

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET METIERS

Centre de Paris

Mémoire

Présenté en vue d'obtenir le

Diplôme Ingénieur Gestion des risques CYC9000A (CYC50)

Par

Cynthia CELESTIN

Silice cristalline dans la construction de route et la taille de pierre : comment évaluer l'exposition de courte durée et caractériser les risques ?

Soutenu le 30 juin 2021

Président du Jury : Laura Temime – Professeur des universités

Assesseurs : Maité Sylla – Professeur des universités
Kamel Bahri – Professeur associé au Cnam
Laetitia Jaffré – Ingénieur Cnam

Maître de Stage : Arnaud Asselin – Directeur des risques professionnels à la Carsat Normandie

Tuteur académique : Laura Temime – Professeur des universités

Remerciements

La réalisation de ce mémoire vient conclure un parcours de formation au Cnam de plusieurs années. C'est donc pour m'avoir accompagnée tout au long de ce projet que je souhaiterais témoigner ma gratitude à plusieurs personnes.

Tout d'abord, je voudrais adresser toute ma reconnaissance à Yvon CREAU pour ses judicieux conseils qui ont alimenté ma réflexion vers ce projet personnel et ce sujet d'étude ; à Marine JEANTET ainsi qu'à Hervé LAUBERTIE pour leur confiance et pour avoir soutenu ma démarche.

Ensuite, je remercie toute l'équipe pédagogique du Cnam et particulièrement Laura TEMIME pour sa relecture attentionnée de ce mémoire.

Je voudrais remercier le département prévention des risques professionnels (DPRP) et plus généralement de la direction des risques professionnels (DRP) de la Caisse Nationale de l'Assurance Maladie (Cnam) qui m'ont apporté leur soutien tout au long de ce parcours. Une mention spéciale au groupe des « Char-P » élargi.

Un grand merci aux équipes des huit laboratoires inter-régionaux de chimie des Carsat/Cramif et de l'INRS pour leur contribution essentielle à la réalisation de ce mémoire, leur disponibilité et pour tous les échanges que nous avons eus. Bien qu'une partie des rapports d'analyse ait été sélectionnée pour correspondre à la problématique du mémoire, c'est l'ensemble des rapports qui a été lu et analysé.

Je tiens à remercier Mikaël SAVIO et Arnaud ASSELIN de la Carsat Normandie pour m'avoir permis de finaliser ce projet.

Enfin, mes sincères remerciements vont à toutes celles et ceux du réseau des caisses régionales, de l'INRS qui m'ont apporté conseils et soutien.

Liste des abréviations

ANSES : agence nationale de la sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

BMD : benchmark dose

CARSAT : caisse d'assurance retraite et de la santé au travail

CBP : cancer broncho-pulmonaire

CGSS : caisse générale de sécurité sociale

CIRC : centre international de recherche sur le cancer

CRAMIF : caisse régionale d'assurance maladie d'Ile-de-France

DRX : diffraction des rayons X

ERC : excès de risque collectif

ERI : excès de risque individuel

ERU : excès de risque unitaire

FNTF : fédération nationale des travaux publics

GES : groupe d'exposition similaire

INRS : institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles

INSEE : institut national de la statistique et des études économiques

NIOSH : national institute for occupational safety and health

OSHA : occupational safety and health administration

QD : quotient de danger

RA : régime agricole de la Sécurité Sociale

RG : régime général de la Sécurité Sociale

RNV3P : réseau national de vigilance et de prévention des pathologies professionnelles

