

Silice cristalline

Rapport d'expertise collective ANSES

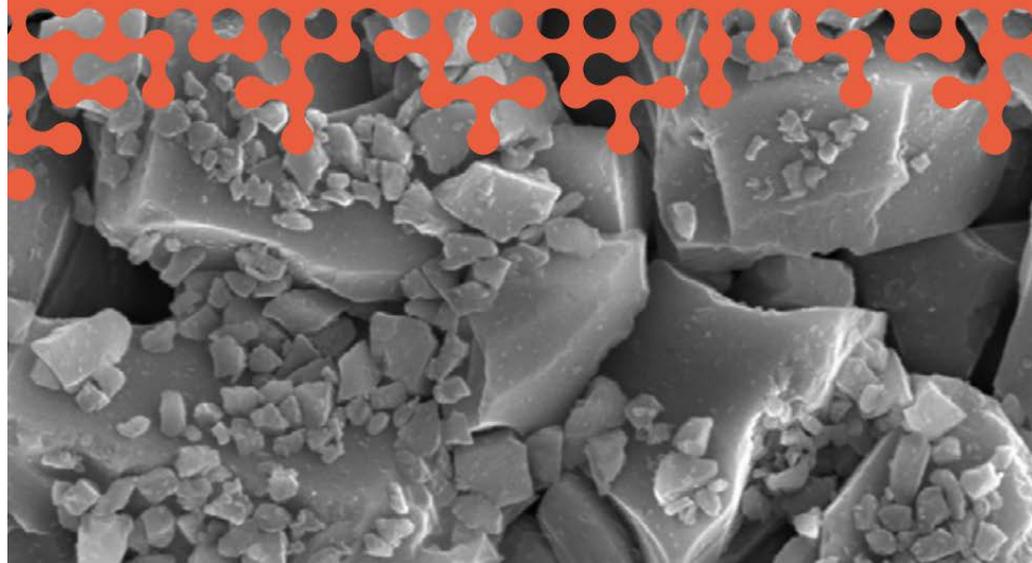
Mai 2019



Dangers, expositions et risques relatifs à la silice cristalline

Avis de l'Anses
Rapports d'expertise collective

Avril 2019 - Édition scientifique



GT ANSES Silice cristalline

- Saisine

- Réaliser un état des lieux des études et données concernant les dangers et effets sur la santé de la silice cristalline en se focalisant en particulier sur les études de cancérogénicité, la silice cristalline ayant été classée par le CIRC en Cancérogène de Catégorie 1. Identifier l'ensemble des pathologies associées à une exposition à la silice cristalline et en évaluer la pertinence et le lien de cause à effet ;

GT ANSES Silice cristalline

- Saisine

- Conduire une étude de filière concernant la silice cristalline afin d'identifier les différents usages de cette substance depuis son extraction jusqu'à la production et la commercialisation de produits en contenant, principalement pour les professionnels mais également pour les consommateurs ;
- Evaluer les expositions aux différentes formes de silice cristalline en réalisant une étude bibliographique des études disponibles ;
- Identifier les pratiques/usages les plus exposants pour les professionnels et procéder au besoin à des mesures sur le terrain. Une attention toute particulière sera portée sur l'émergence de nouveaux modes d'exposition ainsi que sur l'évolution des expositions concernant les activités exposantes déjà bien connues ;

GT ANSES Silice cristalline

- Saisine

- Sur la base de cet état des lieux, étudier la faisabilité d'une proposition de classification et étiquetage au niveau européen dans le cadre du règlement n° 1272/2008 (CLP) en tenant compte des travaux du CIRC, du contexte réglementaire en particulier les activités dans le cadre de REACH et des discussions concernant la forme nanométrique de la silice cristalline ;
- Réaliser un état des lieux des principales dispositions réglementaires de prévention, de protection et de réparations des affections liées à une exposition professionnelle à la silice cristalline ;
- Après avoir considéré la pertinence de réaliser une évaluation quantitative des risques pour la santé des professionnels exposés à la silice cristalline, l'Agence proposera, le cas échéant, toute mesure permettant de supprimer ou réduire les risques identifiés.

GT ANSES Silice cristalline

- Membres

GRUPE DE TRAVAIL

Président

M. Christophe PARIS – Professeur des universités, praticien hospitalier (Université de Rennes 1 - Inserm U1085 IRSET – Centre hospitalier universitaire de Rennes). Spécialités : épidémiologie des risques professionnels, pathologies professionnelles, santé au travail.

Membres

M. Jean-François BERNAUDIN – Retraité (anciennement Hôpital de Tenon - Université Pierre et Marie Curie Paris 6) – Spécialités : Pneumologie - Toxicologie des particules et des composés particuliers - Médecine interne – Histologie/pathologie

M. Patrick BROCHARD – Université de Bordeaux – Spécialités : Pneumologie - Épidémiologie - Médecine du travail - Caractérisation des expositions

Mme Catherine CAVALIN - Centre d'Etudes Européennes de Sciences Po – Spécialités : Sociologie - Médecine du travail - Réglementation santé travail - Expologie

M. Jean-Dominique DEWITTE - Professeur des universités, praticien hospitalier (Université de Brest) – Spécialités : santé travail, pneumologie.

Mme Bice FUBINI - Retraîtée (anciennement Université de Turin) - Spécialités : Toxicologie des particules Spécialiste silice

Mme Catherine HEDOUIN-LANGLET – CRAMIF - Spécialités : Réglementation santé travail - Métrologie et caractérisation des expositions - Santé et hygiène au travail

Mme Marie-Claude JAURAND – retraitée (anciennement INSERM) - Spécialités : Toxicologie - Mutagenèse/Cancérogénèse

M. Patrick JEGO - CHU de Rennes - Spécialités : Médecine interne

M. Pierre LAMBERT – CARSAT Aquitaine - Spécialités : Réglementation santé travail - Métrologie et caractérisation des expositions - Santé et hygiène au travail. Démission le 03/01/18

Mme Isabelle MARIE - CHU Rouen - Spécialités : Médecine interne. Démission le 01/01/2017

M. Davy ROUSSET - Responsable du laboratoire Analyse Inorganique et Caractérisation des Aérosols (INRS) - Spécialités : Métrologie des polluants dans air des lieux de travail : Chimie minérale, silice cristalline, aérosols (depuis le 28/02/2018).

M. Steven VERPEALE - Mensura ASBL - Spécialités : Métrologie - santé et l'hygiène au travail - Caractérisation des expositions - Réglementation des substances et produits chimiques Reach. Démission le 16/10/2017.

GT ANSES Silice cristalline

- Informations générales sur la silice
- Etude de filière
- Histoire et sociologie de la connaissance des risques sanitaires
- Réglementation
- Métrologie
- Expositions professionnelles et extra-professionnelles
- Effets sanitaires
- Prévention
- Conclusions et recommandations

GT ANSES Silice cristalline

- Informations générales sur la silice
- Etude de filière
- Histoire et sociologie de la connaissance des risques sanitaires
- Réglementation
- Métrologie
- Expositions professionnelles et extra-professionnelles
- Effets sanitaires
- Prévention
- Conclusions et recommandations

Silice SiO₂

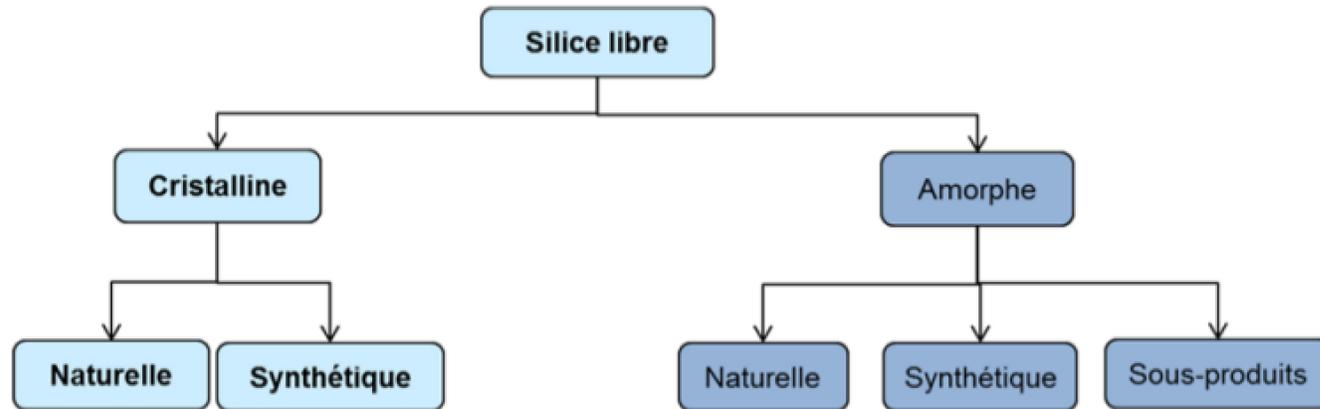


Figure 1 : Formes de silice

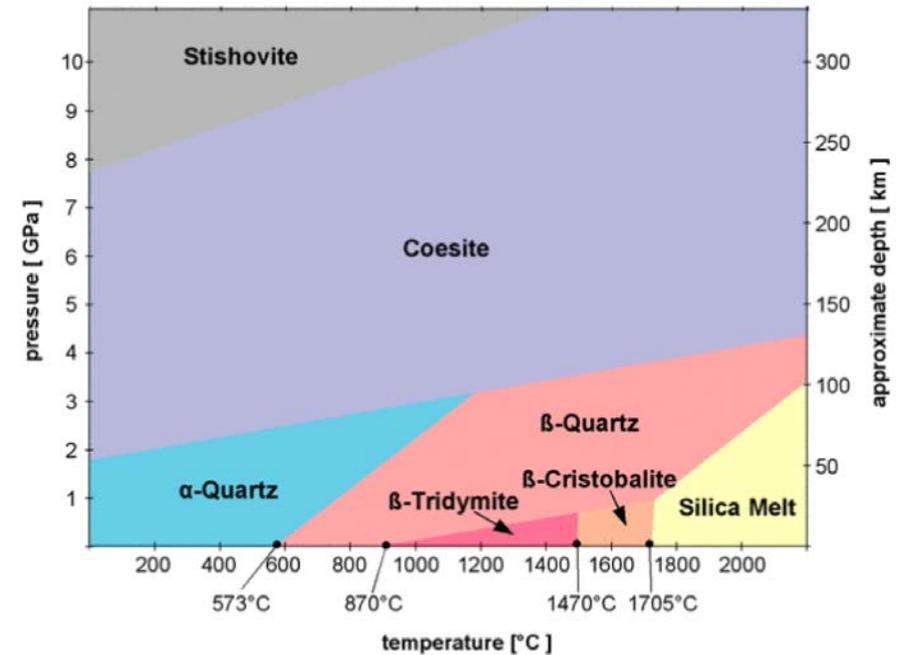


Figure 2 : Diagramme d'équilibre de SiO₂ en fonction de la température et de la pression (source : http://www.quartzpage.de/gen_mod.html, consulté en mai 2017)

GT ANSES Silice cristalline

- Informations générales sur la silice
- **Etude de filière**
- Histoire et sociologie de la connaissance des risques sanitaires
- Réglementation
- Métrologie
- Expositions professionnelles et extra-professionnelles
- Effets sanitaires
- Prévention
- Conclusions et recommandations

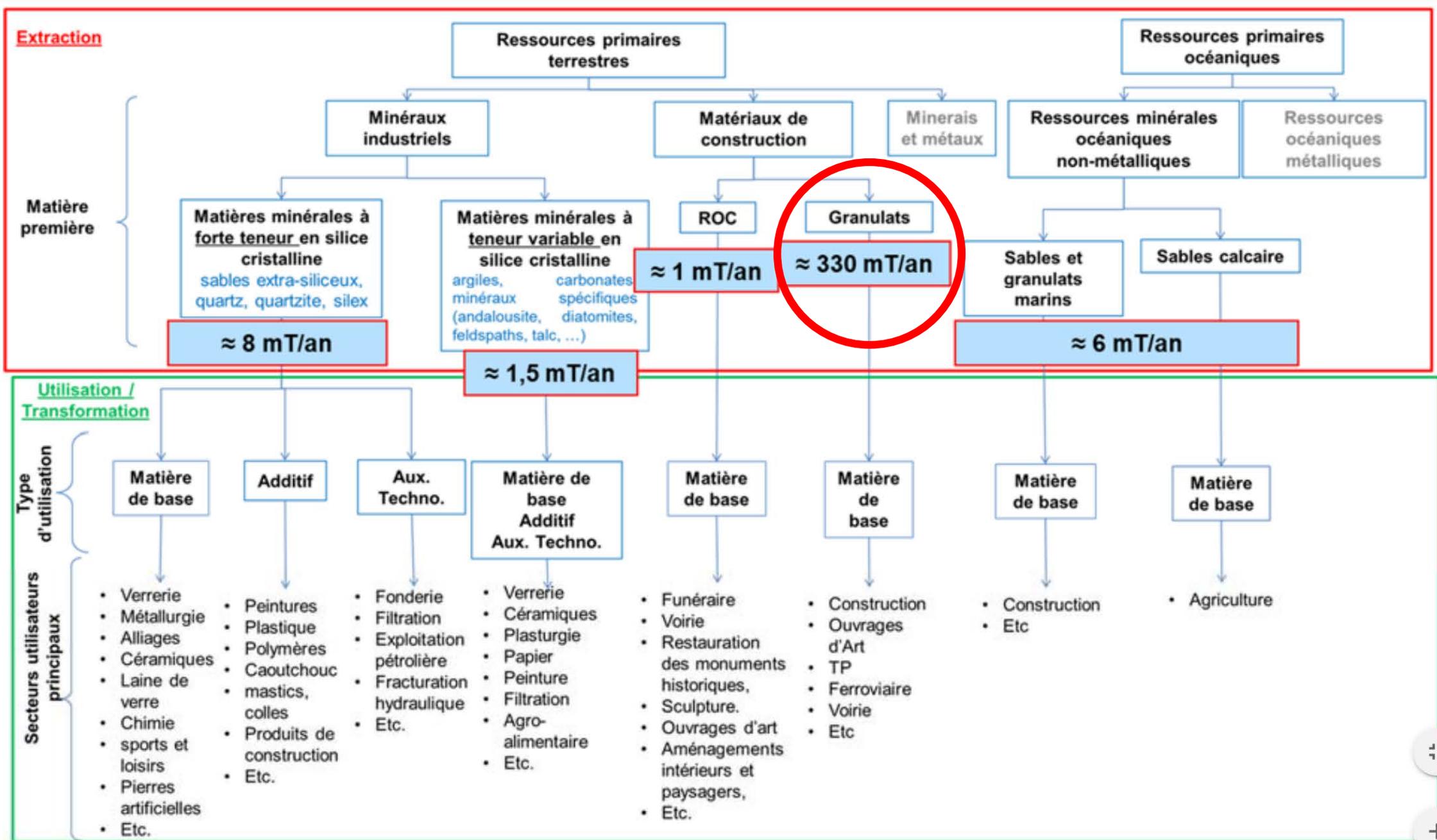


Figure 1 : Schéma de la filière silice cristalline

Tableau 6 : Volumes des minéraux industriels (chiffres issus de l'audition MIF, 2016)

Minéral	Tonnage 2011	Tonnage 2012	Tonnage 2013	Tonnage 2014
Argiles & Chamottes	500 223	501 500	490 000	485 300
Feldspath	536 000	524 000	520 000	490 000
Kaolin	182 077	179 200	167 000	170 200
Andalousite	70 000	71 000	65 000	60 000
Mica	15 537	14 860	14 400	13 900
Talc	363 207	36 500	365 300	374 200
Quartz, cristoballite	silice, 8 309 459	8 250 600	8 190 700	8 170 300

