussiérement de référence, les parties de mines et carrières sont classées de manière progressive :

- classe A : empoussiérement $0,25 * ER$;
- classe B : $0,25 * ER < \text{empoussiérement} < 0,50 * ER$;
- classe C : $0,50 * ER < \text{empoussiérement} < 1 * ER$;
- classe D : $1 * ER < \text{empoussiérement} < 2 * ER$.

Ces classes déterminent ensuite les différents niveaux d'aptitude que les opérateurs doivent posséder ainsi que les mesures de protection de plus en plus exigeantes à mettre en place au niveau individuel et collectif.

Cette réglementation a joué un rôle important pour la réduction de l'empoussiérement essentiellement dans les carrières. En effet, peu de mines encore en activité à cette date ont mis en place des mesures de réduction de l'empoussiérement compte tenu de leur fermeture programmée.

➤ *Décret n°97-331 du 10 avril 1997 relatif à la protection de certains travailleurs exposés à l'inhalation de poussières siliceuses sur leurs lieux de travail (secteurs industriels) (en vigueur)*

Ce décret abroge celui du 16 octobre 1950 modifié relatif à la prévention de la silicose professionnelle.

Il rend réglementaire les valeurs limites indicatives définies dans la circulaire du 21 mars 1983.

Cette réglementation a joué un rôle important pour la réduction de l'empoussiérement des secteurs industriels.

➤ *Accord européen de novembre 2006 sur la protection de la santé des travailleurs par l'observation de bonnes pratiques dans le cadre de la manipulation et de l'utilisation de la silice cristalline et des produits qui en contiennent*

Le but de cet accord est d'améliorer la connaissance des effets de la silice cristalline alvéolaire sur la santé, notamment par des activités de recherche, de surveillance et par la diffusion d'un guide des bonnes pratiques joint à cet accord. Il propose des recommandations lors de l'utilisation de silice cristalline, mais il ne se substitue pas à la réglementation de chaque pays.

En plus de ces réglementations, il existe des restrictions particulières pour les femmes et les travailleurs de moins de 18 ans concernant certains travaux exposant à la silice : par exemple ils ne peuvent pas participer à la démolition de fours industriels comportant des matériaux réfractaires contenant de la silice (article R 234-9 et R 234-20 du code du travail).

Le tableau 4 récapitule les valeurs d'expositions en vigueur.

Récapitulatif des valeurs réglementaires en vigueur

Secteurs	Texte réglementaire	Valeurs autorisées
Mines et carrières	Décret du 2 septembre 1994	Définition d'un empoussiéragement de référence (ER) puis définition de classes à partir de cet ER qui déterminent les niveaux d'aptitudes et les protections requis.
Secteurs industriels et BTP	Décret du 10 avril 1997	VME=0,1 mg/m ³ pour le quartz et de 0,05 mg/m ³ pour la cristobalite. En cas de mélange de poussières siliceuses et non siliceuses, calcul d'un indice d'exposition propre à la situation de travail qui doit être inférieur à 1.

5. Matrice emplois-expositions aux poussières alvéolaires de silice cristalline libre

Un document expliquant la méthodologie générale de réalisation et d'utilisation des matrices est disponible sur : www.invs.sante.fr/publications/2006/matgene/matgene.pdf [11].

5.1 DÉFINITION DE LA NUISANCE ÉVALUÉE

La matrice réalisée évalue uniquement les expositions aux poussières alvéolaires de silice cristalline libre. Il est très difficile de distinguer les différentes formes (quartz, cristobalite) lors de l'évaluation des expositions professionnelles. Par la suite, elles seront donc évaluées en même temps et regroupées sous le terme "silice cristalline libre".

L'article R 232-5-1 du code du travail définit une poussière comme "toute particule solide dont le diamètre aérodynamique est au plus égal à 100 µm ou dont la vitesse de chute, dans les conditions normales de température, est au plus égale à 0,25 mètre par seconde. Les poussières ainsi définies sont appelées "poussières totales". Toute poussière susceptible d'atteindre les alvéoles pulmonaires (c'est-à-dire ayant un diamètre inférieur à 5 µm) est considérée comme "poussière alvéolaire". Les poussières siliceuses sont en majorité des poussières alvéolaires.