VLEP : valeur limite d'exposition professionnelle

VTR : valeur toxicologique de référence

Table des matières

Introduction.....	1
1. Contexte	2
1.1. Etat des connaissances sur la silice cristalline	2
1.1.1. Caractéristiques et utilisations de la silice	2
1.1.2. Effets sur la santé	3
1.2. La construction de routes et d'autoroutes.....	5
1.3. La taille de pierres reconstituées	6
2. Matériels et méthodes	8
2.1. Sélection des chantiers et entreprises	8
2.2. Méthodes de prélèvement et d'analyse sélectionnées	8
2.3. Valeurs en vigueur pour la silice cristalline	10
2.4. Méthode d'évaluation quantitative des risques sanitaires.....	10
2.4.1. Etape 1 : identifier des dangers.....	10
2.4.2. Etape 2 : sélectionner les relations doses – effets	11
2.4.3. Etape 3 : estimer l'exposition	11
2.4.4. Etape 4 : caractériser les risques	11
3. Résultats	14
3.1. Prélèvements et analyses : en pratique	14
3.2. Comparaison aux valeurs réglementaires professionnelles.....	14
3.3. Evaluation quantitative des risques sanitaires.....	16
3.3.1. Choix des valeurs toxicologiques de référence	16
3.3.2. Estimation des expositions.....	17
3.3.3. Caractérisation des risques pour la construction de route	20
3.3.4. Caractérisation des risques pour la taille de pierre.....	22
4. Discussions	23
5. Conclusions.....	27
Bibliographie.....	28
Liste des figures.....	30
Liste des tableaux	30

Introduction

La silice cristalline est classée comme cancérigène pour l'Homme (groupe 1) par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) et environ 365 000 salariés y seraient au contact sous ses différentes formes selon l'enquête Sumer 2017 [1]. Si certaines pathologies provoquées par l'inhalation de poussières de silice cristalline peuvent être reconnues comme maladie professionnelle au titre du tableau 25 du régime général de la Sécurité Sociale, le risque silice reste toutefois sous-évalué de par la diversité de ses effets sanitaires [2]. De plus, en France, le réseau national de vigilance et de prévention des pathologies professionnelles (RNV3P) et aux Etats-Unis, le National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) et l'Occupational Safety and Health Administration (OSHA) ont émis des alertes depuis 2015 sur des cas de silicoses graves [3] liées à l'usage de pierres reconstituées. L'Agence nationale de la sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) s'est autosaisie en janvier 2016 afin de mener une expertise visant à mettre à jour les connaissances sur les dangers et les risques liés à cet agent chimique dont le rapport [4] est diffusé depuis avril 2019.

Par ailleurs, une étude [5] met en évidence l'hétérogénéité des situations d'exposition dans le secteur du bâtiment et des travaux publics (BTP) du fait des spécificités des chantiers mais aussi de la mobilité des travailleurs. Les salariés du secteur de la construction sont les plus concernés selon les enquêtes Sumer 2010 et 2017. En effet, la silice cristalline est une importante composante de nombreux matériaux de construction, (sable, béton, ciment, pierre, etc.) et certaines activités peuvent provoquer l'émanation de poussière de silice telles que la démolition d'ouvrages de maçonnerie ou d'autres ouvrages en béton ou le broyage. Ces enquêtes indiquent des parts d'effectifs plus importantes pour des durées d'exposition aux poussières de silice cristalline inférieures à deux heures et comprises entre deux et dix heures.

Si de nombreuses études montrent le lien entre exposition à la silice cristalline et cancers [6]–[8], les situations de travail pendant lesquelles sont réalisées des tâches peu exposantes de longue durée et d'autres très exposantes mais de courte durée, ont rarement été évaluées chez les salariés de la construction.

Dans ce contexte, la problématique de ce mémoire est de mettre en place une méthode de prélèvement et d'analyse spécifique pour évaluer l'exposition des salariés à la silice cristalline sur de courtes durées puis de caractériser les risques d'exposition dans des chantiers de construction de route (situés à Marseille, Nantes et Paris) et des activités de taille de pierres reconstituées (situées à Nancy et Nantes) sur l'année 2018.

L'hypothèse retenue pour ce travail est que les activités observées sont fortement émissives en poussières de silice cristalline (dépassement des valeurs seuil) et présentent un risque non nul de silicose et de cancer broncho-pulmonaire au sein de la population étudiée.