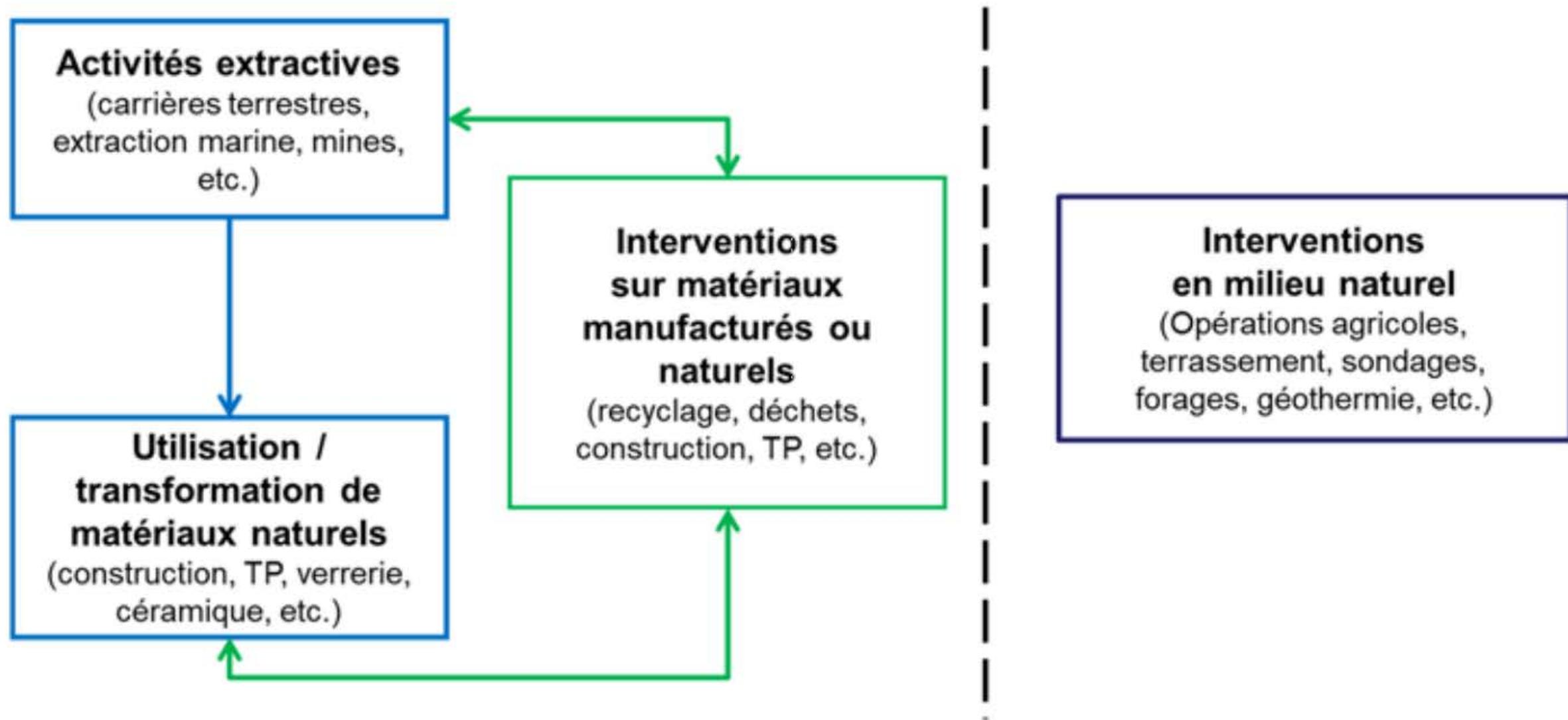


Figure 4 : Schéma des situations d'exposition à la silice cristalline

Tableau 13 : Composition type des bétons

Constituants	Proportion en masse (%) (Ordre de grandeur)	Proportion en volume (%) (Ordre de grandeur)
Granulats	75-85	60-70
Ciment	8-18	7-14
Eau	5,5-9	14-22
Air	-	1-6
Addition minérale	-	1-5
Adjuvant	-	< 2
Fibres	-	< 2
Pigments	-	< 2

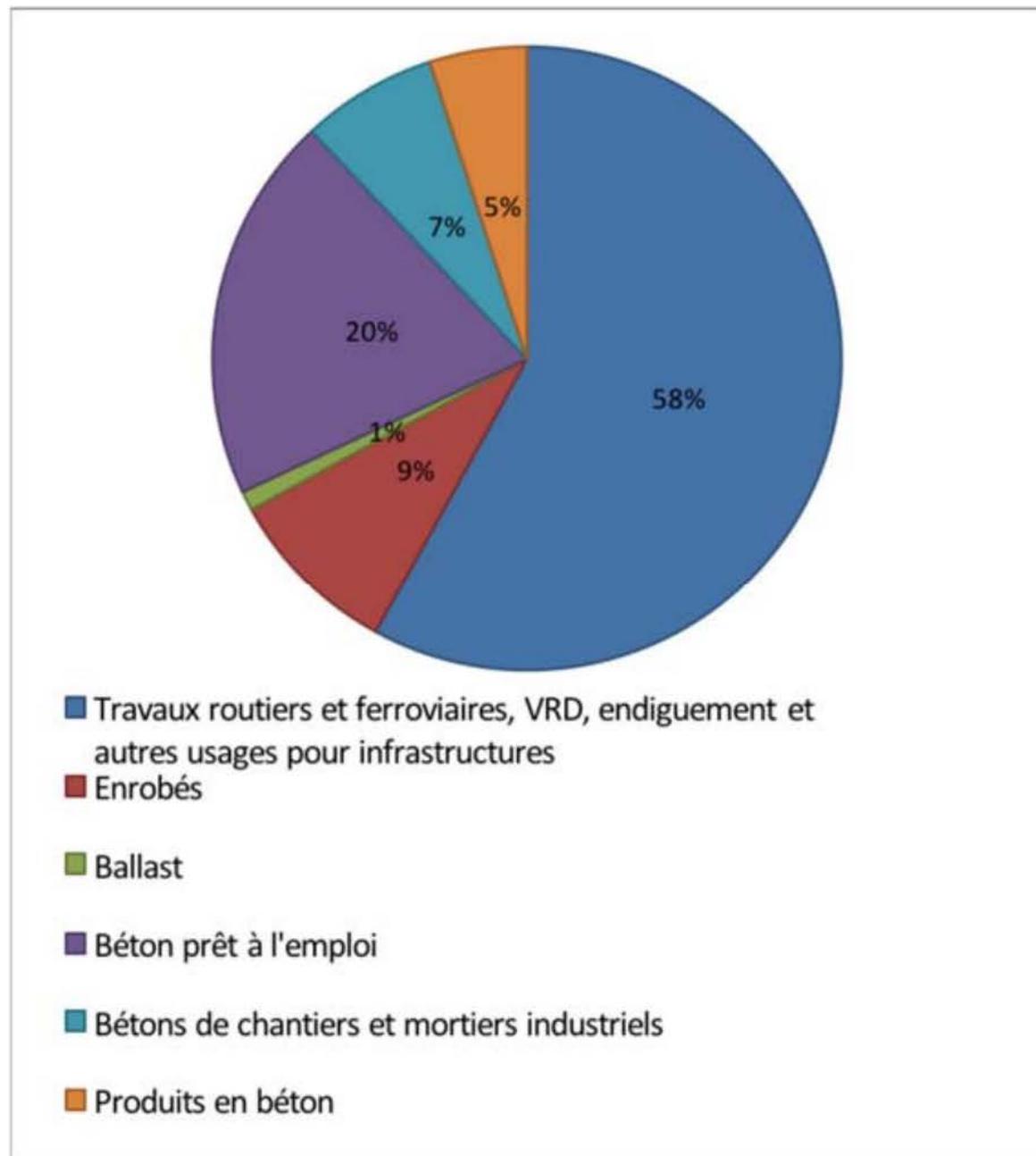
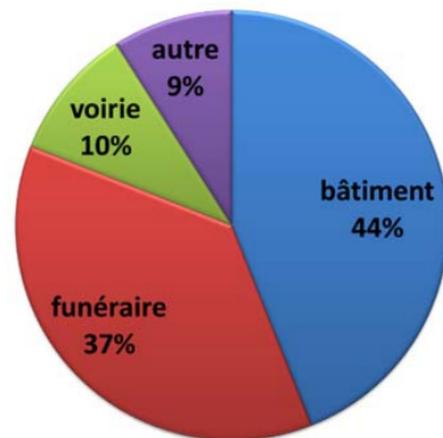
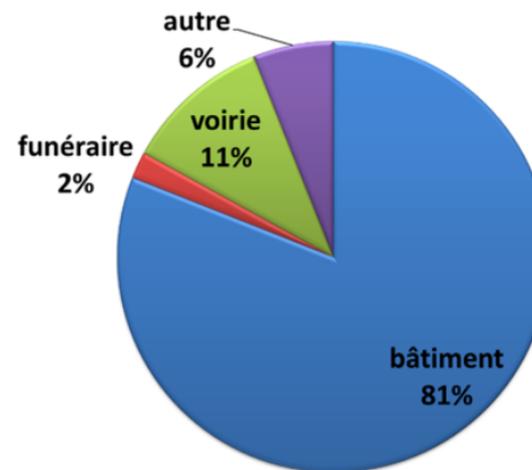


Figure 21 : Usage des granulats par nature d'emploi (d'après l'audition de l'UNICEM, 2016)

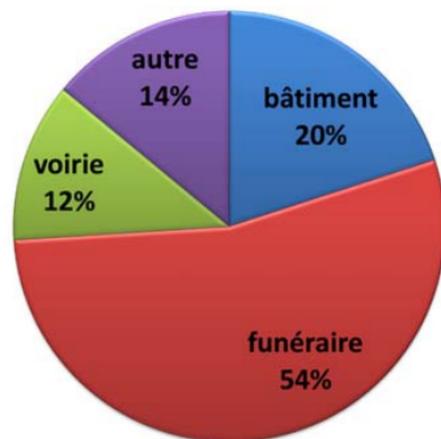
Toutes catégories de pierres confondues



Pierres calcaires et marbres



Granits et roches similaires



Grès de construction

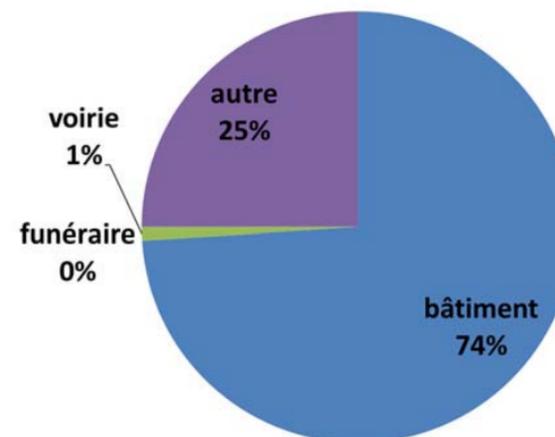


Figure 24 : Secteurs utilisateurs des ROC, toutes catégories confondues et principales catégories de pierres (% du chiffre d'affaire total de chaque sous-branche) (BRGM, 2014)

GT ANSES Silice cristalline

- Informations générales sur la silice
- Etude de filière
- **Histoire et sociologie de la connaissance des risques sanitaires**
- Réglementation
- Métrologie
- Expositions professionnelles et extra-professionnelles
- Effets sanitaires
- Prévention
- Conclusions et recommandations

Donaldson et Seaton, 2012)

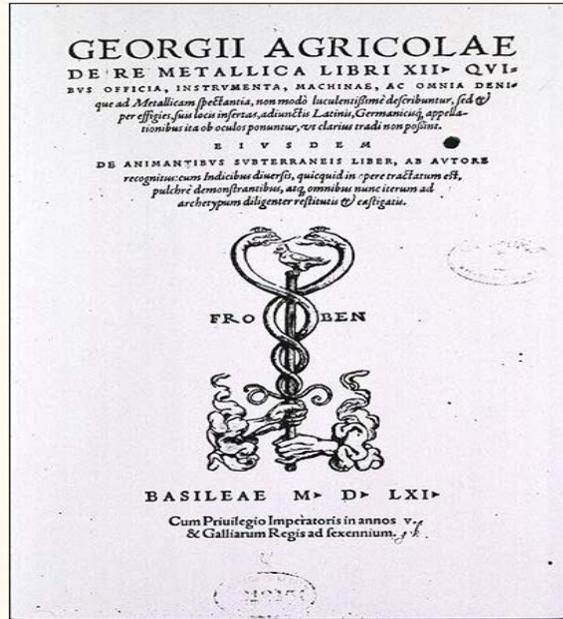


Figure 1
The front page of De re metallica (copyright expired; obtained through (Wikipedia commons).

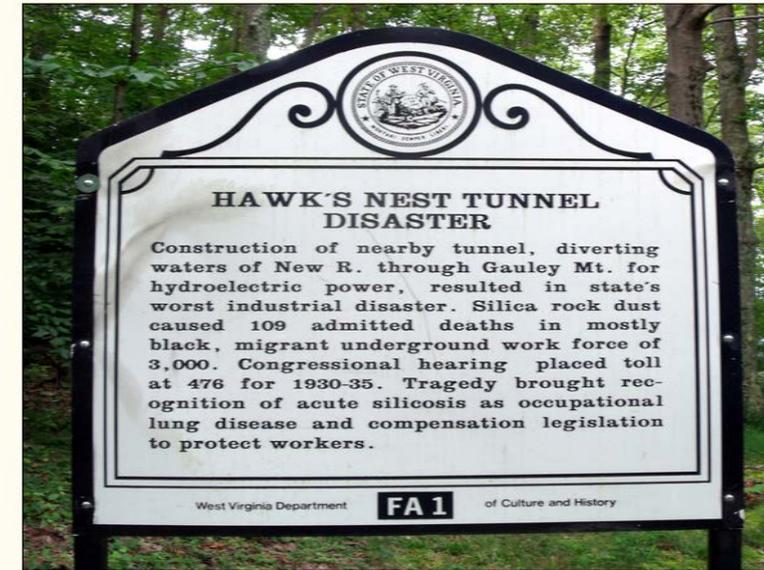


Figure 2
Hawk's Nest Tunnel memorial in Ansted, Fayette County, West Virginia, USA. (From the Historical Markers Database <http://www.hmdb.org/marker.asp?marker=34417>).

THE LANCET

Respiratory Medicine

Volume 7, Issue 4, April 2019, Page 283

Editorial

The world is failing on silicosis

Tableau 16 : principaux jalons de l'histoire mondiale de la reconnaissance des risques sanitaires liés à la silice cristalline depuis le début du 20e siècle

Date	Événement ou publication
1912	Loi sud-africaine sur l'indemnisation des mineurs atteints de silicose définie comme la « phtisie des mineurs » (« <i>miners' phthisis</i> »)
1915	Edgar Leigh Collis publie deux articles fondateurs sur la description de la silicose
1918	La loi britannique ouvre un droit à indemnisation de la silicose comme maladie professionnelle
1921	À une conférence tenue à Innsbruck (Autriche), le Syndicat international des tailleurs de pierre milite pour la reconnaissance de la silicose comme maladie professionnelle distincte de la tuberculose
1925	Première convention internationale du BIT sur les maladies professionnelles
1928	La législation britannique sur la silicose s'étend tout en restant restrictive sur les conditions d'indemnisation
1929	Ouverture de la reconnaissance légale à un droit d'indemnisation de la silicose en Allemagne
1929	La silicose devient indemnisable en Allemagne
1929	La Commission internationale permanente pour l'étude des maladies du travail (CIPEMT, devenue en 1931 Commission internationale permanente pour la médecine du travail, CIPMT) convoque une conférence sur la silicose à Lyon.
1930	Ouverture de la reconnaissance légale à un droit d'indemnisation de la silicose au Japon
13-27 août 1930	Conférence internationale sur la silicose, Johannesburg, co-organisée par la <i>Transvaal Chamber of Mines</i> (syndicat patronal des mines d'or sud-africaines) et le Bureau International du Travail (BIT), secrétariat de l'Organisation Internationale du Travail (OIT) créé en 1919 par le Traité de Versailles au sein de la Société des Nations (SDN)
1933	Article-clef publié par Edgar Leigh Collis et le statisticien Udny Yule
21 juin 1934	Convention internationale du travail C042, « convention (révisée) des maladies professionnelles » incluant la silicose dans son périmètre mais lui attribuant une définition « circulaire »
7 juin 1936	Sur proposition du ministère du Travail, de la Santé et de la Prévision de Front populaire, le Parlement républicain espagnol vote le caractère indemnisable de la silicose et de l'anthracose comme maladies professionnelles
Mai 1937	Compromis qui évite au patronat minier belge d'accepter l'indemnisation de la silicose
Fin 1937	46 États des États-Unis ont ouvert des droits à indemnisation de la silicose
2 août 1945	« Ordonnance sur la silicose » publiée en France au Journal officiel ; applicable à partir du 2 février 1946
1950	Le rhumatologue belge Émile Colinet rapporte le cas d'une patiente âgée de 30 ans ayant développé un tableau de polyarthrite rhumatoïde dans les suites d'une exposition à la silice.
1953	Le médecin gallois Anthony Caplan compile plus d'une cinquantaine de cas de patients atteints de pneumoconioses, notamment de silicose, associée à un tableau de polyarthrite rhumatoïde.
1955	Loi sur la silicose au Japon en vue d'une indemnisation plus juste
1957	Erasmus établit sur les mineurs d'Afrique du Sud un lien entre expositions à la silice cristalline et sclérodémie systémique
1958	Adoption d'un standard de lecture de clichés radiographiques de la silicose. Visée diagnostique, à l'initiative du BIT
1964	Réforme belge de l'indemnisation des maladies professionnelles qui permet d'indemniser les mineurs pneumoconiotiques dans de nouvelles conditions

Date	Événement ou publication
Fin des années 70	Des liens entre la survenue d'un lupus systémique et l'exposition à la silice cristalline sont mis en évidence
1992	La « sclérodémie systémique progressive » (que l'on nommerait plutôt aujourd'hui « sclérodémie systémique ») est incluse dans le Tableau n° 25 du régime général
1993	La « sclérodémie systémique progressive » (que l'on nommerait plutôt aujourd'hui « sclérodémie systémique ») est incluse dans le Tableau n° 22 du régime agricole
1997	Le syndrome de Caplan-Colinet entre dans le Tableau n° 25 du régime général (décret n° 97-454) en France
1997	Le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) classe la silice cristalline comme cancérigène du groupe 1
1998	Le syndrome de Caplan-Colinet entre dans le Tableau n° 22 du régime agricole (décret n° 98-483) en France
2000	Révision par le décret n° 2000-214 du 07/03/2000 du Tableau n° 25 avec inclusion de la sclérodémie systémique en tant que telle et non plus sous la forme d'une association avec une pneumoconiose
2008	Révision par le décret n°2008-832 du 22 août 2008 du Tableau n° 22 avec inclusion de la sclérodémie systémique en tant que telle et non plus sous la forme d'une association avec une pneumoconiose
2008	L'entrée du « lupus érythémateux disséminé » (plus communément désigné aujourd'hui comme « lupus systémique ») se fait dans le (seul) Tableau n° 22 du régime agricole (décret n°2008-832 du 22 août 2008).
2012-...	Travaux mettant en lumière une épidémie de silicoses et/ou de maladies auto-immunes sur des patients ayant travaillé des matériaux à haute teneur en silice cristalline (pierre artificielle utilisée pour installer des plans de travail dans les cuisines et, plus largement, à usage décoratif comme revêtement dans l'aménagement intérieur)
16 novembre 2015	Autosaisine de l'Anses dans l'objectif de « [mettre] à jour des connaissances concernant les dangers, expositions et risques relatifs à la silice cristalline », ainsi que de formuler « des propositions de mesures de réduction des risques et de prévention »
2016	Modification par l'OSHA de la valeur-limite d'exposition professionnelle (VLEP) à la fraction alvéolaire de la silice cristalline aux États-Unis
2017	Directive (UE) 2017/2398 du Parlement européen et du Conseil du 12 décembre 2017 modifiant la Directive 2004/37/CE concernant la protection des travailleurs contre les risques liés à l'exposition à des agents cancérigènes ou mutagènes au travail.