5.2 STRUCTURE DE LA MATRICE

5.2.1 Nomenclatures utilisées

Les évaluations de l'exposition aux poussières alvéolaires de silice cristalline libre ont été réalisées pour des emplois définis par des couples de profession et d'activité codés suivant la classification nationale française (PCS 1994² pour les professions et NAF 2000³ pour les activités) et la classification internationale (CITP 1968⁴ pour les professions et Citi 1975⁵ pour les activités).

La matrice a été élaborée en premier lieu dans la version CITP 1968 × NAF 2000 car cette dernière intègre les intitulés de professions et de secteurs les plus précis et permet ainsi une évaluation de l'exposition la plus fine possible. Les versions CITP 1968 × Citi 1975 et PCS 1994 × NAF 2000 ont ensuite été élaborées par déclinaison de cette première version.

➤ *Passage de la version CITP × NAF à la version CITP × Citi*

- 1) Les codes Citi associés à chacun des codes NAF présents dans la matrice ont été recherchés. À un code NAF donné correspond en général un seul code Citi ; par contre, un code Citi est très souvent associé à plusieurs codes NAF.
- 2) Pour chaque code Citi sélectionné, l'ensemble des codes NAF associés a également été recherché. À partir des données du recensement de l'Insee de 1999, il est possible de connaître la répartition des emplois en France par code NAF. La répartition des emplois dans les différents codes NAF associés à un code Citi a donc été évaluée.
- 3) Cette répartition a ensuite été utilisée pour revoir et ajuster les indices d'exposition évalués dans la version CITP × NAF.

➤ *Passage de la version CITP × NAF à la version PCS × NAF*

- 1) Les codes professions PCS concernés par l'exposition aux poussières alvéolaires de silice cristalline libre ont été recherchés à partir de la nomenclature. La classification PCS étant beaucoup plus restreinte et moins technique que la nomenclature CITP, il a été nécessaire d'introduire des croisements avec des codes NAF non retenus dans la version CITP × NAF initiale.
- 2) Pour chacun des emplois PCS × NAF identifié, il a été défini de quel(s) emploi(s) CITP × NAF il devait être rapproché.
- 3) Compte tenu des différences de précisions entre les deux nomenclatures des professions (PCS et CITP), les indices d'exposition évalués dans la version CITP × NAF ont été revus et ajustés pour les appliquer à la version PCS × NAF.

5.2.2 Périodes d'exposition

Comme cela a été indiqué dans le paragraphe 4 "Réglementation", tous les secteurs d'activités ne sont pas concernés par les mêmes textes réglementaires. Il a donc été nécessaire de définir pour chaque secteur des périodes qui lui sont propres. Le tableau 5 présente les périodes

² Nomenclature des professions et catégories socioprofessionnelles PCS. 2^e ed : Insee ; 1994.

³ Nomenclatures d'activités et de produits françaises NAF-CPF. Paris : Insee ; 1999.

⁴ Classification internationale type des professions. Édition révisée ed. Genève : Bureau international du travail ; 1968.

⁵ Index de la classification internationale type par industrie, de toutes les branches d'activité économique. New-York : Nations Unies ; 1975.

choisies pour chaque secteur ; les raisons de ces choix (généralement, dates moyennes d'application des textes réglementaires) sont indiquées entre parenthèses.

| TABLEAU 5 |

Définition des périodes d'exposition par secteur d'activité

Secteur d'activité	Périodes
Mines	- 1947-1960 (instruction du 30 novembre 1956) - 1961-1980 (circulaire du 15 décembre 1975) - 1981-2007
Carrières	- 1947-1960 (instruction du 30 novembre 1956) - 1961-1995 (décret du 2 septembre 1994) - 1996-2007
Secteurs industriels	- 1947-1970 (amélioration globale des conditions de travail en France) - 1971-1985 (circulaire du 21 mars 1983) - 1986-1998 (décret du 10 avril 1997) - 1999-2007

5.2.3 Indices d'évaluation de l'exposition

- **Probabilité** : elle représente la proportion de travailleurs de l'emploi concerné qui sont exposés aux poussières alvéolaires de silice cristalline. Elle est exprimée en pourcentage. Lorsque dans un emploi donné moins de 1% des personnes sont exposées, l'emploi a été considéré comme non exposé et n'apparaît donc pas dans la matrice.