1. Contexte

1.1. Etat des connaissances sur la silice cristalline

L'état des connaissances sur la silice cristalline est décrit par ses caractéristiques, ses utilisations possibles, et ses effets sur la santé. Les deux secteurs d'activité étudiés sont ensuite présentés.

1.1.1. Caractéristiques et utilisations de la silice

La silice existe à l'état libre sous forme cristalline ou amorphe et à l'état combiné sous forme de silicates.

Les trois principales formes de silice cristalline sont le quartz, la cristobalite et la tridymite.

À l'état naturel, le quartz est présente dans de nombreuses roches (grès, granite, sable ...). En effet, il représente 12% du poids de l'écorce terrestre. C'est donc cette espèce qui est la plus couramment rencontrée en tant que matière première dans certains procédés de fabrication ou d'additifs dans de nombreuses activités : extraction de granulats et minéraux industriels, taille de pierre, fabrication de prothèses dentaires, fonderie, verrerie, cristallerie, bijouterie, industries de la céramique et de la porcelaine, bâtiment et travaux publics...

La cristobalite se forme par chauffage du quartz lors de la production et l'utilisation de matériaux réfractaires (en particulier la céramique).

La tridymite est issue de la transformation du quartz en présence d'un minéralisateur (sels alcalins ou alcalinoterreux).

La silice amorphe est généralement d'origine synthétique. Elle est utilisée notamment dans les secteurs du textile, de l'agroalimentaire, de la cosmétique. Des procédés industriels (chauffage sous haute température) peuvent transformer la silice amorphe en une forme cristalline (la cristobalite).

D'après l'enquête Sumer 2017, environ 365 000 salariés seraient exposés à la silice sous ses diverses formes.

Il existe plusieurs types de situations exposantes :

- Les interventions en milieu naturel : opérations agricoles, terrassement, sondage, forage, etc.
- Les interventions sur matériaux manufacturés ou naturels :
 - Les activités extractives telles que : les carrières, les mines, etc.



Figure 1 : activité de creusement de tranchées – Carsat Sud-Est

- L'utilisation ou la transformation de matériaux naturels : construction, travaux publics, verrerie, céramique, recyclage, déchets, pierres artificielles, etc.

La directive européenne 2017/2398 de décembre 2017 a inscrit « les travaux exposant à la poussière de silice cristalline alvéolaire issue de procédés de travail » à la liste des substances, mélanges et procédés de l'annexe 1 de la directive 2004/37/CE définissant les agents cancérogènes.

La suite de ce mémoire portera sur la silice cristalline.

1.1.2. Effets sur la santé

La toxicité de la silice cristalline est particulièrement importante :

- lorsque les particules de silice sont fraîchement émises (au moment de la découpe du matériau par exemple) du fait d'un accroissement de leur réactivité de surface ;
- lors des pics d'exposition.

La principale voie d'exposition de la silice cristalline est la voie pulmonaire. Les particules se déposent dans la trachée, les bronches et les poumons et y persistent, si bien qu'une exposition unique à forte dose peut produire des effets durables.

Les données épidémiologiques et expérimentales analysées par le groupe d'experts de l'ANSES n'ont pas mis en évidence de différences en termes de toxicité et de potentiel cancérogène entre les différentes formes de la silice cristalline.

L'exposition à la silice cristalline (concentration moyenne ou exposition cumulée) est le facteur le plus fortement associé au développement de la silicose [9].

Plusieurs formes cliniques de silicose sont décrites :

- La silicose chronique (forme classique) survient généralement après plus de 20 ans d'exposition.
- La fibrose massive progressive résulte aussi d'une exposition longue. Elle se caractérise par la coalescence de nodules à l'origine de masses fibreuses pouvant atteindre plusieurs centimètres, envahir le tissu pulmonaire adjacent, et devenir nécrotiques voire cavitaires.
- La forme accélérée ou silicose accélérée peut s'observer après 5 à 15 ans d'exposition.
- La forme aiguë ou silicoprotéinoase aiguë résulte généralement d'une exposition intense sur une courte période de quelques semaines à quelques années. Elle est plus sévère que la silicose accélérée.
- L'antraco silicose résulte d'une exposition à des poussières mixtes de charbon contenant plus ou moins de quartz. Elle se caractérise par un tableau de maladie professionnelle dit « de poumon de mineur de charbon » différent de la silicose classique.