GT ANSES Silice cristalline

- Informations générales sur la silice
- Etude de filière
- Histoire et sociologie de la connaissance des risques sanitaires
- **Réglementation**
- Métrologie
- Expositions professionnelles et extra-professionnelles
- Effets sanitaires
- Prévention
- Conclusions et recommandations

5.1.1 Réglementation Européenne

5.1.1.1 Directive Agent cancérigènes ou mutagènes au travail

La directive (UE) 2017/2398 du Parlement européen et du Conseil du 12 décembre 2017 a modifié la directive Cancérigènes-Mutagènes. Elle ajoute à la liste de substances, préparations et procédés de l'Annexe I de la directive 2004/37/CE, les « travaux exposant à la poussière de silice cristalline alvéolaire issue de procédés de travail », et fixe une valeur limite contraignante de $0,1 \text{ mg.m}^{-3}$ applicable à la poussière de silice cristalline alvéolaire («fraction alvéolaire»), toute forme confondue. Il s'agit d'une valeur limite sur 8h. Cette dernière directive doit être transposée en droit national avant le 17 janvier 2020.

5.1.1.2 Classification et étiquetage : Règlement (CE) 1272/2008 dit règlement CLP (Classification, Labelling, Packaging)

La silice cristalline, sous aucune de ses formes, ne dispose d'une classification ou d'un étiquetage harmonisés dans le cadre du règlement CLP.

Tableau 17 : Valeurs limites d'exposition professionnelles réglementaires françaises

Valeur limite (mg.m⁻³)

Quartz

0,1

Cristobalite

0,05

Tridymite

0,05

PANS (poussières alvéolaires non silicogènes)

5

Indice d'exposition

$$\frac{C_Q}{V_Q} + \frac{C_C}{V_C} + \frac{C_T}{V_T} + \frac{C_{PANS}}{V_{PANS}} \leq 1$$

Avec : C_Q = concentration en quartz (mg.m⁻³), V_Q = valeur limite du quartz = 0,1 mg.m⁻³, C_C = concentration en cristobalite (mg.m⁻³), V_C = valeur limite de la cristobalite = 0,05 mg.m⁻³, C_T = concentration en tridymite (mg.m⁻³), V_T = valeur limite de la tridymite = 0,05 mg.m⁻³, C_{PANS} = concentration en poussières alvéolaires non silicogènes (mg.m⁻³), V_{PANS} = valeur limite des poussières alvéolaires non silicogènes = 5 mg.m⁻³

Tableau 20 : Tableau 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.

DÉSIGNATION DES MALADIES	DÉLAI de prise en charge	LISTE INDICATIVE DES PRINCIPAUX TRAVAUX susceptibles de provoquer ces maladies
- A -	- A -	- A -
Affections dues à l'inhalation de poussières de silice cristalline : quartz, cristobalite, tridymite.		Travaux exposant à l'inhalation des poussières renfermant de la silice cristalline, notamment : Travaux dans les chantiers et installations de forage, d'abattage, d'extraction et de transport de minerais ou de roches renfermant de la silice cristalline ; Travaux en chantiers de creusement de galeries et fonçage de puits ou de bures dans les mines ; Concassage, broyage, tamisage et manipulation effectués à sec, de minerais ou de roches renfermant de la silice cristalline. Taille et polissage de roches renfermant de la silice cristalline ; Fabrication et manutention de produits abrasifs, de poudres à nettoyer ou autres produits renfermant de la silice cristalline ; Travaux de ponçage et sciage à sec de matériaux renfermant de la silice cristalline ; Extraction, refente, taillage, lissage et polissage de l'ardoise ; Utilisation de poudre d'ardoise (schiste en poudre) comme charge en caoutchouterie ou dans la préparation de mastic ou aggloméré ; Fabrication de carborundum, de verre, de porcelaine, de faïence et autres produits céramiques et de produits réfractaires ; Travaux de fonderie exposant aux poussières de sables renfermant de la silice cristalline : décochage, ébarbage et dessablage ; Travaux de meulage, polissage, aiguisage effectués à sec, au moyen de meules renfermant de la silice cristalline ; Travaux de décapage ou de polissage au jet de sable contenant de la silice cristalline ; Travaux de construction, d'entretien et de démolition exposant à l'inhalation de poussières renfermant de la silice cristalline ; Travaux de calcination de terres à diatomées et utilisations des produits de cette calcination ; Travaux de confection de prothèses dentaires.
A1. - Silicose aiguë : pneumoconiose caractérisée par des lésions alvéolo-interstitielles bilatérales mises en évidence par des examens radiographiques ou tomodensitométriques ou par des constatations anatomopathologiques (lipo-protéinoïse) lorsqu'elles existent ; ces signes ou ces constatations s'accompagnent de troubles fonctionnels respiratoires d'évolution rapide.	A1. - 6 mois (sous réserve d'une durée minimale d'exposition de 6 mois)	

DÉSIGNATION DES MALADIES	DÉLAI de prise en charge	LISTE INDICATIVE DES PRINCIPAUX TRAVAUX susceptibles de provoquer ces maladies
<p>A2. - Silicose chronique : pneumoconiose caractérisée par des lésions interstitielles micronodulaires ou nodulaires bilatérales révélées par des examens radiographiques ou tomodensitométriques ou par des constatations anatomopathologiques lorsqu'elles existent ; ces signes ou ces constatations s'accompagnent ou non de troubles fonctionnels respiratoires.</p> <p>Complications :</p> <ul style="list-style-type: none"> - cardiaque : insuffisance ventriculaire droite caractérisée. - pleuro-pulmonaires : tuberculose et autre mycobactériose (<i>Mycobacterium xenopi</i>, <i>M. avium</i> intracellulare, <i>M. kansasii</i>) surajoutée et caractérisée ; nécrose cavitare aseptique d'une masse pseudotumorale ; aspergillose intracavitaire confirmée par la sérologie ; - non spécifiques : pneumothorax spontané ; surinfection ou suppuration bactérienne bronchopulmonaire, subaiguë ou chronique. <p>Manifestations pathologiques associées à des signes radiologiques ou des lésions de nature silicotique :</p> <ul style="list-style-type: none"> - cancer bronchopulmonaire primitif ; - lésions pleuro-pneumoconiotiques à type rhumatoïde (syndrome de Caplan-Colinet). 	A2. - 35 ans (sous réserve d'une durée minimale d'exposition de 5 ans)	
A3. - Sclérodémie systémique progressive.	A3. - 15 ans (sous réserve d'une durée minimale d'exposition de 10 ans)	
- B -	- B -	- B -
Affections dues à l'inhalation de poussières minérales renfermant des silicates cristallins (kaolin, talc) ou du graphite :		
Pneumoconioses caractérisées par des lésions interstitielles bilatérales révélées par des examens radiographiques ou tomodensitométriques ou par des constatations anatomopathologiques lorsqu'elles existent, que ces signes radiologiques ou ces constatations s'accompagnent ou non de troubles fonctionnels respiratoires :	35 ans (sous réserve d'une durée minimale d'exposition de 10 ans)	Travaux exposant à l'inhalation de poussières minérales renfermant des silicates cristallins (kaolin, talc) ou du graphite, notamment :
B1. - Kaolinose.		B1. - Travaux d'extraction, de broyage et utilisation industrielle du kaolin : faïence, poterie.
B2. - Talcose.		B2. - Travaux d'extraction, de broyage, de conditionnement du talc ; Utilisation du talc comme lubrifiant ou comme charge dans l'apprêt du papier, dans la préparation de poudres cosmétiques, dans les mélanges de caoutchouterie et dans certaines peintures.
B3. - Graphitose.		B3. - Manipulation, broyage, conditionnement, usinage, utilisation du graphite, notamment comme réfractaire ; Fabrication d'électrodes.

La répartition des maladies professionnelles par secteur d'activités met en lumière quelques secteurs d'activités plus impactés (Figure 25):

- Métallurgie (NAF 24 et 25) ;
- Construction (NAF 41, 42 et 43) ;
- Fabrication des produits minéraux et non métalliques (NAF 23) ;
- Industries extractives (NAF 08) ;
- Autres industries manufacturières (NAF 32) ;
- Industrie automobile (NAF 29).

Il est à noter que pour plus de de la moitié des MP, le secteur d'activités n'est pas renseigné (reporté « XX » dans la Figure 25).

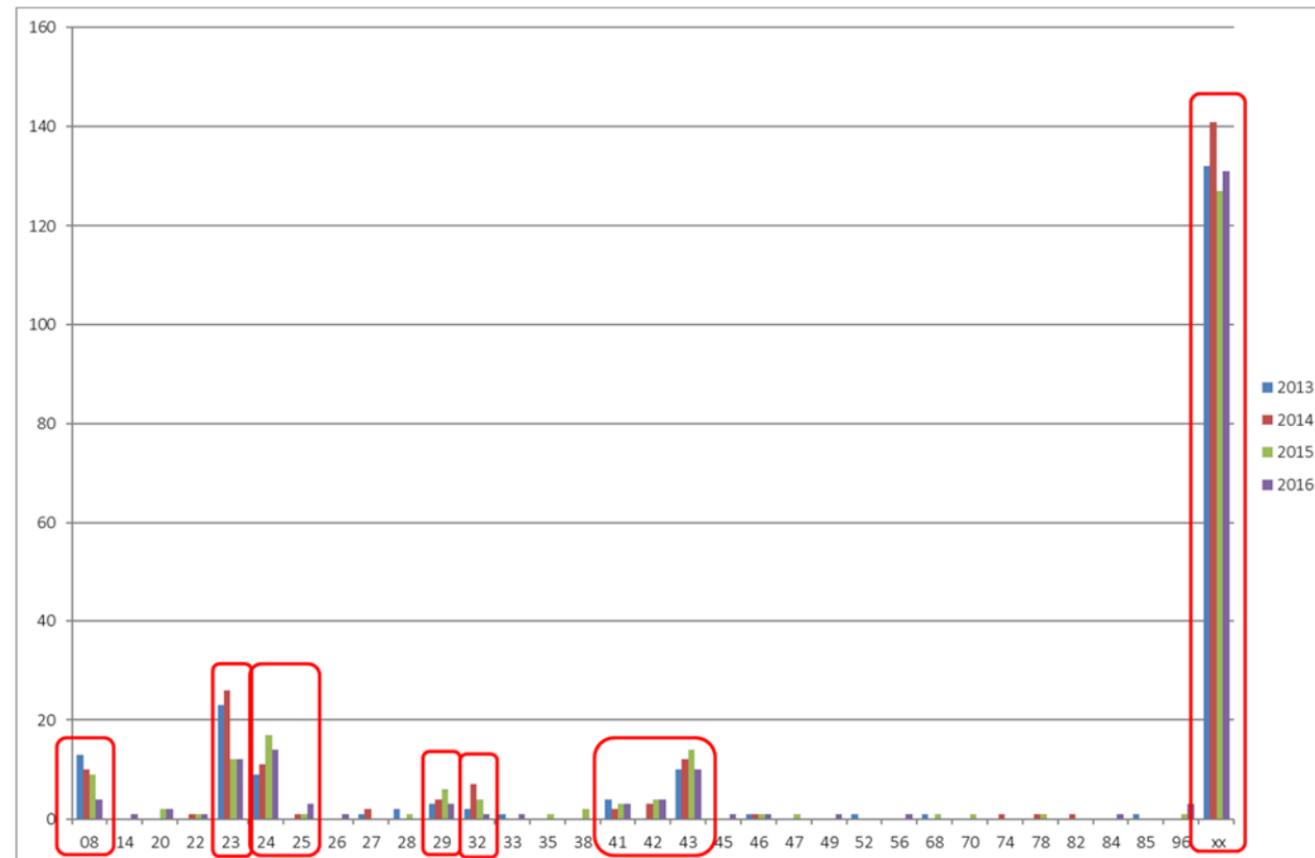


Figure 25 : répartition des MP (tableau 25) selon le secteur d'activité (NAF 2008, source CNAMTS)

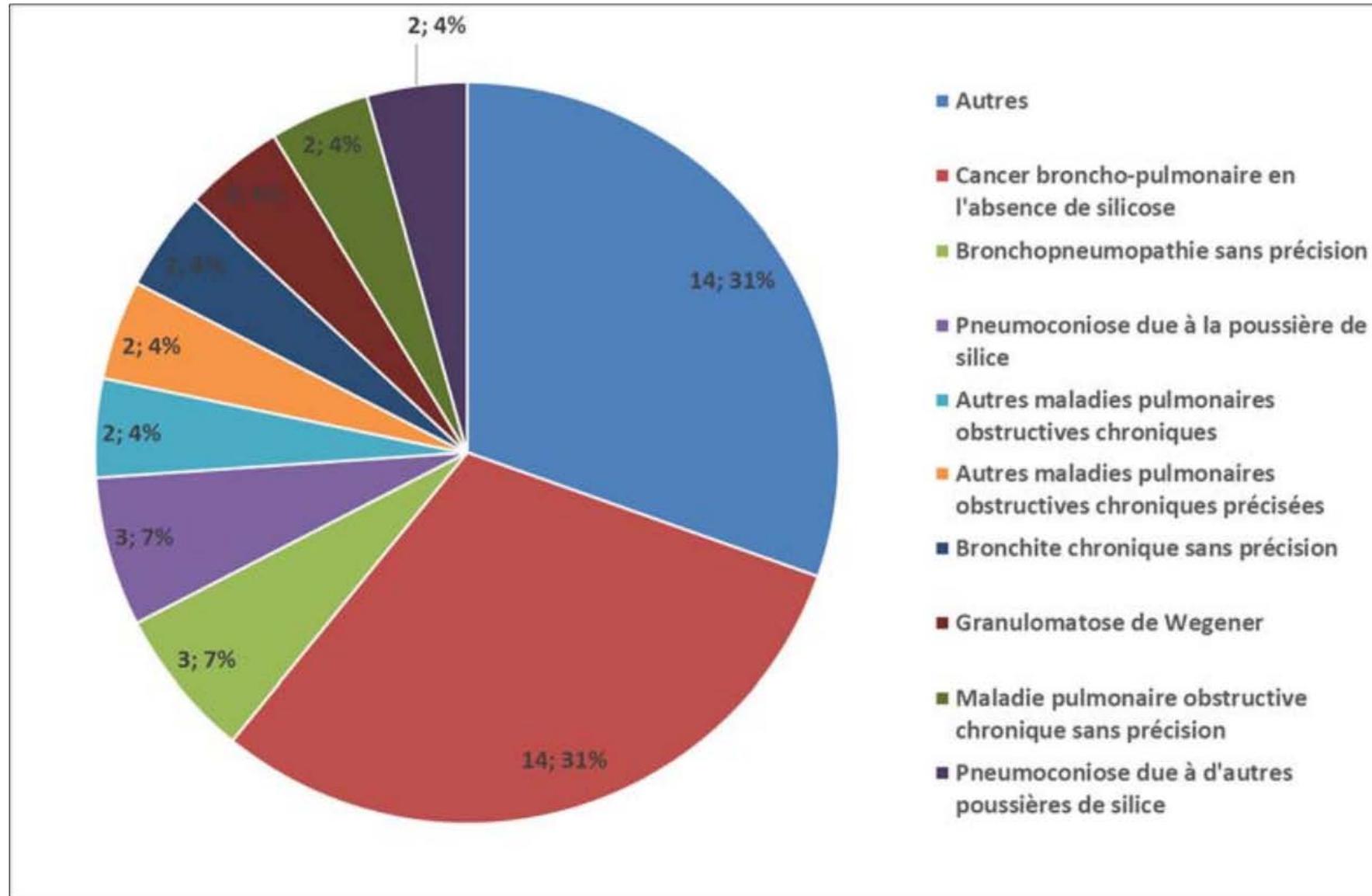


Figure 26 : Répartition des pathologies reconnues en MP hors tableau – 1998 - 2017 (la catégorie « autres » regroupe les pathologies ayant fait l'objet d'1 reconnaissance entre 1998 et 2017, source CNAMTS)