- **Fréquence** : elle donne une indication du temps que l'opérateur passe à effectuer les tâches exposantes sur l'ensemble de son temps de travail. Elle est exprimée en pourcentage. En dessous de 1% de temps de travail exposant à la nuisance, l'emploi a été considéré comme non exposé et donc n'apparaît pas dans la matrice.

- **Intensité** : elle évalue l'intensité d'exposition à laquelle est soumis l'opérateur pendant les tâches exposantes, en fonction de la nature de ces tâches et de son environnement de travail.

Une base de données reprenant les résultats de prélèvements de poussières alvéolaires de silice cristalline libre a été constituée à partir de la littérature [7,10,12-57] et de mesures réalisées en milieu professionnel en France par l'APST-BTP (données disponibles sur le site internet : www.forsapre.fr/accueil/accueil-sante-travail-prevention.htm) et par les laboratoires des Cram (données de la base Colchic [58,59]). Ces métrologies ont permis de définir quatre classes d'intensité, ainsi qu'un niveau minimum d'exposition. Il correspond à un niveau retrouvé en environnement général, en dessous duquel un emploi est considéré comme non exposé professionnellement. Pour la silice cristalline libre, ce niveau minimum a été fixé à 0,02 mg/m³ :

- classe 1 : 0,02 à 0,1 mg/m³ ;
- classe 2 : 0,1 à 0,5 mg/m³ ;
- classe 3 : 0,5 à 1 mg/m³ ;
- classe 4 : >1 mg/m³.

Seuls les emplois considérés comme exposés aux poussières alvéolaires de silice cristalline libre apparaissent dans la matrice : les emplois non représentés sont considérés comme non exposés ou exposés en dessous des niveaux minimum d'exposition définis pour l'intensité, la fréquence ou la probabilité.

Des exemples de professions ou d'ambiances de travail associées aux différents niveaux utilisés sont présentés dans le tableau 6.

| TABLEAU 6 |

Exemples de professions par classe d'intensité d'exposition

Intensité	Secteur	Exemples de professions/ambiances
Classe 1: 0,02 à 0,1 mg/m³	Mines de charbon	- ambiance chantier de surface (1947-2007) - extraction/traitement minierai (1961-2007)
	Mines de minerais métalliques	- ambiance chantier de surface (1961-2007) - tous postes sauf extraction/traitement minierai/mécaniciens (1961-1980)
	Carrières de sables et granulats	- ambiance carrière (1961-2007)
	Céramique/poterie	- ambiance usine (1971-2007) - conducteur de four/préparateur de pâte d'argile (1986-2007)
	Verrerie	- conducteur de four (1999-2007)
	BTP	- ambiance préparation de site/travaux souterrains (1986-2007)
Classe 2: 0,1 à 0,5 mg/m³	Mines de charbon	- extraction/traitement minierai (1947-1960)
	Mines de minerais métalliques	- ambiance chantier de surface (1947-1960) - extraction/traitement/mécaniciens (1961-2007)
	Carrières de sables et granulats	- ambiance carrière (1947-1960) - extraction/traitement (1996-2007)
	Céramique/poterie	- ambiance usine (1947-1970) - conducteur de four/préparateur de pâte d'argile (1971-1985) - préparateur d'émaux (1986-2007)
	Verrerie	- conducteur de four (1971-1998) - composeur (1986-2007)
	BTP	- maçons (1947-2007) - ambiance préparation de site/travaux souterrains (1947-1985) - ouvrier de démolition/ravaleur (1986-2007)
Classe 3: 0,5 à 1 mg/m³	Mines de minerais métalliques	- extraction/traitement minierai (1947-1960)
	Carrières de sables et granulats	- extraction/traitement (1961-1995)
	Verrerie	- conducteur de four (1947-1970) - composeur (1971-1985)
	Céramique/poterie	- conducteur de four/préparateur de pâte d'argile (1947-1970) - préparateur d'émaux (1971-1985)
	BTP	- ouvrier de démolition/ravaleur (1971-1985)
	Métallurgie	- mouleur/noyateur (1947-1985)
Classe 4: >1 mg/m³	Carrières de sables et granulats	- extraction/traitement (1947-1960)
	Céramique/poterie	- préparateur d'émaux (1947-1970)
	BTP	- ouvrier de démolition/ravaleur (1947-1970)
	Verrerie	- composeur (1947-1970)