L'exposition à la silice cristalline (même sans silicose) est associée à d'autres pathologies respiratoires non malignes comme la bronchite chronique, l'altération de la fonction respiratoire et la tuberculose.

Les données analysées par le groupe d'experts de l'ANSES sont en faveur d'un lien de causalité certain et fort avec la sclérodémie systémique, un lien de causalité certain avec la polyarthrite rhumatoïde et le lupus érythémateux systémique, un lien de causalité possible avec les vascularites à ANCA (anticorps anticytoplasme des polynucléaires neutrophiles) positives, sans relation dose-réponse quantitative identifiable.

Une relation avec d'autres pathologies notamment rénales et cardiovasculaires a été évoquée, mais les données ne permettent pas de conclure sur le rôle propre de la silice cristalline.

La silice cristalline est classée cancérogène certain (1) pour l'Homme par le CIRC depuis 1997 du fait de l'induction de cancer broncho-pulmonaires (CBP).

De nombreuses études rapportent une augmentation du risque de CBP associé à une exposition professionnelle à la silice cristalline. Comme l'indique les données [6] du tableau 1, le risque de CBP est plus important chez les patients silicotiques que non silicotiques. Les principaux secteurs étudiés sont l'exploitation minière, les carrières, le secteur de la céramique, l'industrie de la terre de diatomée, les opérations avec sable et graviers.

Tableau I : risque de cancer pulmonaire chez des patients silicotiques et non silicotiques.

	Silicotiques	Non silicotiques
Ratio de mortalité standardisé (SMR)	2,32 (IC 95 % [1,91-2,81])	1,78 (IC 95 % [1,07-2,96])
Ratio d'incidence standardisée (SIR)	2,49 (IC 95 % [1,87-3,33])	1,18 (IC 95 % [0,86-1,62])

L'approche sans seuil de dose est privilégiée pour le cancer du poumon car bien que documenté, des incertitudes existent en ce qui concerne le mode d'action cancérogène de la silice cristalline.

Des cancers de type digestifs sont également suspectés mais les données disponibles à ce jour ne permettent pas de conclure d'après l'expertise de l'ANSES.

Les tableaux de maladies professionnelles concernent des pathologies liées à l'exposition à la silice cristalline et sont présentés dans les tableaux II.

Tableau II : tableaux de maladies professionnelles liées à l'exposition à la silice cristalline et pathologies associées

N° du tableau	Libellé	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) ; sclérodermie 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	Sclérodermie systémique progressive

La toxicité de la silice amorphe est quant à elle faible – elle est classée dans le groupe 3 par le CIRC :

- Irritations des voies aériennes supérieures et de la peau ;
- Pas de fibrose pulmonaire mise en évidence par les études épidémiologiques

Cependant, lorsque la silice amorphe est sous forme nanoparticulaire, il a été décrit des effets biologiques comme de l'inflammation et du stress oxydatif dans des études expérimentales in vitro ou in vivo chez l'animal.

1.2.La construction de routes et d'autoroutes

Le secteur des travaux publics (TP) couvre un champ très large de domaines et de métiers. Les travaux routiers constituent la plus grande part (36,9 %) des activités du secteur et regroupent un effectif de 86 000 travailleurs.

Ce secteur comprend 8 000 entreprises adhérentes de la fédération nationale des travaux publics (FNTP), dont la majorité est constituée d'entreprises de moins de 50 salariés. Ces entreprises emploient 260 000 salariés et 30 000



Figure 2 : activité de découpe de bordure – Carsat Pays de la Loire

intérimaires en équivalent temps plein. Deux-tiers de ces salariés sont des ouvriers. Les chantiers de travaux publics sont donc des petits chantiers (petites opérations) couvrant un maillage très fin sur le territoire. Beaucoup d'opérations sont donc réalisées au quotidien et nécessitent une mobilisation constante d'équipes sur le terrain.