GT ANSES Silice cristalline

- Informations générales sur la silice
- Etude de filière
- Histoire et sociologie de la connaissance des risques sanitaires
- Réglementation
- **Métrologie**
- Expositions professionnelles et extra-professionnelles
- Effets sanitaires
- Prévention
- Conclusions et recommandations

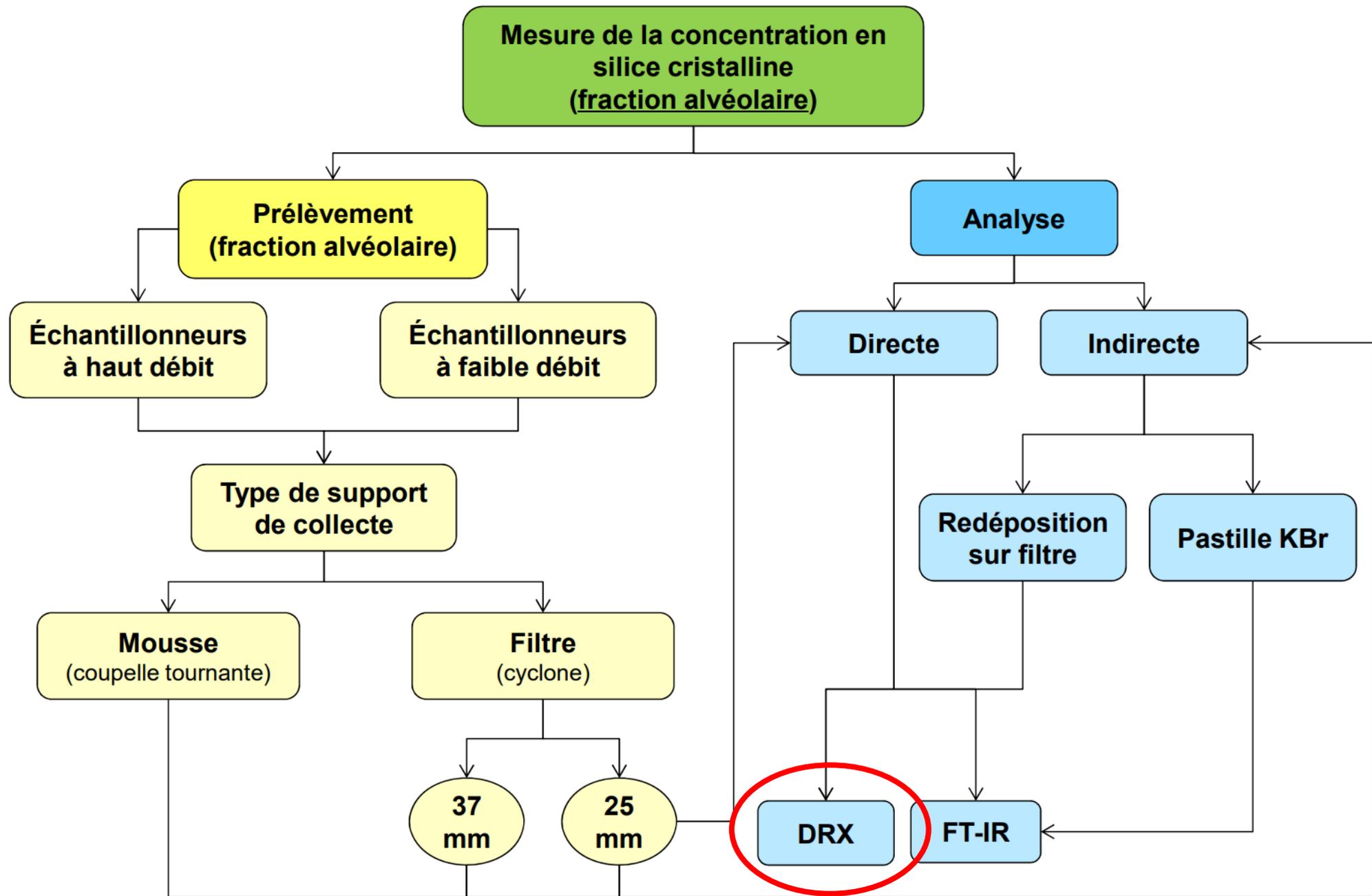


Figure 2 : Méthodes de mesure de la silice cristalline dans l'air

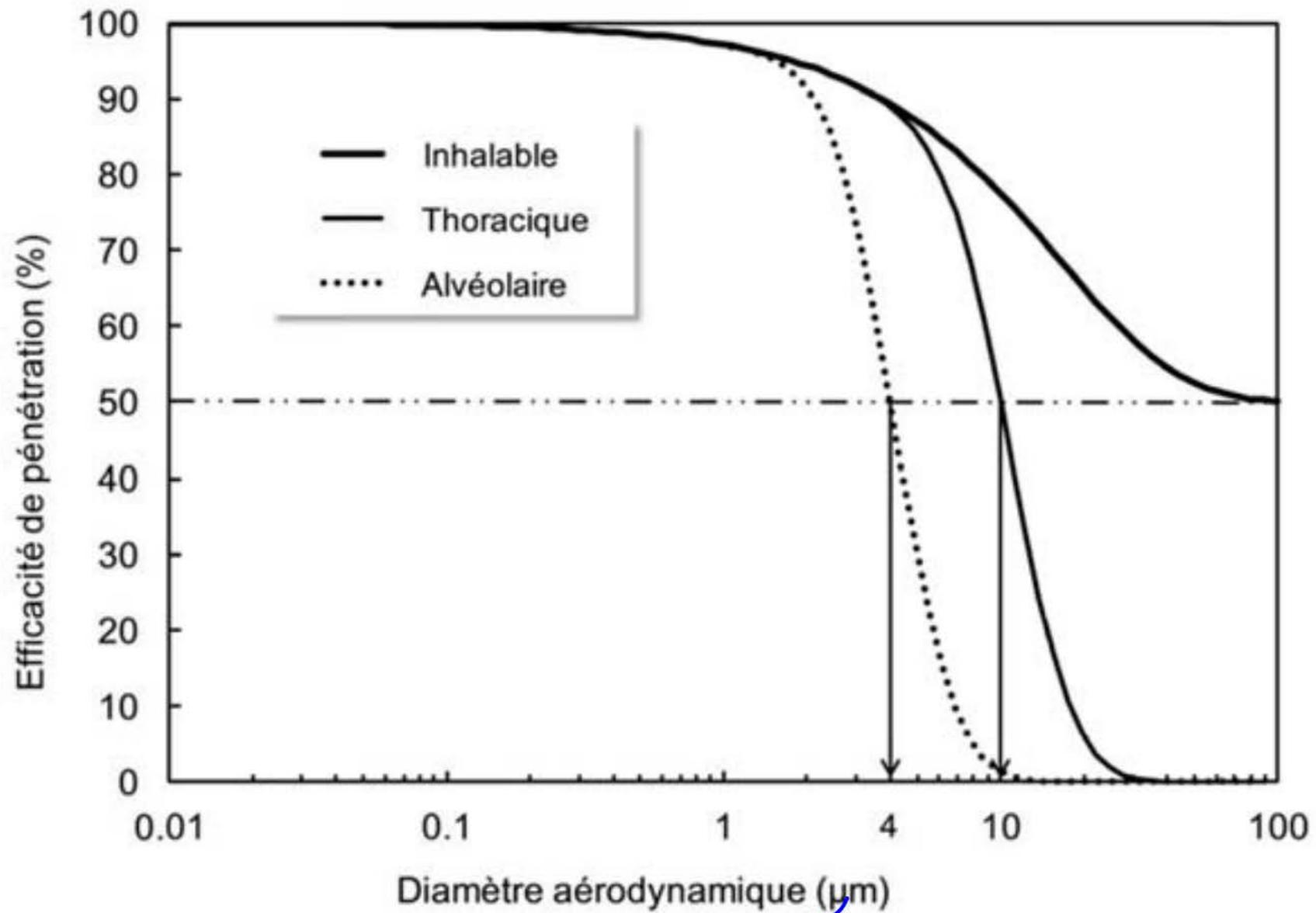
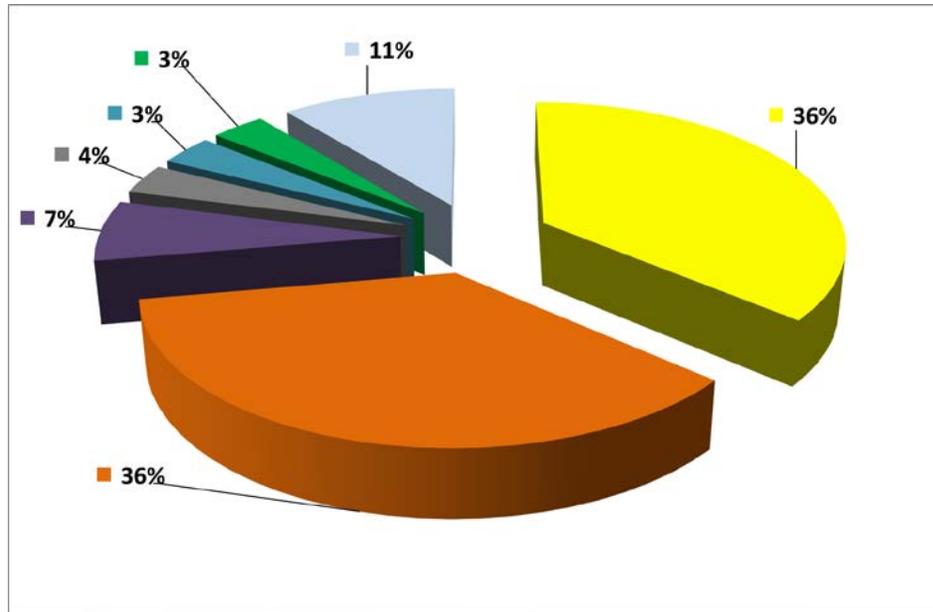


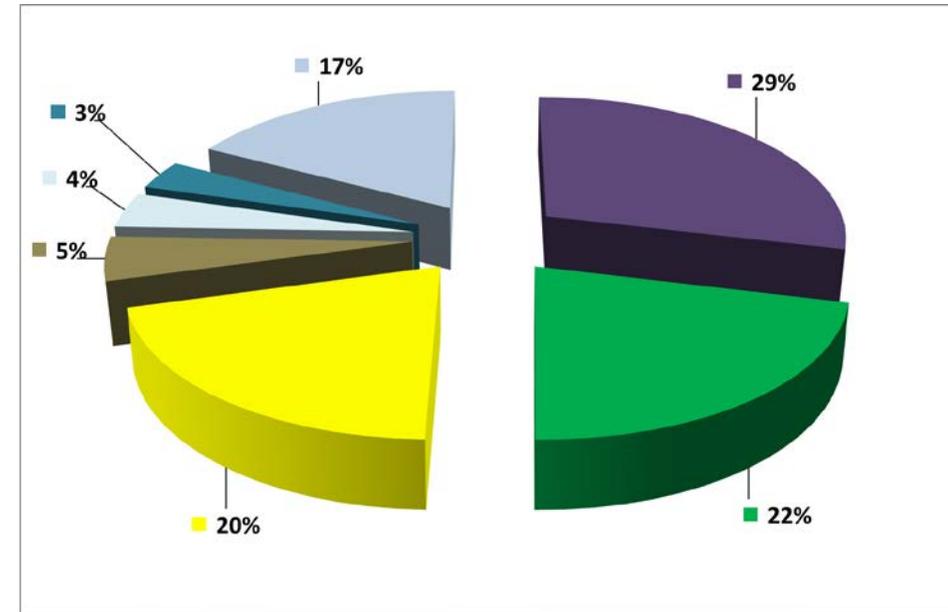
Figure 29 : Fractions conventionnelles inhalable, thoracique et alvéolaire (source INRS)

Données de mesures individuelles (Scola et Colchic – 2007-2016)

Secteurs d'activité investigués



SCOLA – 2007-2016
(N= 27 025 mesures)



COLCHIC – 2007-2016
(N= 2 653 mesures)

- CG - Fabrication de produits en caoutchouc et en plastique ainsi que d'autres produits minéraux non métalliques
- CH - Métallurgie
- FZ - Construction
- CM - Autres industries manufacturières ; réparation et installation de machines et d'équipements

- BZ - Industries extractives
- EZ - Production et distribution d'eau ; assainissement, gestion des déchets et dépollution
- CE - Industrie chimique
- Autres

INRS : données Colchic et Scola

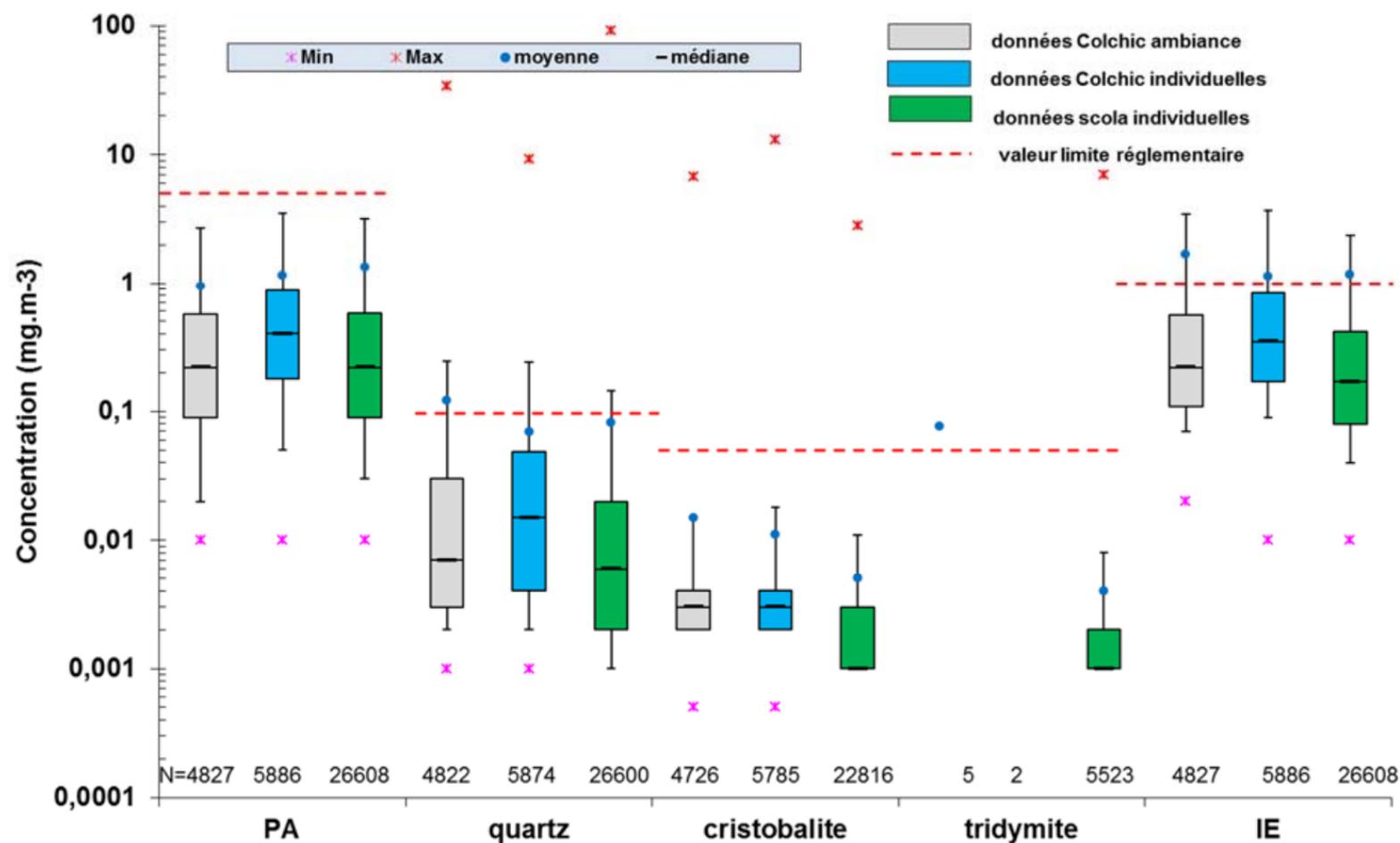


Figure 32 : Distribution des concentrations en poussières alvéolaires (PA (COLCHIC) et PANS (SCOLA)), quartz, cristobalite, tridymite et de l'indice d'exposition (IE) - Résultats globaux. COLCHIC (1997-2016) et SCOLA (2007-2016)