5.3 SPÉCIFICITÉS DE LA MATRICE

5.3.1 BTP

Pour prendre en compte les disparités des situations décrites dans le paragraphe 3.2, il a fallu, pour certaines professions, trouver un compromis entre évaluer des tâches peu exposantes mais fréquentes ou des tâches plus rares mais exposant à de fortes intensités.

Avec les nomenclatures utilisées, il n'a pas été possible de faire de distinction entre le travail sur un chantier de rénovation et un chantier de constructions neuves.

5.3.2 Fabrication de ciment

Comme cela a été dit dans le paragraphe 3.8 sur la fabrication de ciment, certaines cimenteries peuvent posséder leurs propres sites d'extraction de calcaire et d'argile/kaolin. Les dates des réglementations sont différentes pour les postes d'extraction et ceux en usine. La règle suivante a donc été établie : pour les professions typiques de l'extraction, les périodes des secteurs des carrières ont été utilisées ; pour celles qui se trouvent uniquement en usine, les périodes des secteurs industriels ont été retenues ; enfin pour les professions dont l'intitulé ne permet pas de déterminer s'il s'agit d'un poste à l'extraction ou en usine, il a été décidé de prendre les périodes des secteurs industriels car le code NAF de l'entreprise est un code industrie. Les évaluations des professions de l'extraction ont été basées sur les évaluations du secteur "extraction d'argiles et kaolin" mais la fréquence d'exposition a été adaptée pour refléter le fait que l'argile ne représente que 20 % des matières premières extraites, les autres matières extraites n'étant pas siliceuses.

5.3.3 Fabrication d'éléments préfabriqués en béton

Comme pour les cimenteries, certaines usines possèdent leurs propres sites d'extraction de sables et granulats. Les périodes à prendre en compte sont différentes pour les postes de l'extraction et ceux en usine. La même règle que pour les cimenteries a été appliquée. Pour l'évaluation, les postes d'extraction des matières premières ont été rapprochés des postes d'extraction dans les carrières de sables et de granulats.

5.3.4 Fabrication de produits abrasifs

Pour tenir compte de l'évolution de la nature des abrasifs, la probabilité d'exposition a été diminuée au cours des différentes périodes.

5.3.5 Autres secteurs

Dans les secteurs où la silice cristalline est utilisée comme charge il n'a pas été possible, avec les nomenclatures utilisées, de définir clairement les professions concernées avec des probabilités suffisantes.

Pour la fabrication de laines de verre/roche et de silice amorphe calcinée : là non plus les nomenclatures utilisées n'ont pas permis d'identifier des emplois exposés avec des indices d'expositions suffisants.

Ces secteurs n'apparaissent donc pas dans la matrice.

La prévalence d'exposition (proportion d'exposés) à la silice, pour l'année 2007, 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. Ces résultats sont donnés dans un document synthétique qui présente également le programme Matgéné et plus spécifiquement la matrice silice : www.invs.sante.fr/surveillance/matgene/index.htm.