D'après le rapport ANSES, plus de 600 000 chantiers sont réalisés annuellement correspondant à une durée moyenne du chantier de 2 à 3 jours (exemples de Paris ou de Lille : plus de 15 000 interventions par an). Quelle que soit la typologie des chantiers (chantiers réseaux, chantiers-branchements, interventions de sécurité opérations de maintenance du réseau) la majorité des travaux de terrassements est confiée à des prestataires.

Outre les granulats (sable, gravillons, enrochement, ballast...), les chantiers de travaux publics utilisent les terres naturelles, les mortiers (ciment, sable), le béton (gravillons, mortiers), les pavés (roches naturelles ou béton), les parpaings....

D'après l'étude de l'ANSES, plusieurs process utilisés dans les travaux routiers sont qualifiés de potentiellement émissifs à savoir :

- Pour la mise en œuvre des matériaux :
 - le transport, le rabotage, le sciage, le décroûtage, le malaxage, le stockage.
- Pour la démolition et le retraitement en place :
 - le transport, le rabotage, Le sciage/burinage, le décroûtage, le malaxage, le concassage, le stockage.
- Pour les canalisations :
 - le transport de matériaux, le sciage/burinage, le rabotage/décroûtage, l'ouverture de fouille, le malaxage, le remblayage de fouille/de tranchées, le stockage.

1.3. La taille de pierres reconstituées

Selon les industriels auditionnés par l'ANSES pour son étude, les pierres dites artificielles sont fabriquées selon le procédé suivant :

- mélange d'environ 90% de quartz avec de la résine et des colorants/pigments (2 à 5%) sous forme de poudre ;
- pressage sous vide puis cuisson (la température varie selon le fabricant mais oscille aux alentours des 90°C) ;
- séchage à l'air libre ;
- puis découpe en « tranches » et polissage, pour créer ensuite des plans de travail et les parements qui peuvent être utilisés sur les sols et les murs.



Figure 3 : taille d'un bloc de pierres de Comblanchien – Carsat Nord-Est

Les plans de travail sont importés en France sous la forme

de tranches qui sont entreposées puis usinées par des marbriers aux dimensions souhaitées par les consommateurs.

Selon l'INSEE, la taille, le façonnage et le finissage de pierre (code NAF 2370Z) concerne 6190 salariés en 2018.

A partir des années 2000, des cas de silicose associée à des opérations sur plans de travail en pierre artificielle ont été rapportés. La revue de la littérature réalisée par Leso et al. [10] (analyse de 8 études épidémiologiques descriptives [11] menées en Espagne, en Israël et en Australie) souligne les délais d'apparition précoces (4 à 10 ans) souvent observés pour ce type de silicose, et la méconnaissance du risque silicotique dans ce secteur qui favorise la mise en place de mesures de prévention insuffisantes et des niveaux d'exposition importants. En Australie (Queensland), un cluster de cas de silicose accélérée dans le secteur de la fabrication de plans de travail en pierre artificielle [12], a conduit le gouvernement à mettre en place un programme de recherche pour améliorer le dépistage de la silicose et la gestion du risque silicotique dans ce secteur. En février 2019, 99 cas de silicose ont été confirmés sur les 400 travailleurs dépistés à ce stade (soit 24,75 %). Ces différents travaux appuient la nécessité d'améliorer la prévention du risque silicotique dans ce secteur.

Les pierres artificielles peuvent également être utilisées dans le domaine de l'aménagement paysager. L'activité consiste à débiter et façonner des blocs de pierre pour la construction ou la restauration de bâtiments ou de monuments.