INRS : données Colchic et Scola

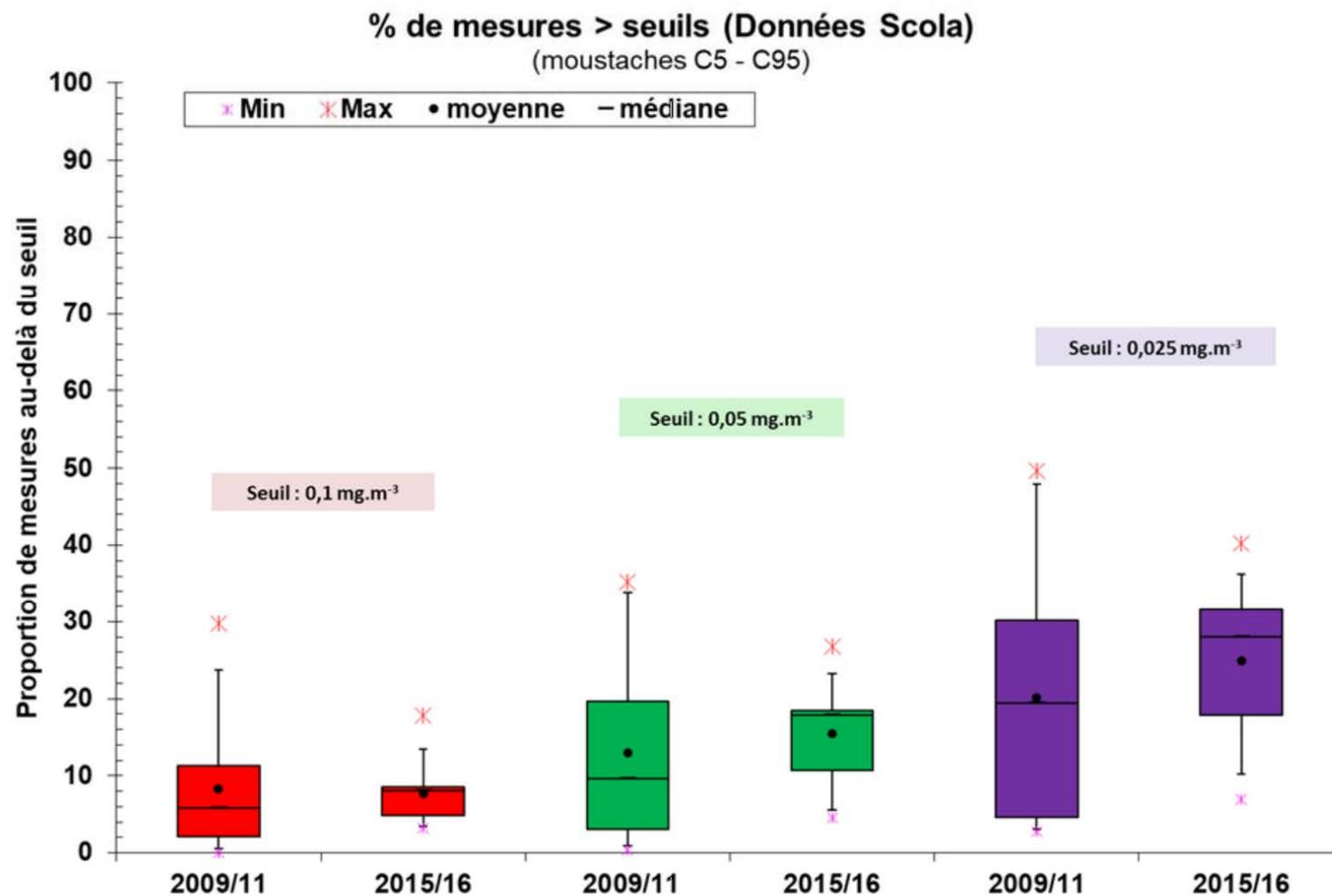


Figure 38 : Proportion de mesures d'exposition au quartz supérieures aux-seuils considérés –11 secteurs d'activité - SCOLA

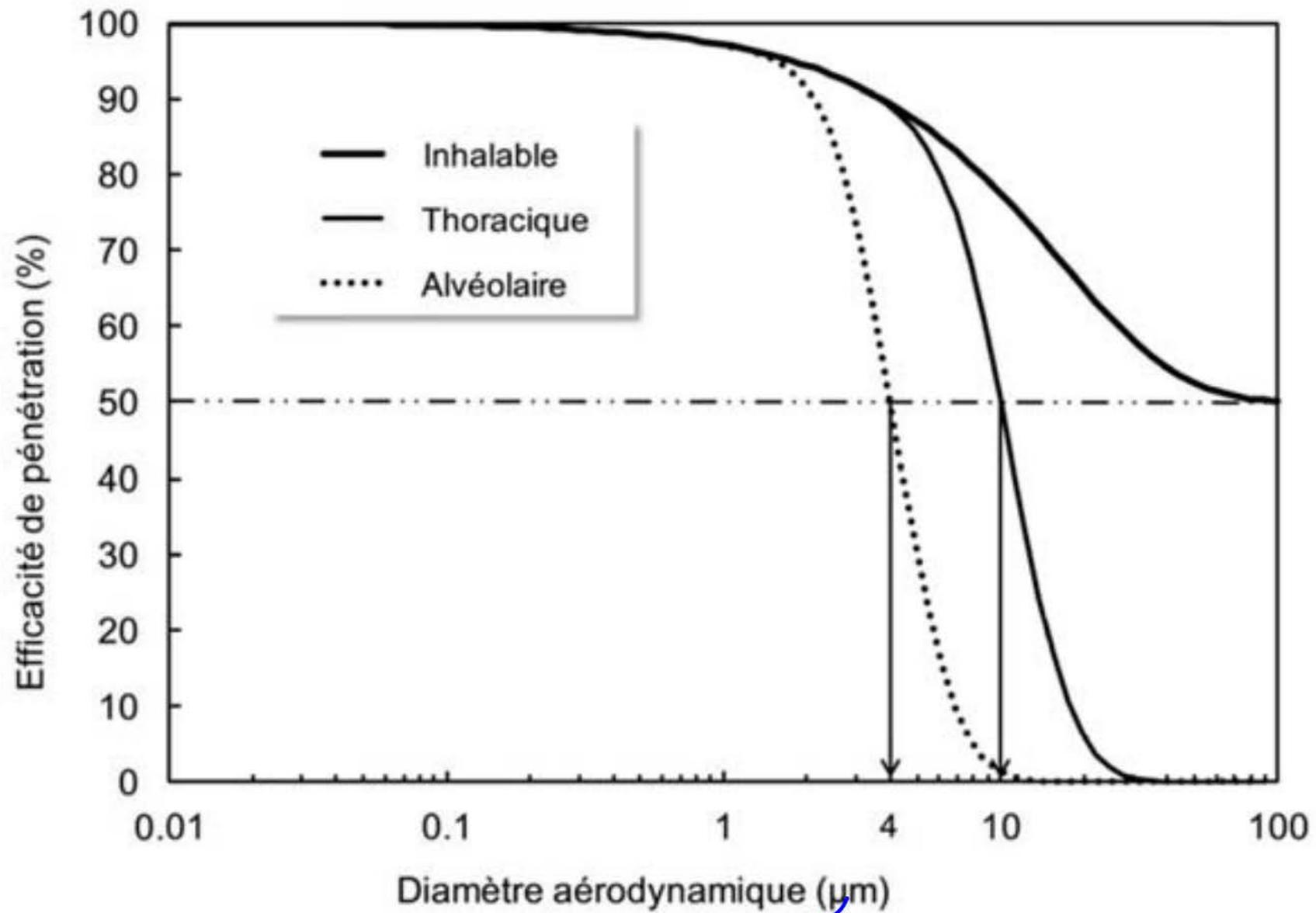
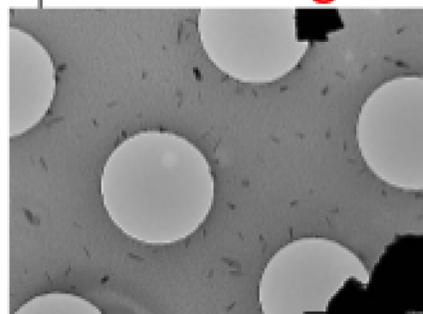
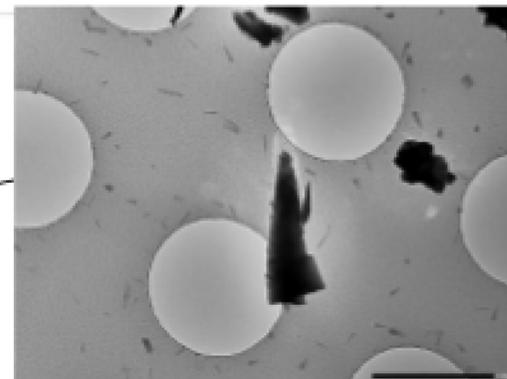
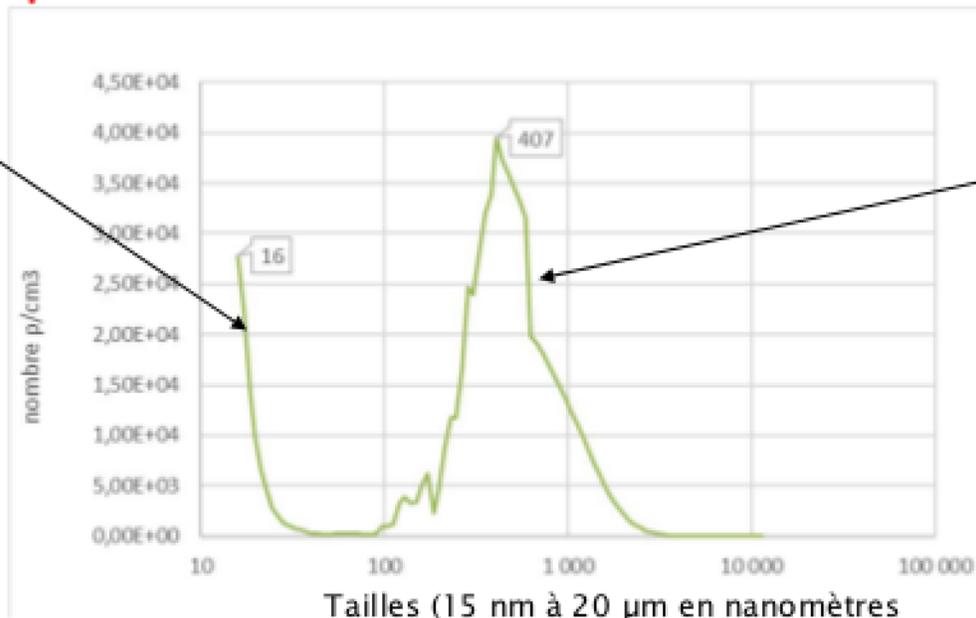


Figure 29 : Fractions conventionnelles inhalable, thoracique et alvéolaire (source INRS)

Distribution en tailles et MET des particules émises lors du découpage d'un bloc granit pendant 15 min.



Objet nanométrique de silice cristalline



Objets submicroniques de silice cristalline

Moyenne de distribution en tailles lors de 15 minutes de découpage :

- Mesures entre 16 nm et 20 µm.
- Fortes concentrations observées ($\sim 30\,000 \text{ \#/cm}^3$). Modes principaux observés : $< 16 \text{ nm}$ et 407 nm .

Microscopie en Transmission (MET) :

- Forte présence de silice cristalline nanométrique ($< 100 \text{ nm}$) avec quelques objets submicroniques ($< 1 \mu\text{m}$).
- Peu de silice cristalline au dessus de $1 \mu\text{m}$.

GT ANSES Silice cristalline

- Informations générales sur la silice
- Etude de filière
- Histoire et sociologie de la connaissance des risques sanitaires
- Réglementation
- Métrologie
- **Expositions professionnelles et extra-professionnelles**
- Effets sanitaires
- Prévention
- Conclusions et recommandations

Tableau 10 : Effectifs par filière (d'après l'audition de MIF, 2016)

Industries	Effectifs (2013)
Verrerie	20 000
Céramique	7 000
Plasturgie	211 000
Papier	80 000
Peintures & vernis	14 500
Fonderie	41 000
Caoutchouc	27 000
Bâtiment	1 114 200
Travaux publics	259 150

Synthèse résultats Sumer 2010 et 2017

Année de l'enquête	N total travailleurs (effectif redressé)	N travailleurs exposés (effectif redressé)	Proportion de travailleurs exposés (%)	N Répondants (effectif brut)
2010	21 606 951	294 852	1,36	47 983
2017	24 787 985	365 194	1,47	26 494

Secteurs d'activité (nomenclature Agrégée)	N total travailleurs (effectif redressé)	N travailleurs exposés (effectif redressé)	Proportion travailleurs exposés dans le secteur d'activité (% redressé)	N Répondants (effectif brut)
<i>BZ - Industries extractives</i>	31 345 (21 245)	12 728 (7 900)	40,6 (37,2)	36 (68)
FZ - construction	1 389 532 (1 518 671)	170 414 (156 787)	12,3 (10,3)	1401 (2436)
CM - Autres industries manufacturières ; réparation et installation de machines et d'équipements	294 742 (316 363)	27 292 (11 047)	9,3 (3,5)	309 (774)
CH - Métallurgie et fabrication de produits métalliques à l'exception des machines et des équipement	249 168 (362 259)	19 632 (19 248)	7,9 (5,3)	543 (898)
CG - Fabrication de produits en caoutchouc et en plastique ainsi que d'autres produits minéraux non métalliques	239 878 (341 972)	16 272 (18 778)	6,8 (5,5)	283 (739)

En italique : secteurs d'activité avec moins de 100 répondants à l'enquête
Entre parenthèse : données de l'enquête 2010