Références bibliographiques

- [1] Davis GS. Silica. Occupational and environmental respiratory disease. 1996. p.373.
- [2] Ineris. La silice ou les silices. Poussières minérales et santé 3. 2001.
- [3] Brondeau MT, Clavel T, Falcy M *et al.* Silice cristalline. Fiche toxicologique FT 232. INRS. 2005.
- [4] Seixas NS, Heyer NJ, Welp EA, Checkoway H. Quantification of historical dust exposures in the diatomaceous earth industry. *Ann Occup Hyg* 1997;41:591-604.
- [5] Herbert K. Diatomaceous earth silicosis. *Am J Ind Med* 1990;18:591-7.
- [6] Roux G. Prévalence de la silicose dans une entreprise utilisant de la terre à diatomées et méthode de surveillance radiologique. Mémoire de médecine du travail. Université Claude Bernard, Lyon 1. 1984.
- [7] IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risk of chemicals to Humans: volume 68: Silica and some silicates. 1997.
- [8] Drire Pays de la Loire. Mines et carrières. Internet. 2007.
- [9] Drire Provence-Alpes-Côte d'Azur. Mines et carrières. Internet. 2007.
- [10] Tjoe NE, Hohn D, Borm P, Burstyn I, Spierings J, Steffens F, Lumens M, Spee T, Heederik D. Variability in quartz exposure in the construction industry: implications for assessing exposure-response relations. *J Occup Environ Hyg* 2004;1:191-8.
- [11] Luce D, Févotte J. Le programme Matgéné: matrices emplois-expositions en population générale. État d'avancement 2005. Saint-Maurice (Fra): Institut de veille sanitaire, avril 2006, 16 p.
- [12] Attfield MD, Costello J. Quantitative exposure-response for silica dust and lung cancer in Vermont granite workers. *Am J Ind Med* 2004; 45:129-38.
- [13] Bakke B, Stewart P, Ulvestad B, Eduard W. Dust and gas exposure in tunnel construction work. *AIHAJ* 2001;62:457-65.
- [14] Bakke B, Stewart P, Eduard W. Determinants of dust exposure in tunnel construction work. *Appl Occup Environ Hyg* 2002;17:783-96.
- [15] Bang BE, Suhr H. Quartz exposure in the slate industry in northern Norway. *Ann Occup Hyg* 1998;42:557-63.
- [16] Benedetti-Bardet C. Les maçons fumistes: évaluation du risque respiratoire. Mémoire pour l'obtention du DES de médecine du travail. Université de Saint-Étienne. 2000.
- [17] Bianco M, Gugeran E, Landry J. Exposition aux poussières de quartz chez les tailleurs de pierres. *Arch Mal Prof* 1992;53(3):225-6.
- [18] Blute NA, Woskie SR, Greenspan CA. Exposure characterization for highway construction. Part I: Cut and cover and tunnel finish stages. *Appl Occup Environ Hyg* 1999;14:632-41.
- [19] Bratveit M, Moen BE, Mashalla YJ, Maalim H. Dust exposure during small-scale mining in Tanzania: a pilot study. *Ann Occup Hyg* 2003;47:235-40.
- [20] Burgess GL. Development of an exposure matrix for respirable crystalline silica in the British pottery industry. *Ann Occup Hyg* 1998;42:209-17.
- [21] Burmeister S. Exposure to crystalline silica during a foundry ladle relining process. *Appl Occup Environ Hyg* 2001;16:718-20.
- [22] Cherry NM, Burgess GL, Turner S, McDonald JC. Crystalline silica and risk of lung cancer in the potteries. *Occup Environ Med* 1998;55:779-85.
- [23] Dosemeci M, McLaughlin J, Chen J, *et al.* Historical total and respirable silica dust exposure levels in mines and pottery factories in China. *Scand J Work Environ Health* 1995;21(Suppl 2):39-43.