- Débite et façonne des blocs bruts de pierre en atelier ou sur chantier à l'aide de machines (scie à fil hélicoïdal, ou à disque diamanté, châssis multilame) ou de MVP (tronçonneuse à chaîne, meuleuse, polisseuse). La manutention des blocs bruts et des pièces ouvragées (tables, dalles, bloc formé ou gravé) est manuelle ou mécanisée.
- Peut employer des décapants (pâte ou gel), des imprégnant hydrofuges, des nettoyants, des anti-graffitis, antimousse ou durcisseurs
- Le poseur de pierre peut utiliser des ciments métalliques, des colles, des pigments pour colorer les joints, du plomb en fusion pour sceller les pierres ; Peut sceller la pierre avec du mortier ou la plaquer sur des façades (les dalles de marbre sont soutenues en façade par des pattes et des agrafes).
- Sur chantier est amené à travailler en hauteur (échafaudage fixe, roulant) ou à conduire des engins de manutention (chariot automoteur, grue auxiliaire de chargement).

2. Matériels et méthodes

Cette partie présente les terrains d'étude, les méthodes de prélèvement et d'analyse utilisés pour réaliser les estimations des expositions, ainsi que la démarche d'évaluation quantitative des risques sanitaires qui sera appliquée.

2.1.Sélection des chantiers et entreprises

Sept laboratoires interrégionaux de chimie du réseau des Carsat/Cramif/CGSS de l'Assurance Maladie-Risques professionnels ont participé à cette étude ainsi que le centre de recherche et de développement de l'INRS.

La campagne de prélèvement par ces laboratoires s'est déroulée de mars 2018 à décembre 2018 selon les chantiers en cours ou les entreprises en activité à cette période. Les activités initialement identifiées couvraient principalement le bâtiment et les travaux publics ainsi que la taille de pierres.

Compte-tenu des contraintes météorologiques et les critères de durée des tâches de l'étude, celle-ci s'est centrée sur : la construction de route et en particulier les tâches de découpe de bordures et la taille de pierre reconstituée.

Ainsi, les prélèvements effectués par les laboratoires interrégionaux de chimie de la Carsat Pays de la Loire, de la Carsat Nord-Est, de la Carsat Sud-Est et de la Cramif dans les entreprises de leurs régions sont principalement étudiés pour ce mémoire.

L'objectif est de constituer des groupes d'exposition similaire (GES). Il s'agit de groupes de travailleurs réalisant les mêmes tâches dans les mêmes conditions et présentant, par conséquent, un même profil d'exposition pour la silice cristalline. L'utilisation des GES permet de limiter le nombre de mesures à effectuer.

2.2.Méthodes de prélèvement et d'analyse sélectionnées

La concentration en silice cristalline dans l'air est déterminée par prélèvement de la fraction alvéolaire de l'aérosol sur un support actif de type CIP10-A. Le CIP 10 est considéré comme un dispositif moins contraignant par comparaison aux dispositifs classiques qui sont eux composés généralement d'une tête de prélèvement reliée à une pompe par un tube flexible.

Pour réaliser les prélèvements individuels, le dispositif CIP10-A est monté sur un baudrier permettant sa fixation sur la poitrine au voisinage des voies d'exposition respiratoires supérieures.



Figure 4 : représentation des régions sélectionnées pour l'étude

D'après le guide MetroPol de l'INRS sur le CIP-10, l'utilité des dispositifs à haut débit de prélèvement est de garantir une précision analytique suffisante par rapport aux valeurs limites pour la silice cristalline. Les dispositifs haut-débit permettent notamment de prélever beaucoup plus de matière sur des périodes courtes, limitant ainsi le nombre de prélèvements inexploitable

(c'est-à-dire des quantités inférieures à la limite de quantification de la méthode d'analyses). En effet, les valeurs seuil choisies dans le cadre de cette étude (Cf. §2.3) sont basses (de l'ordre du 10^{-2} mg/m³).