INRS : données Colchic et Scola

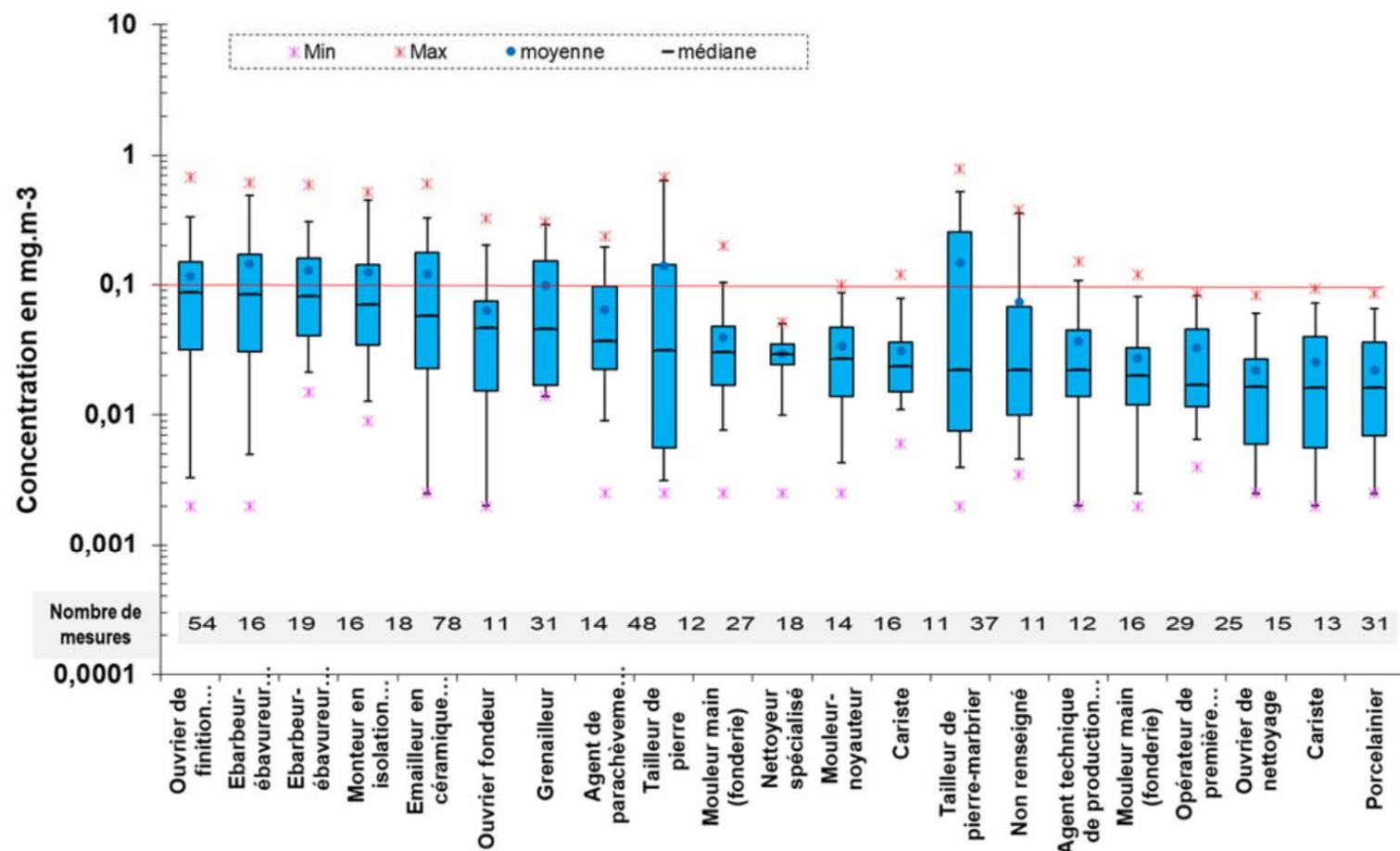
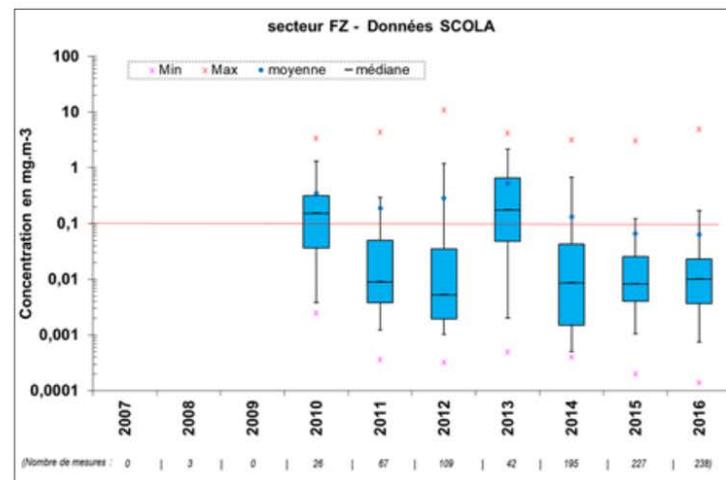
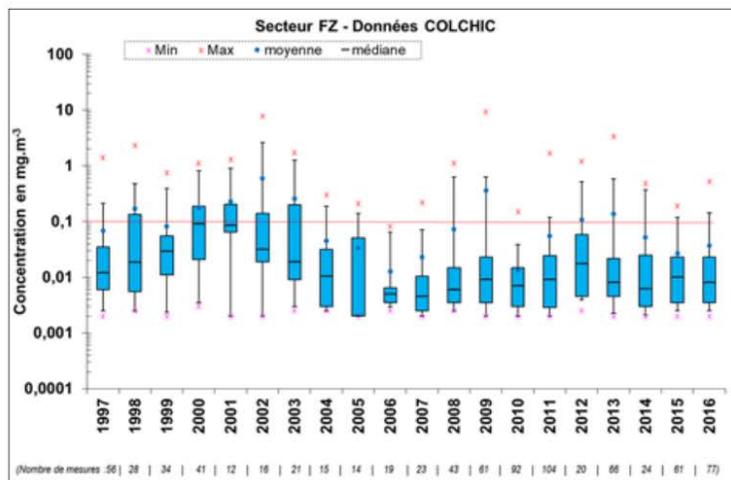
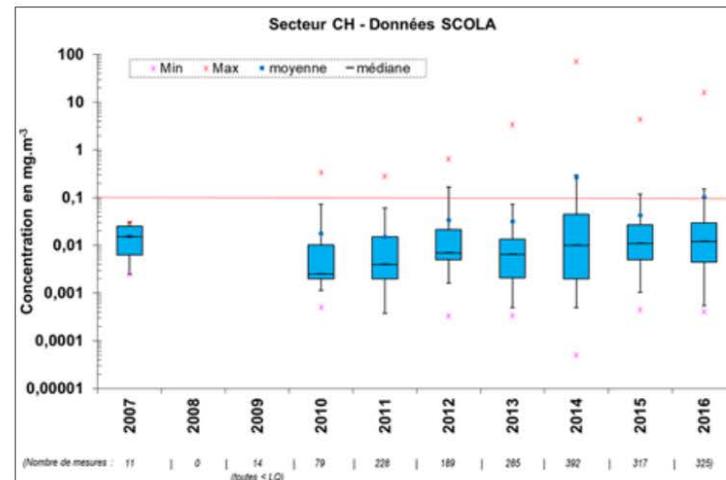
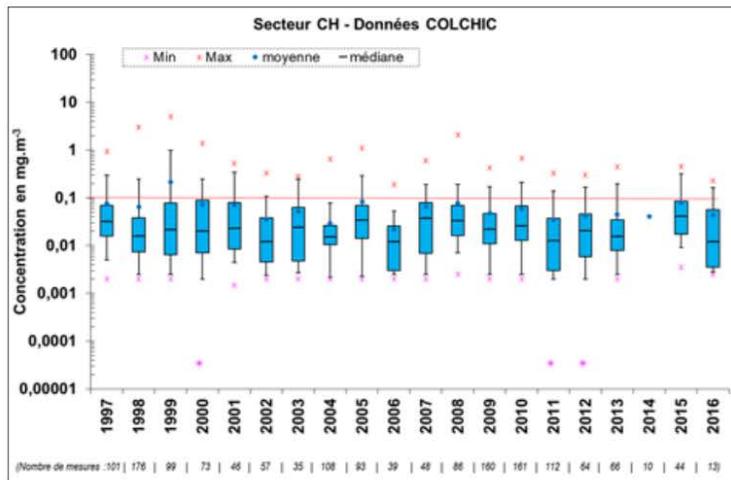


Figure 39 : Couples métiers/NAF pour lesquels les médianes des mesures d'exposition sont les plus élevées – COLCHIC – période 2007-2016.

INRS : données Colchic et Scola



Secteur de la construction



Métallurgie et fabrication de produits métalliques à l'exception des machines et des équipements

Tableau 15 : Principaux secteurs d'activité et des tâches exposantes à la silice cristalline

Secteurs d'activité/industrie	Tâches exposantes	Source de la silice
Agriculture	Labour, Récolte, utilisation des engins	Sol
Mines et opérations liées à l'extraction minière	Extraction et opérations mécaniques sur le minerai, Activités secondaires (chargement et déchargement des camions...)	Matériau extrait, minerais et roches associées
Carrières de roches siliceuses	Opérations mécaniques sur le matériau extrait : extraction, traitement, taille... Activités secondaires (chargement et déchargement des camions) Expositions d'ambiance	Grès, granit, flint, sable, gravier, ardoise, terre de diatomée
Construction/BTP	Décapage abrasif au jet de sable, fabrication béton et macadam, construction de tunnel et autoroute, excavation, opérations mécaniques du béton, maçonnerie, démolition	Sable, béton, pierre, brique, parpaing, mortier, plaster, roche, sol,
Verrerie (dont fibre de verre)	Préparation des matières premières, polissage et gravure sur verre au sable, réparation.	Sable, quartz broyé, matériaux réfractaires
Cimenterie	Préparation des matières premières, chargement/déchargement ciment	Matière première (argile, sable, calcaire, terre de diatomée), ciment
Abrasifs/ sables industriels	Production de produits abrasifs, production de carbonate de silicium, ensacage	Sable
Céramiques (dont briques, poterie, porcelaine, réfractaires, émaux)	Mélangeage, moulage, finition, cuisson, préparation des matières premières, glaçage, émail	Matières premières (argile, kaolin, feldspath), sable, terre de diatomée, silix, schiste argileux
Fer and réparation de fours industriels en briques réfractaires	Démolition des parois du four, découpe de briques neuves	Matériaux réfractaires
Silicone et silicone ferreux	Manutention de matières premières	Sable
Fonderies et Métaux	Décapage abrasif ; fonderie (fabrication de moules, démoulage et nettoyage) ; ébarbage ...	Sable, minerai, matériaux réfractaires
Construction navale	Décapage abrasif	Sable
Caoutchouc et plastiques	Manutention de matières premières	Charges (terre de diatomée, farine de silice...)
Peintures	Manutention de matières premières	Charges (terre de diatomée, farine de silice...)
Cosmétiques et savons	Poudre à récurer, savons abrasifs	Farine de silice
Asphaltes et feutre de toiture	Remplissage et application de granulés	Sables et agrégats, terre de diatomée
Produits chimiques pour l'agriculture	Broyage de matières premières, manutention	Minerais et roche de phosphate
Bijouterie	Coupes, boyrages, polissage, fabrication de moules, démoulage et nettoyage pièces moulées	Pierres semi précieuses, abrasifs, matériaux réfractaires, sable
Matériaux dentaires	Sablage, Polissage, fabrication de moules, démoulage et nettoyage pièces moulées	matériaux réfractaires, sable, ponce, abrasifs
Réparation automobile	Décapage abrasif	Sable
Boiler scaling	Chaudière à charbon	Cendres
Taille de pierres siliceuses (sculpture...)	Taille, polissage	Pierres (plus ou moins siliceuses)

Matrice Emploi Exposition *silice*

Tableau 33 : Évolution des niveaux d'exposition de certains emplois au fil du temps (source Portail Exp-Pro de SPF)

Libellé PCS 2003	Période d'exposition	Probabilité d'exposition %	Intensité d'exposition mg.m ⁻³	Fréquence d'exposition %
Autres spécialistes de l'appareillage médical (indépendants et salariés)	1947-1985	[35-45[	[0,1-0,5[	[45-55[
	1986-2007	[35-45[	[0,02-0,1[	[25-35[
Modeleurs (sauf modeleurs de métal), mouleurs-noyauteurs à la main, ouvriers qualifiés du travail du verre ou de la céramique à la main / fabrication verre , céramique	1947-1970	[85-95[	[0,5-1[	[65-75[
	1971-1998	[85-95[	[0,1-0,5[	[45-55[
	1999-2007	[85-95[	[0,02-0,1[	[25-35[
modeleurs (sauf modeleurs de métal), mouleurs-noyauteurs à la main, ouvriers qualifiés du travail du verre ou de la céramique à la main / sidérurgie	1947-1970	[95-100]	[0,5-1[	[85-95[
	1971-1985	[95-100]	[0,5-1[	[65-75[
	1986-1998	[95-100]	[0,1-0,5[	[65-75[
	1999-2007	[95-100]	[0,1-0,5[	[45-55[
artisans en terrassement, travaux publics	1947-1970	[85-95[	[0,1-0,5[	[85-95[
	1971-2007	[85-95[	[0,02-0,1[	[85-95[
	1947-1970	[55-65[	[0,5-1[	[25-35[

Matrice Emploi Exposition *silice*

Chez les hommes, les secteurs d'activité caractérisés par la prévalence d'exposition la plus élevée correspondent aux secteurs de la « fabrication d'autres produits minéraux non métalliques » et des « industries extractives » (prévalence d'environ 45%), puis le secteur de la construction (prévalence de 40%) et le secteur de la métallurgie (prévalence de 20%).

La prévalence d'exposition vie entière augmente en fonction de l'âge : en 2007 environ 7% des hommes âgés de 20 à 29 ans ont été exposés au moins une fois dans leur vie professionnelle, environ 10% des hommes de 30 à 39 ans, 18% des hommes de 40 à 49 ans et près de 20 % des hommes âgés de 50 à 59 ans.

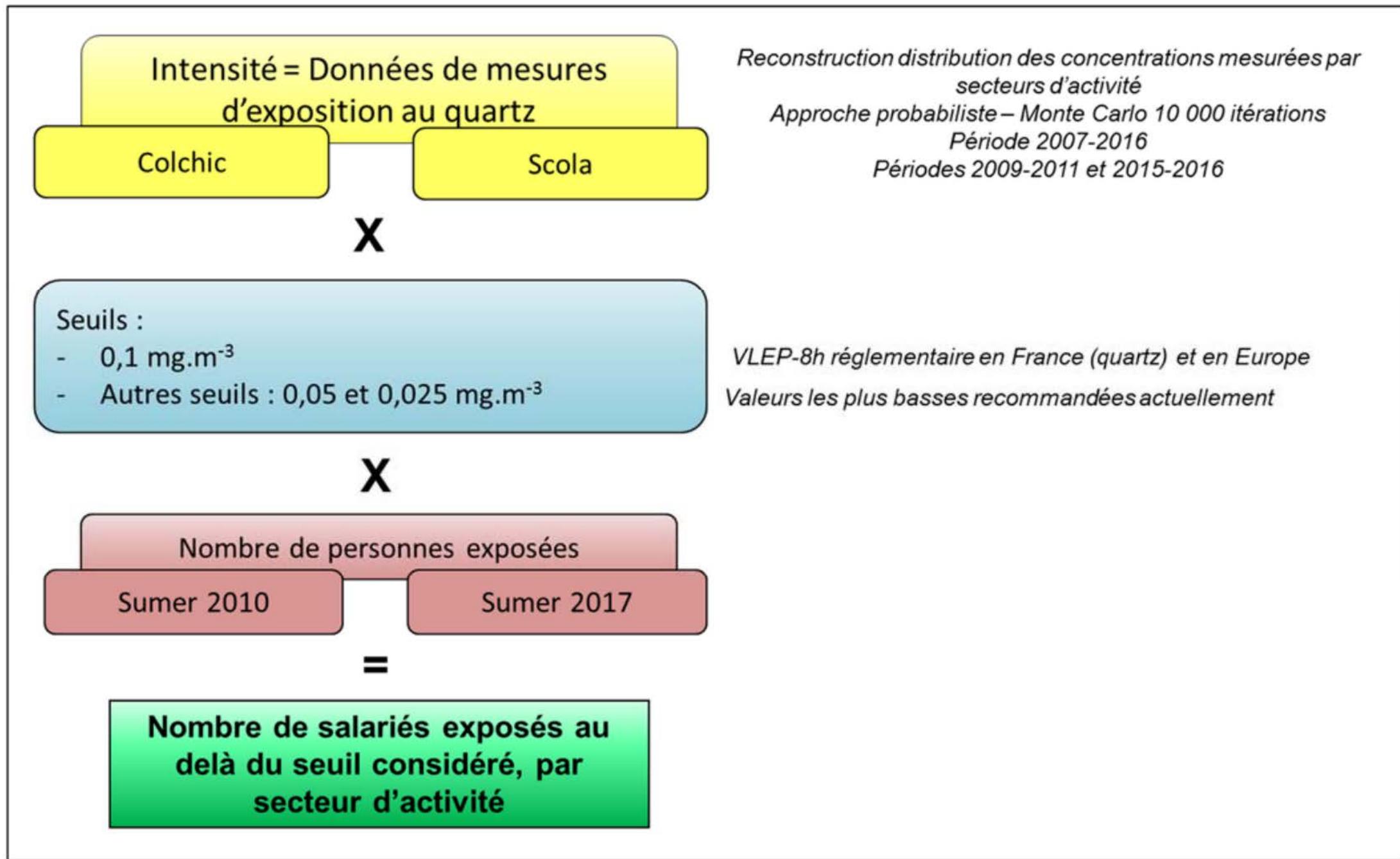


Figure 41 : Principe général : caractérisation de l'exposition à la silice cristalline en France

Tableau 72 : Nombre de salariés exposés au-delà des seuils considérés – Estimation à partir de SCOLA (2007-2016) et COLCHIC (2007-2016)

Sources des données		N exposés au-delà de		
		0,1 mg.m ⁻³	0,05 mg.m ⁻³	0,025 mg.m ⁻³
SCOLA (2007-2016)	SUMER 2010	23 758 (23 025)	40 908 (39 383)	91 957 (59 581)
	SUMER 2017	29 875 (27 683)	47 773 (43 456)	70 039 (63 016)
COLCHIC (2007-2016)	SUMER 2010	21 982 (20 549)	43 895 (40 623)	63 418 (58 689)
	SUMER 2017	22 084 (17 575)	43 891 (34 584)	62 809 (48 334)

Expositions extra-professionnelles

Tableau 82 : Concentration en silice cristalline ambiantes, aux alentours des chantiers de construction ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) (Stacey *et al.* (2011))

Zone de mesure	min	max	médiane	N
Air urbain	0,08	0,44	0,24	8
Activités générales	0,08	0,39	0,19	9
Construction route	0,11	1,04	0,64	10
Découpe blocs	0,16 (0,33)	11,9 (12,8)	1,2 (1,8)	7
démolition	0 (0,31)	11,5 (13,5)	0,94 (2,1)	22

Expositions extra-professionnelles

Tableau 84 : Niveaux d'exposition à la silice cristalline lors d'activités de réfection d'une salle de bain
(Source étude : audition IMA, 2018).