- [24] Echt A, Sieber W, Jones A, Jones E. Control of silica exposure in construction: scabbling concrete. *Appl Occup Environ Hyg* 2002;17:809-13.
- [25] Eisen EA, Smith TJ, Wegman DH, Louis TA, Froines J. Estimation of long term dust exposures in the Vermont granite sheds. *Am Ind Hyg Assoc J* 1984;45:89-94.
- [26] Flanagan ME, Seixas N, Majar M, Camp J, Morgan M. Silica dust exposures during selected construction activities. *AIHA J (Fairfax, Va)* 2003;64:319-28.
- [27] Flanagan ME, Seixas N, Becker P, Takacs B, Camp J. Silica exposure on construction sites: results of an exposure monitoring data compilation project. *J.Occup.Environ.Hyg.* 2006;3:144-52.
- [28] Freeman C, Grossman E. Silica exposure in workplaces in the United States between 1980 and 1992. *Scand.J.Work Environ. Health* 1995;21(Suppl 2):47-9.
- [29] Golbabaie F, Barghi MA, Sakhaei M. Evaluation of workers' exposure to total, respirable and silica dust and the related health symptoms in Senjedak stone quarry, Iran. *Ind Health* 2004;42:29-33.
- [30] Golla V, Heitbrink W. Control technology for crystalline silica exposures in construction: wet abrasive blasting. *J Occup Environ Hyg* 2004;1:D26-D32.
- [31] Hery M, Diebold F, Hecht G, Gerber J. Arrêt biennal d'un site de l'industrie chimique: exposition aux produits chimiques des salariés d'entreprises extérieures. *Cahiers de notes documentaires* 1995;161(4^e trimestre):477-87.
- [32] Janko M, McCrae R, O'Donnell J, Austria R. Occupational exposure and analysis of microcrystalline cristobalite in mullite operations. *Am Ind Hyg Assoc J* 1989;50(9):460-5.
- [33] Kim TS, Kim HA, Heo Y, Park Y, Park CY, Roh YM. Level of silica in the respirable dust inhaled by dental technicians with demonstration of respirable symptoms. *Ind Health* 2002;40:260-5.
- [34] Kullman GJ, Greife AL, Costello J, Hearl FJ. Occupational exposures to fibers and quartz at 19 crushed stone mining and milling operations. *Am J Ind Med* 1995;27:641-60.
- [35] Lee K, Lawson RJ, Olenchock SA, Vallyathan V, Southard RJ, Thorne PS, Saiki C, Schenker MB. Personal exposures to inorganic and organic dust in manual harvest of California citrus and table grapes. *J Occup Environ Hyg* 2004;1:505-14.
- [36] Linch KD. Respirable concrete dust-silicosis hazard in the construction industry. *Appl Occup Environ Hyg* 2002;17:209-21.
- [37] Lucas AD, Salisbury SA. Industrial hygiene survey in a university art department. *J Environ Pathol Toxicol Oncol* 1992;11:21-7.
- [38] Lumens ME, Spee T. Determinants of exposure to respirable quartz dust in the construction industry. *Ann Occup Hyg* 2001;45:585-95.
- [39] Malmberg P, Hedenstrom H, Sundblad BM. Changes in lung function of granite crushers exposed to moderately high silica concentrations: a 12 year follow up. *Br J Ind Med* 1993;50:726-31.
- [40] Maxim DL, Venturin D, Allshouse JN. Respirable crystalline silica exposure associated with the installation and removal of RCF and conventional silica-containing refractories in industrial furnaces. *Regul Toxicol Pharmacol* 1999;29:44-63.
- [41] Meijer E, Kromhout H, Heederik D. Respiratory effects of exposure to low levels of concrete dust containing crystalline silica. *Am J Ind Med* 2001;40:133-40.
- [42] Nash NT, Williams DR. Occupational exposure to crystalline silica during tuckpointing and the use of engineering controls. *Appl Occup Environ Hyg* 2000;15:8-10.
- [43] O'Brien D, Froehlich PA, Gressel MG, Hall RM, Clark NJ, Bost P, Fischbach T. Silica exposure in hand grinding steel castings. *Am Ind Hyg Assoc J* 1992;53:42-8.
- [44] Piacitelli GM, Amandus HE, Dieffenbach A. Respirable dust exposures in US surface coal mines (1982-1986). *Arch Environ Health* 1990;45:202-9.