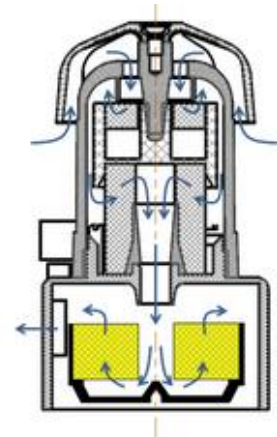


Figure 5 : CIP10-A et représentation schématique du sélecteur de la fraction alvéolaire, avec sa coupelle rotative en place (INRS)

Le dispositif CIP10-A possède un débit de prélèvement élevé (10 L/min) et la méthode d'analyse (MetrPol M-66) pour la silice cristalline par diffraction des rayons X (DRX) est validée par l'INRS : pour un prélèvement de 15 min, la limite de quantification de la méthode d'analyse est de $2 \cdot 10^{-2}$ mg/m³, soit du même ordre de grandeur que les valeurs seuil ciblées.

De fait, les durées de prélèvement pour cette étude sont arrêtées à : inférieure à 30 minutes (<30 min) et entre 30 min et 1 heure (30 min < P < 1h). Il est préférable de prélever plus longtemps pour éviter des résultats uniquement exprimés inférieurs à la limite de quantification.

La limite du dispositif CIP10-A est que l'efficacité de collecte diminue pour les particules fines (entre 1 et 2 microns). Le cyclone GK 4.162 présente l'avantage de fonctionner à haut débit (8,5 L/min en fraction alvéolaire), de prélever sur un filtre et éviter ce problème de perte de particules fines rencontré avec les CIP10-A. Cependant, la disponibilité de ces cyclones au sein des laboratoires a orienté vers l'utilisation du dispositif CIP10-A.

L'analyse gravimétrique du support actif CIP10-A permet de déterminer la quantité totale de poussières alvéolaires. La teneur en silice cristalline dans ces poussières est obtenue par analyse du support par diffraction des rayons X (DRX). Le laboratoire de chimie de la Carsat Aquitaine possède l'équipement nécessaire et a réalisé l'analyse des échantillons selon la méthode MetroPol M-176 [13].

La concentration massique de l'aérosol se déduit de la masse des particules collectées dans la coupelle rotative munie de son filtre en mousse de polyuréthane. La mousse est incinérée et seules les particules minérales sont récupérées pour l'analyse de la silice.

2.3. Valeurs en vigueur pour la silice cristalline

En France, la valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP) contraignante (pondérée sur 8 heures et 38 ou 40 heures par semaine pour 40 années de travail) pour les poussières alvéolaires non silicogènes est arrêtée à 5 mg/m³.

En France, la VLEP contraignante (pondérée sur 8 heures) pour le quartz est fixée à 0,1 mg/m³.

Un index d'exposition (IE) est calculé à partir des résultats de l'analyse gravimétrique et de l'analyse en silice cristalline rapportés à leurs valeurs limites d'exposition (VLEP) respectives :

$$IE = \frac{CQ}{VQ} + \frac{CC}{VC} + \frac{CT}{VT} + \frac{CPANS}{VPANS} \leq 1$$

Avec :

- CQ = concentration en quartz (mg/ m³),
- VQ = valeur limite du quartz = 0,1 mg/ m³,
- CC = concentration en cristobalite (mg/ m³),
- VC = valeur limite de la cristobalite = 0,05 mg/ m³,
- CT = concentration en tridymite (mg/ m³),
- VT = valeur limite de la tridymite = 0,05 mg/ m³,
- CPANS = concentration en poussières alvéolaires non silicogènes (mg/ m³),
- VPANS = valeur limite des poussières alvéolaires non silicogènes = 5 mg/ m³

2.4. Méthode d'évaluation quantitative des risques sanitaires

S'agissant d'une population de taille réduite, d'une exposition pour laquelle les connaissances sur les sources de danger et les dangers sont disponibles, et les dangers eux-mêmes étant retardés, la méthode de l'évaluation quantitative des risques sanitaires (EQRS) est choisie pour cette étude.