Jour	Activité	Durée de l'activité (heures)	Concentration en poussière alvéolaire mg.m ⁻³	Teneur en silice cristalline dans les poussières alvéolaires (%)	Concentration en silice cristalline alvéolaire lors de l'activité (mg.m ⁻³)	Exposition à la silice cristalline alvéolaire sur la journée (mg.m ⁻³ - moyennée sur 8h)
1	Enlever les carrelages	5	2	5	0,1	0,138
	Égaliser/poncer le mur	1	2	20	0,4	
	Nettoyer à sec	0,5	2	20	0,4	
2	Couper/scier les carrelages	1	5	5	0,25	0,063
	Mélange adhésif/mortier	0,5	5	5	0,25	
	Placer le carrelage (partie 1)	5,5	0,1	5	0,005	
	Nettoyer à sec	0,5	2	10	0,2	
	Placer le carrelage (partie 2)	5	0,1	5	0,005	
3	Mélange adhésif/mortier	0,5	5	5	0,25	0,050
	Poncer la peinture	0,5	2	10	0,2	
	Remplissage crevasses & ponçage	0,5	2	5	0,1	
	Nettoyer à sec	0,5	2	10	0,2	
4	Peinture	6,5	0	0	0	0,0003
	Enlever traces de peinture & nettoyer à sec	0,5	0,1	5	0,005	

GT ANSES Silice cristalline

- Informations générales sur la silice
- Etude de filière
- Histoire et sociologie de la connaissance des risques sanitaires
- Réglementation
- Métrologie
- Expositions professionnelles et extra-professionnelles
- **Effets sanitaires**
- Prévention
- Conclusions et recommandations

Identification de rapports de synthèse récents (rapports de référence)

CIRC (2012)

OSHA (2013)

SWEA (2014)

Mise à jour des données issues des rapports de référence

Revue de la littérature scientifique via
Pubmed/Scopus à partir de 2009

Identification de revues de synthèse

+ Inclusion possible d'études originales
ciblées et récentes identifiées par les experts

+ Inclusion rapport de synthèse ATSDR (2017)

Conclusions préliminaires du groupe de travail

Identification de questions en suspens

Analyses bibliographiques complémentaires

Investigation des questions en suspens

Conclusions par effets

Données toxicologiques

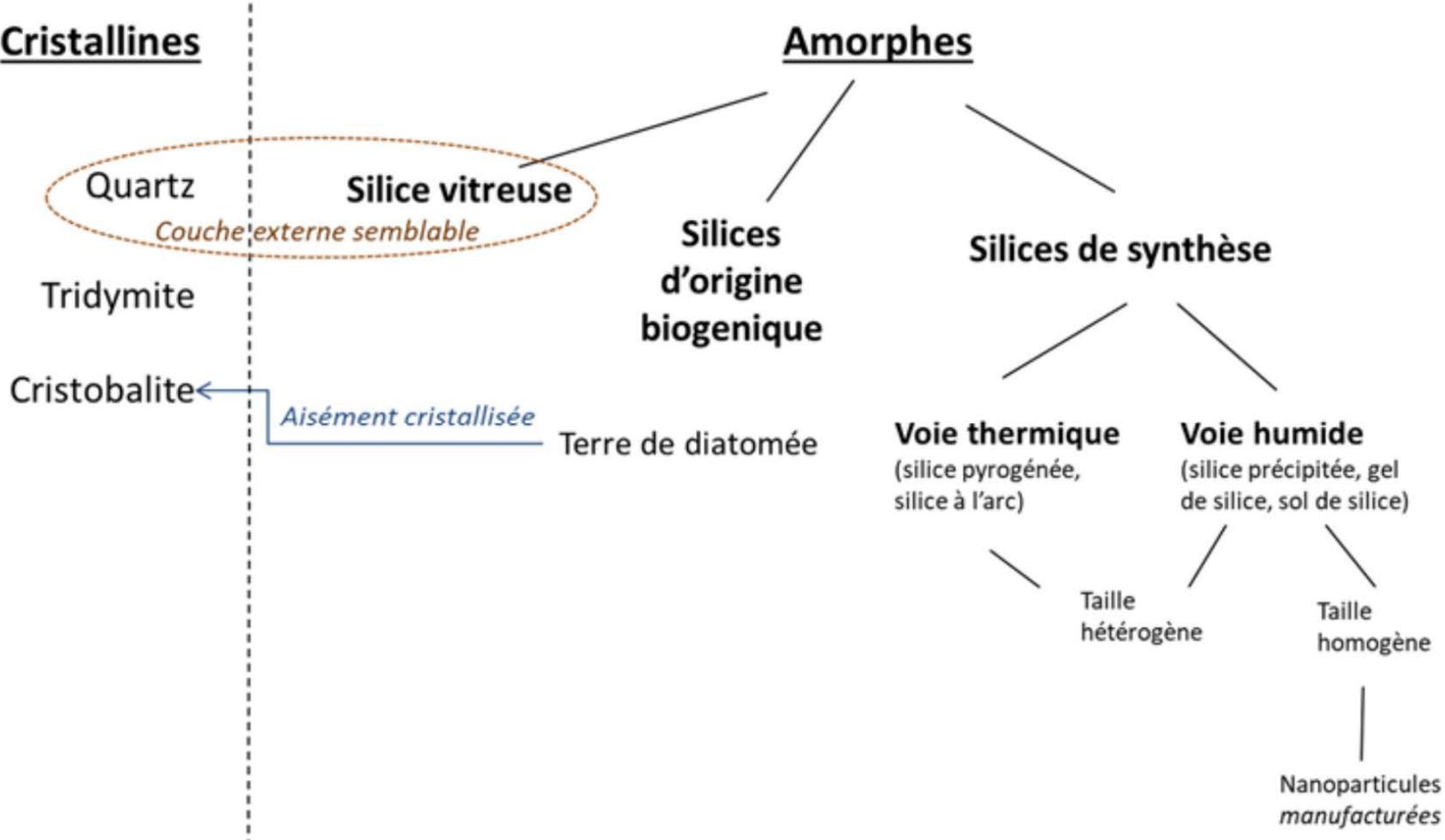


Figure 50 : Particules de silices auxquelles l'être humain peut être exposé

Tableau 87 : Classification des atteintes pulmonaires associées à une exposition à la silice cristalline (Rees et al. (2016))

Pneumoconioses (silicose)	
Silicose chronique	≥ 15 à 20 ans exposition ; concentrations de silice cristalline modérée
Silicose accélérée	≤ 10 ans exposition (pouvant être très courts) ; niveaux élevés d'exposition
Silicoprotéïnose aigüe	Temps d'expositions très courts, de quelques semaines à 1-2 ans ; niveaux très élevés d'exposition avec protéïnose alvéolaire
Fibrose massive progressive (PMF)	Formes évoluées de silicose avec lésions histologiques ≥ 10 mm
Atteinte des voies aériennes	
Maladies des petites voies aériennes (MPVA)	Lésions des petites voies aériennes (bronchioles respiratoires) avec fibrose, inflammation et dépôt de particules
Bronchite chronique	Non spécifique : toux et expectoration
BPCO	Définition clinique identique à celle due au tabac
Emphysème	Associé à la silice, même sans pneumoconiose
Autres	
Nodules silicotiques-rhumatoïdes (Syndrome de Colinet et Caplan)	Volumineux nodules ≥ 3cm ; histologie particulière associant nodules rhumatoïdes et nodules silicotiques (polyarthrite rhumatoïde)
Fibrose pulmonaire sans silicose	Quelques cas rapportés ou études épidémiologiques.
« Hut lung »	Pneumoconiose domestique d'étiologies mixtes
Pneumopathie interstitielle désquamante (PID)	Alvéolite macrophagique

Silicose: histoire naturelle

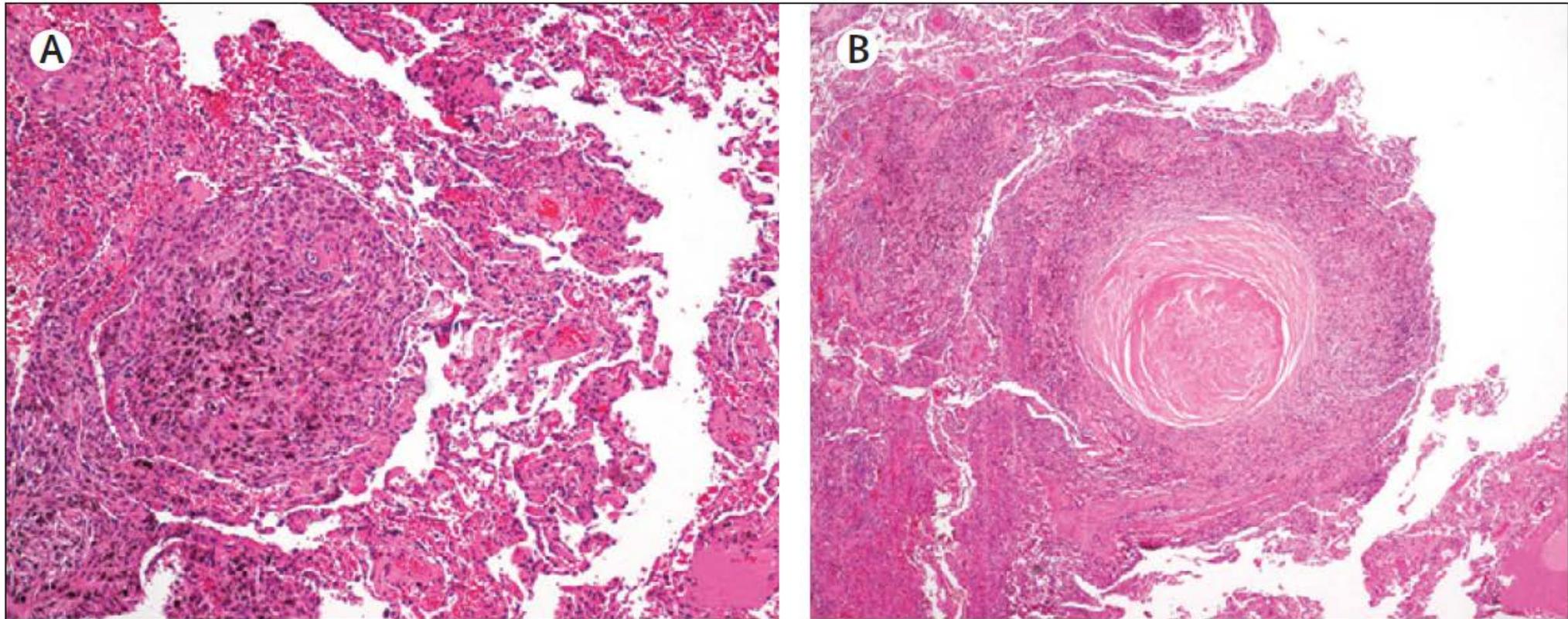


Figure 1: Histological sections of lung with silicotic lesions

Early silicotic lesion as cellular nodule of dust-laden macrophages (A; $\times 100$). Chronic silicotic nodule with concentric fibrosis in the centre and peripheral dust-laden macrophages (B; $\times 40$).

Silicose: imagerie



Tableau 88 : Estimation du taux de progression de la silicose (d'après OSHA, 2013)

Etude	Population professionnelle	Concentration moyenne de silice cristalline alvéolaire	Taux de progression	Taux de progression moyen annuel
Ng, Chan, et al., 1987	Carriers (granit) à Singapour	0,48 mg.m ⁻³	45 % des cas de silicose simple ont progressé sur une moyenne de 7,2 ans	6,2 %
Miller et al., 1998	Mineurs de charbon	0,12 mg.m ⁻³	29 % ont progressé (à au moins 1/0) sur une période moyenne de suivi de 16 ans	≈ 2 %
Hughes et al., 1982	Sableurs	0,98 mg.m ⁻³	65 % de progression globale sur une moyenne de 11,3 ans	≈ 6 %
Hessel et al., 1988	Mineurs d'or sud-africains	0,97 mg.m ⁻³ (élevée) 0,48 mg.m ⁻³ (moyenne) 0,24 mg.m ⁻³ (faible)	92 % ont progressé en 14 ans	NR
Yang et al., 2006	Travailleurs chinois des mines et usines	NR	48,7% de progression jusqu'au stade 1 sur une période d'environ 5,1 ans	NR

Tableau 2 : Evaluation du lien de causalité entre l'exposition à la silice cristalline et quatre pathologies auto-immunes

MAI / Critères de causalité	Polyarthrite rhumatoïde	Sclérodermie systémique	Lupus	Vascularites ANCA+
Force de l'association	Risque > 2	Risque > 15	Risque > 2 voire 4 chez les plus exposés	Risque > 1,5
Temporalité de l'association	Plus de 50 ans	Plus de 50 ans	Plus de 25 ans	Données variables
Spécificité	Oui	Oui	Discutable	Pas de données
Cohérence chronologique	Travaux de cohorte	Travaux de cohorte	Travaux de cohorte	Données variables
Relation dose-réponse	Oui	Oui	Oui	Pas de données
Cohérence externe	Oui	Oui	Oui	oui
Analogie	Tabac, autres poussières inorganiques	solvants	solvants	Pas de données franches
Plausibilité biologique	NLRP-3 Citruillisation Action conjointe du tabac	NLRP-3 et fibrose	NLRP-3 et antinucléaires Netose Apoptose/necroptose	Silice et netose
Preuves expérimentales	NLRP-3 ²⁶ et Citruillisation Rapports silice et modèles murins plus spéculatifs	NLRP-3 et fibrose : validée dans certains modèles murins de fibrose inflammatoire. Impact direct de la silice à préciser dans les modèles de sclérodermie systémique	Silice et AAN ²⁷ dans les modèles murins lupidiques	Données sur netose et silice mais pas de mise en relation directe avec les vascularites à ANCA
Conclusion sur le lien de causalité	Certain +	Certain et Fort ++	Certain +	Possible +/-

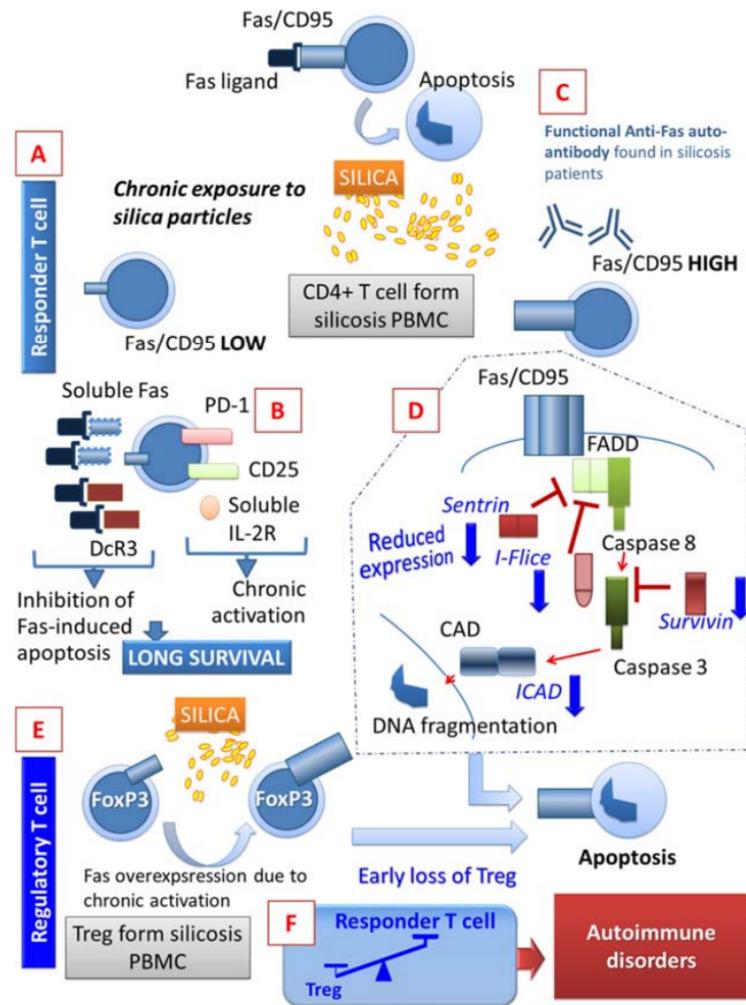


Figure 56 : Les grands mécanismes immunotoxiques de la silice cristalline (selon Otsuki *et al.* (2016))

En A : l'exposition chronique à la silice cristalline chez les sujets ayant développé une silicose (SIL) entraîne une survie prolongée d'une fraction des lymphocytes T helper, par résistance à l'apoptose CD95-Fas-induite par surproduction d'inhibiteurs comme la forme soluble de Fas et hyperexpression du récepteur DcR3. (« Decoy receptor 3 », récepteurs aux facteurs de nécrose tumorale (TNF)). Par ailleurs (B) une fraction anormalement élevée de récepteurs solubles à l'IL2 (IL2R) dans le sérum de SIL témoigne de l'activation chronique de cette population T.

À l'inverse, **en E**, une hyper-expression de Fas sur les lymphocytes T régulateurs (TReg FOXP3) les rend plus sensibles à l'apoptose, d'où le déséquilibre (F) dans la régulation immunitaire.