- [45] Rando RJ, Shi R, Hughes JM, Weill H, McDonald AD, McDonald JC. Cohort mortality study of North American industrial sand workers. III. Estimation of past and present exposures to respirable crystalline silica. *Ann Occup Hyg* 2001;45:209-16.
- [46] Rappaport SM, Goldberg M, Susi P, Herrick RF. Excessive exposure to silica in the US construction industry. *Ann Occup Hyg* 2003;47:111-22.
- [47] Riala R. Dust and quartz exposure of Finnish construction site cleaners. *British Occupational Hygiene Society* 1988;32(2):215-20.
- [48] Sanderson WT, Steenland K, Deddens JA. Historical respirable quartz exposures of industrial sand workers: 1946-1996. *Am J Ind Med* 2000;38:389-98.
- [49] Soulat J, Marpinard M, Esquirol Y, Delalain P *et al.* Exposition à la silice chez les prothésistes dentaires. *Archives des maladies professionnelles* 2000;61(3):156-61.
- [50] Steenland K, Sanderson W. Lung cancer among industrial sand workers exposed to crystalline silica. *Am J Epidemiol* 2001;153:695-703.
- [51] Tjoe-Nij E, de Meer G, Smit J, Heederik D. Lung function decrease in relation to pneumoconiosis and exposure to quartz-containing dust in construction workers. *Am J Ind Med* 2003;43:574-83.
- [52] Tjoe NE, Burdorf A, Parker J, Attfield M, van DC, Heederik D. Radiographic abnormalities among construction workers exposed to quartz containing dust. *Occup Environ Med* 2003;60:410-7.
- [53] Valiente D, Schill D, Rosenman K, Socie E. Highway: a new silicosis threat. *Am J Public Health* 2004;94(5):876-80.
- [54] Verma DK, Kurtz LA, Sahai D, Finkelstein MM. Current chemical exposures among Ontario construction workers. *Appl Occup Environ Hyg* 2003;18:1031-47.
- [55] Wickman AR, Middendorf PJ. An evaluation of compliance with occupational exposure limits for crystalline silica (quartz) in ten Georgia granite sheds. *Appl Occup Environ Hyg* 2002;17:424-9.
- [56] Woskie SR, Kalil A, Bello D, Virji MA. Exposures to quartz, diesel, dust, and welding fumes during heavy and highway construction. *AIHA J* 2002;63:447-57.
- [57] Yassin A, Yebesi F, Tingle R. Occupational exposure to crystalline silica dust in the United States, 1988-2003. *Environmental Health Perspectives* 2005;113(3):255-60.
- [58] 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.
- [59] Carton B, Kauffer E, Jeandel B. Prévention du risque silicotique (informations fournies par la base Colchic). *Cahiers de notes documentaires* 1990;139(2^e trimestre):329-34.

Éléments techniques sur l'exposition professionnelle aux poussières alvéolaires de silice

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

Ce guide présente la matrice emplois-expositions aux poussières alvéolaires de silice cristalline libre développée par le Département santé travail (DST) de l'Institut de veille sanitaire (InVS) et l'Unité mixte de recherche épidémiologique et de surveillance en transport, travail, environnement (Umrestte). Il donne également des éléments techniques sur l'exposition professionnelle à ces poussières.

Pour tous les emplois considérés comme exposés en France, de 1947 à 2007, l'exposition est évaluée par période et selon des critères de probabilité, fréquence et intensité d'exposition détaillés dans ce guide technique.

Cette matrice, accompagnée d'une plaquette de présentation, est consultable sur le site Internet de l'InVS (dossier thématique Matgéné, www.invs.sante.fr/surveillance/matgene/index.htm) dans plusieurs versions de nomenclatures nationales et internationales de professions et de secteurs d'activités.

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

Technical data on occupational exposure to silica respirable dust

Job-exposure matrix for free crystalline silica respirable dust

This guide presents a job-exposure matrix for free crystalline silica respirable dust that was developed by the Occupational Health Department of the French Institute for Public Health (Institut de veille sanitaire, InVS), and the Epidemiological Research and Surveillance Unit in Transport, Occupation and Environment (Umrestte). This guide also provides technical data on occupational exposure to this type of dust.

For all occupations considered as exposed in France, between 1947 and 2007, exposures are assessed for several periods and in terms of probability, frequency and intensity, as defined in this technical guide.

This matrix and its presentation booklet are available for consultation on the InVS website (www.invs.sante.fr/surveillance/matgene/index.htm) in several national and international classifications of occupations and industries.

Citation suggérée :

Delabre L, Pilorget C, Garras L, Févotte J et le groupe Matgéné. Éléments techniques sur l'exposition professionnelle aux poussières alvéolaires de silice cristalline libre – Présentation d'une matrice emplois-expositions aux poussières alvéolaires de silice cristalline libre. Saint-Maurice (Fra) : Institut de veille sanitaire, février 2010, 15 p. Disponible sur : www.invs.sante.fr