En D, sont indiqués les mécanismes en cascade menant à l'apoptose cellulaire dans les Tregs après activation de Fas. Dans les cellules mononucléées du sang périphérique (PBMC) de SIL est observée une réduction de l'expression de la survivine, sentrine et I-Flice, inhibiteurs naturels de la voie d'activation de la caspase 3

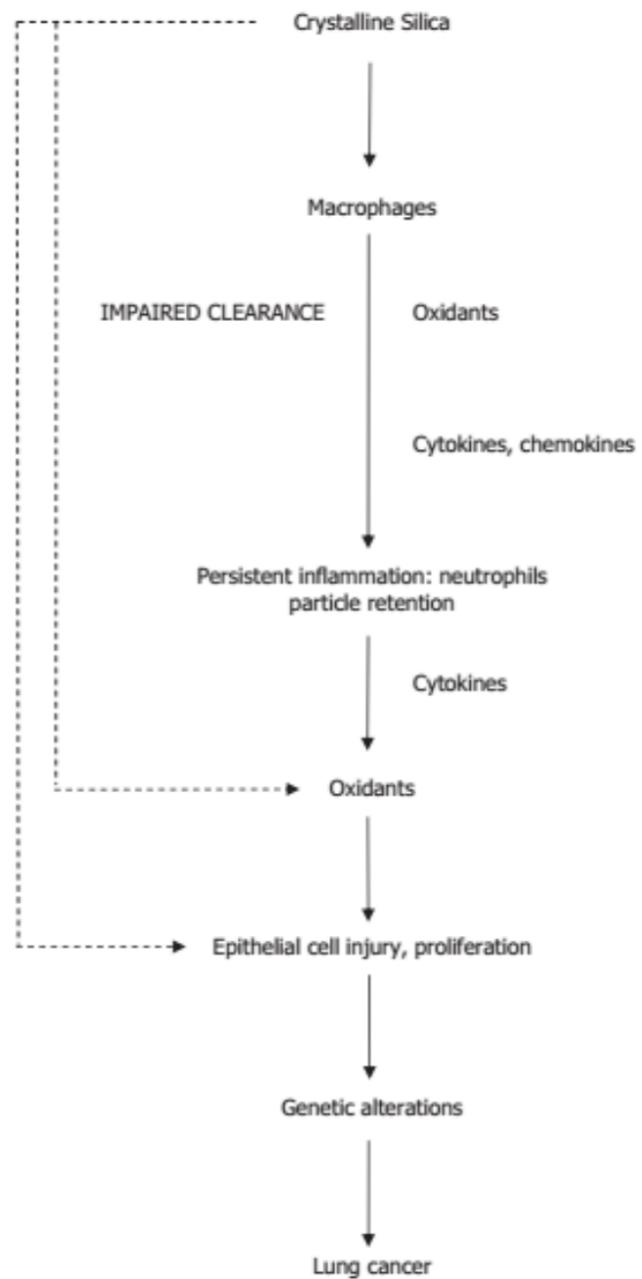


Figure 57 : Mécanisme de cancérogénicité chez le rat de la silice cristalline proposé par le CIRC (1997)

Silice et cancer broncho-pulmonaire

Toutes les études combinées (n)	FES (95% IC)	RES (95% IC)
Silicotiques (38)	2,1 (2,0 -2,3)	2,1 (1,9 -2,3)
Non-silicotiques (11)	1,2 (1,1-1,3)	1,2 (1,0 -1,3)

La prise en compte du tabac, lorsqu'elle est possible, fait disparaître le risque chez les non silicotiques.

Études ajustées sur le tabac (n)	FES (95% IC)	RES (95% IC)
Silicotiques (9)	2,1 (1,8 – 2,4)	2,2 (1,8 – 2,7)
Non-silicotiques (3)	1,0 (0,8 – 1,3)	1,0 (0,8 – 1,3)

Tableau 98 : Etudes de mortalité ayant analysé la relation dose-effet pour le cancer broncho-pulmonaire et la pneumoconiose / Niveau d'exposition cumulée de silice cristalline (mg.m⁻³-années) à partir duquel le risque devient significatif

Références	Cancer broncho-pulmonaire		Pneumoconiose	
	Dose	Risque *	Dose	Risque *
Lai <i>et al.</i> , 2018	≤ 0,49	(1,67)	> 0,84	NS
Liu, Zhou, <i>et al.</i> , 2017	0,01-0,56	(1,43)	1,05-1,75	(3)
Gallagher <i>et al.</i> , 2015	2,26-5,6	(1,98)	1-2,6 [NMRD]	(1,93)
Graber <i>et al.</i> , 2014	>4,13	NS	2,22-3,30	(1,32)
Chen, Liu, <i>et al.</i> , 2012	0,01-1,23	(1,45)	>1,24-4,46	(4,36)
Olsen <i>et al.</i> , 2012	≥ 1	NS	≥1	NS
Vacek <i>et al.</i> , 2011	4-10	NS	3,65-6,71	(8,62)
Zhang <i>et al.</i> , 2008	0,1-111,9	(1,8)	120-219	(2,9)
Chen <i>et al.</i> , 2006	0,1-29,9	(2,65)	0,1-29,9	(8,11)
Brown et Rushton, 2005	≥ 1	NS	≥ 1	NS
McDonald <i>et al.</i> , 2005	≥ 4.5	NS	> 9	NS
Attfield <i>et al.</i> , 2004	1,5-2	(1,47)	1,0-1,5	(2,16)
Checkoway <i>et al.</i> , 1997	> 5	(2,11)	> 5	(4,79)

* : p < 0.05 ; NMRD : Non Malignant Respiratory Disease ; NS : Non Significatif

Tableau 101 : Etudes de mortalité analysant la relation dose-effet CBP chez les sujets non silicotiques / sujets silicotiques

Références	Dose cumulée	Tous sujets	Sujets non silicotiques
Liu <i>et al.</i> , 2013	0,01 – 1,12	1,12	1,02
	1,12 – 2,91	1,55 *	1,26
	2,91 – 6,22	1,63 *	1,40 *
	> 6,22	1,52 *	1,50 *
Checkoway <i>et al.</i> , 1999	< 0,5		1,04
	0,5 – 1,9		0,79
	2,0 – 4,9		1,81
	≥ 5		2,96 *
Ulm <i>et al.</i> , 1999	< 1,56		1
	1,56 – 2,88		0,95
	2,89 – 4,68		0,92
	< 4,68		1,04

* : p < 0.05

Pathologies respiratoires non malignes autres que la silicose

- SC ↗ risque de **bronchite chronique, emphysème, altération des fonctions respiratoires (réduction des débits expiratoires) et tuberculose**
⇒ *Développement possible de ces pathologies en l'absence de silicose*
- **Relation dose-réponse significative pour la mortalité**
⇒ *Aucun seuil identifié*
- **Facteurs associés à ↗ risque de silicotuberculose** : durée d'exposition, dose de SC inhalée, co-infection par le VIH, tabagisme

Cancers extra-pulmonaires

- Peu évalués
- **Aucune association avérée** avec une exposition à la silice cristalline, mais suggestion d'un lien avec les cancers digestifs

Pathologies rénales

- **Risque majoré de maladies rénales** chez travailleurs exposés à la SC

MAIS : estimation du risque de décès par insuffisance rénale (IR)

⇒ *causes sous-jacentes ou associées à l'IR (diabète, HTA, co-exposition à des métaux lourds)*

⇒ *difficulté d'étudier l'IR (caractère tardif et asymptomatique, absence de biopsie rénale)*

⇒ **Impossible d'affirmer que cette majoration du risque est due à la SC seule**

Effets cardio-vasculaires

- Evocation de l'existence d'une relation avec la mortalité par pathologies cardiaques
- ⇒ **Impossible de conclure spécifiquement sur le rôle des particules de silice cristalline**

L'OSHA a calculé des excès de risques individuels pour les travailleurs exposés à différentes valeurs cibles d'exposition (0,100 mg.m⁻³, 0,05 mg.m⁻³ et 0,025 mg.m⁻³ de silice cristalline alvéolaire) en supposant une exposition des travailleurs tout au long de leur vie professionnelle, c'est-à-dire 45 ans. Pour les estimations du risque de mortalité, l'OSHA a utilisé des modèles développés par divers chercheurs et utilisé une table de mortalité.

Quel que soit le paramètre sanitaire considéré, les excès de risques individuels associés à une exposition professionnelle de 45 ans à 0,025 mg.m⁻³ sont supérieurs à 1 pour 1000, et supérieurs à 10 pour 1000 s'ils sont associés à une exposition professionnelle de 45 ans à 0,1 mg.m⁻³.

GT ANSES Silice cristalline

- Informations générales sur la silice
- Etude de filière
- Histoire et sociologie de la connaissance des risques sanitaires
- Réglementation
- Métrologie
- Expositions professionnelles et extra-professionnelles
- Effets sanitaires
- **Prévention**
- Conclusions et recommandations

Tableau 113 : Tableau récapitulatif des VLEPs analysées dans le cadre de l'expertise

Pays/ Organisation	Substances	Nom/durée	Valeur guide (fraction alvéolaire)	Effets considérés pour l'établissement de la valeur
VALEURS REGLEMENTAIRES CONTRAIGNANTES				
France (1997)	Quartz Cristobalite Tridymite	VLEP-8h (8h/j, 40h/sem)	0,1 mg.m⁻³ 0,05 mg.m⁻³ 0,05 mg.m⁻³	Non précisé
OSHA (2016)	Silice cristalline (quartz, cristobalite et tridymite)	PEL-TWA (8h/j, 40h/sem)	0,05 mg.m⁻³ Seuil d'alerte : 0,025 mg.m⁻³	Cancer pulmonaire, silicose, effets respiratoires non cancérogènes et effets rénaux
UE (2017)	Silice cristalline (quartz, cristobalite et tridymite)	VLEP-8h	0,1 mg.m⁻³	Silicose et cancer pulmonaire
VALEURS RECOMMANDÉES				
NIOSH (1974, 2002)	Silice cristalline (quartz, cristobalite et tridymite)	REL-TWA (10h/j, 40h/sem)	0,05 mg.m⁻³	Silicose et cancer pulmonaire + Autres effets nocifs potentiels
SCOEL (2003)	Silice cristalline (quartz)	OEL	< 0,05 mg.m⁻³	Silicose et cancer pulmonaire
ACGIH (2010)	Silice cristalline, (α-quartz, cristobalite)	TLV-TWA (8h/j, 40h/sem)	0,025 mg.m⁻³	Silicose et cancer pulmonaire

VLEP : Valeur-limite d'exposition professionnelle ; PEL : Permissible exposure limit ; REL : Recommended Exposure Limit ; OEL : Occupational Exposure Limit ; TLV : threshold limit value ; TWA : time-weighted average

Prévention : Règles générales « CMR »

Dans tous les cas d'utilisation d'un agent cancérigène ou mutagène, l'employeur applique toutes les mesures suivantes:

- « a) la limitation des quantités d'un agent cancérigène ou mutagène sur le lieu de travail;*
- b) la limitation, au niveau le plus bas possible, du nombre de travailleurs exposés ou susceptibles de l'être;*
- c) la conception des processus de travail et des mesures techniques, l'objectif étant d'éviter ou de minimiser le dégagement d'agents cancérigènes ou mutagènes sur le lieu de travail;*
- d) l'évacuation des agents cancérigènes ou mutagènes à la source, l'aspiration locale ou la ventilation générale appropriées compatibles avec le besoin de protéger la santé publique et l'environnement;*
- e) l'utilisation de méthodes de mesure existantes appropriées des agents cancérigènes ou mutagènes, en particulier pour la détection précoce des expositions anormales résultant d'un événement imprévisible ou d'un accident;*
- f) l'application de procédures et de méthodes de travail appropriées;*
- g) des mesures de protection collectives et/ou, lorsque l'exposition ne peut être évitée par d'autres moyens, des mesures de protection individuelles;*
- h) des mesures d'hygiène, notamment le nettoyage régulier des sols, murs et autres surfaces;*
- i) l'information des travailleurs;*
- j) la délimitation des zones à risque et l'utilisation de signaux adéquats d'avertissement et de sécurité, y compris les signaux «défense de fumer» dans les zones où les travailleurs sont exposés ou susceptibles d'être exposés à des agents cancérigènes ou mutagènes;*
- k) la mise en place de dispositifs pour les cas d'urgence susceptibles d'entraîner des expositions anormalement élevées;*
- l) les moyens permettant le stockage, la manipulation et le transport sans risque, notamment par l'emploi de récipients hermétiques et étiquetés de manière claire, nette et visible;*
- m) les moyens permettant la collecte, le stockage et l'évacuation sûrs des déchets par les travailleurs, y compris l'utilisation de récipients hermétiques et étiquetés de manière claire, nette et visible. »*

Prévention : règles générales « particules inhalables »

L'INRS rappelle dans son dossier « Silice cristalline » les principales mesures de prévention à mettre en œuvre (INRS, 2018b) :

- *« Effectuer les opérations générant une exposition dans des systèmes clos mis en dépression et aussi étanches que possible (par exemple des broyeurs et des bandes transporteuses soigneusement capotés et mis en dépression dans les carrières).*
 - *Adopter si possible des méthodes de travail ne générant pas ou que peu de poussières comme le travail à l'humide. Dans le cas d'outils tournants comme les scies circulaires, le travail à l'humide permet de diminuer les émissions de poussières mais pas de les supprimer et les expositions peuvent rester significatives.*
 - *Équiper les postes de travail d'un dispositif de captage à la source des poussières (dispositif intégré au procédé ou à l'outillage) lorsque les opérations ne peuvent être effectuées en système clos. ; raccorder les outils aspirants à des système d'aspiration à haute dépression.*
 - *Effectuer les travaux exposant aux poussières de silice dans des locaux séparés avec un accès restreint (cabine de ponçage ventilée).*
 - *Vérifier régulièrement le fonctionnement des dispositifs de ventilation.*
 - *Lorsque les conditions de travail le nécessitent et que les mesures de protection collective ne suffisent pas à éliminer le risque (par exemple sur les chantiers), mettre à la disposition du personnel des EPI adaptés : appareil de protection respiratoire (en fonction de l'exposition attendue et de la durée des travaux, il est conseillé d'utiliser un appareil filtrant à ventilation libre ou assistée, équipé de filtre antiparticules de classe 3 ou un appareil isolant), combinaison à capuche jetable de type 5, lunettes.*
 - *Contrôler régulièrement l'empoussièrément de l'atmosphère de travail et à chaque changement important de modes opératoires.*
 - *Procéder au nettoyage régulier des lieux de travail (à l'aide d'un aspirateur équipé d'un filtre à très haute efficacité ou de linges humides).*
 - *Mettre en œuvre les mesures d'hygiène (ranger et laver les vêtements de travail séparément des autres vêtements).*
 - *Former et informer le personnel.*
 - *Mettre en œuvre le suivi individuel de l'état de santé des salariés exposés et le suivi post-professionnel. »*
-

GT ANSES Silice cristalline

- Informations générales sur la silice
- Etude de filière
- Histoire et sociologie de la connaissance des risques sanitaires
- Réglementation
- Métrologie
- Expositions professionnelles et extra-professionnelles
- Effets sanitaires
- Prévention
- **Conclusions et recommandations**

GT ANSES Silice cristalline

- Recommandations 1/5
 - Prévention
 - Appliquer la directive 2004/37/CE sur la protection des travailleurs exposés à des CMR
 - Transposition de la directive 2017/2388
 - Réviser les VLEP
 - Mesurer
 - Travail à l'humide
 - Sensibilisation des travailleurs

GT ANSES Silice cristalline

- Recommandations 2/5
 - Surveillance médicale en milieu professionnel
 - Dépistage et Critères diagnostiques
 - Imagerie thoracique (TDM ?)
 - Fonction respiratoire (boucle débit-volume)
 - Formes ganglionnaires isolées
 - Recommandations HAS/Inca 2015 « cancérogènes respiratoires professionnels »
 - Surveillance clinique (maladies auto-immune)
 - Dépistage tuberculose
 - Suivi fonction rénale (HAS)

GT ANSES Silice cristalline

- Recommandations 3/5
 - Réparation : révision des tableaux
 - Cancer broncho-pulmonaire sans silicose (formes ganglionnaires isolées)

GT ANSES Silice cristalline

- Recommandations 4/5
 - Prévention en population générale
 - Revoir réglementation Installation Classées pour la Protection de l'Environnement
 - Mesure de SiO₂
 - Sensibilisation des particuliers

GT ANSES Silice cristalline

- Recommandations 5/5
 - Amélioration des connaissances
 - Expositions
 - Prévalence des expositions professionnelles
 - Mesure de la fraction ultrafines des particules de silice
 - Exposition environnementales
 - Épidémiologie
 - Co-expositions
 - Débit de dose, granulométrie, activité de surface
 - Autres pathologies (cardio-vasculaires)
 - Toxicologie
 - Mécanismes et relation dose-effet

Et pour le médecin du travail et le service de santé au travail

- Repérer qualitativement les expositions
- Réaliser et interpréter les métrologies SiO₂
 - granulométrie, débit de dose, réactivité de surface
- Veiller à l'application des mesures de prévention
- Élaborer des recommandations pratiques de suivi médical