L'évaluation quantitative des risques sanitaires a été développée au début des années 1980 par l'Académie des Sciences des Etats-Unis. Il s'agit d'une méthode proposée pour éclairer la gestion des risques et visant à fournir une estimation d'un risque pour la santé humaine dans un contexte d'incertitude scientifique, en particulier dans le cadre des expositions chroniques, de faible intensité, aux agents dangereux présents dans l'environnement.

La démarche d'EQRS se décompose en plusieurs étapes décrites ci-après.

2.4.1. Etape 1 : identifier des dangers

Dans le cadre ce mémoire et compte-tenu de l'état des connaissances des dangers de la silice (Cf. §1.1.2), la silicose et le cancer broncho-pulmonaire sont identifiés.

2.4.2. Etape 2 : sélectionner les relations doses – effets

Cette étape consiste à rassembler, analyser et éventuellement choisir les valeurs toxicologiques de référence qui seront mises en regard des niveaux d'exposition de la population concernée. Elles sont le lien entre la dose de la substance et l'occurrence de l'effet étudié dans la population.

2.4.3. Etape 3 : estimer l'exposition

Il s'agit d'abord de construire les scénarios d'exposition. Les différents GES sont décrits normalement de façon la plus précise possible. Cependant, dans la pratique d'intervention des laboratoires de chimie, les informations relatives aux opérateurs ne sont pas recueillies (âge, sexe, débit respiratoire, etc.). Les scénarios d'exposition exposés dans cette étude se veulent donc empiriques afin de pouvoir mettre en œuvre une démarche d'EQRS à partir des données de concentration fournies. Ces scénarios ne reflètent pas nécessairement les cas réels rencontrés par les laboratoires lors de leurs interventions pour cette étude.

Pour construire ces scénarios, les données de l'Observatoire des métiers du BTP [14] sont utilisés. En 2018, les salariés de la construction de route se répartissent en nombre selon les classes d'âge indiquées dans le graphique 1.

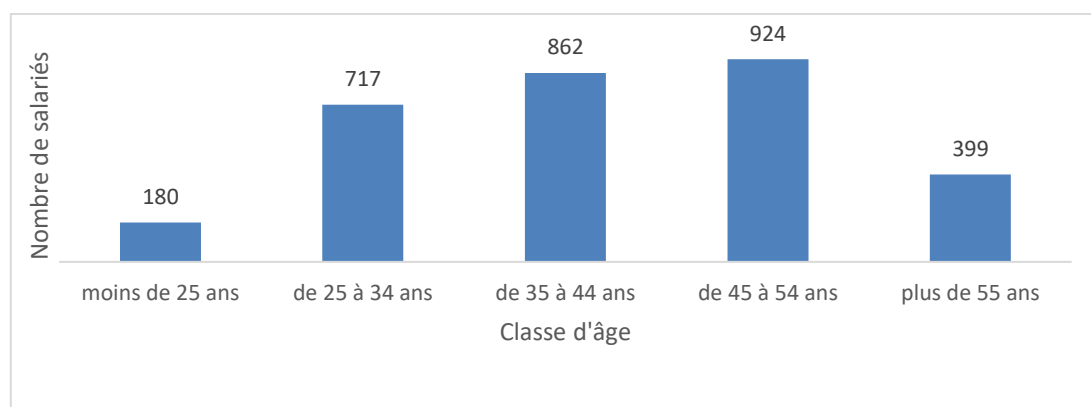


Figure 6 : nombre de salariés de la construction de route par classe d'âge en 2018

Ensuite, il s'agit de déterminer la dose de polluant qui arrive au contact ou qui pénètre dans l'organisme en pondérant sur une période annuelle. Pour la voie respiratoire, la concentration moyenne dans l'air inhalée est calculée de la façon suivante :

$$CJE = C \text{ (concentration du quartz dans l'air en mg/m}^3\text{)} \times \text{(nombre d'heures d'exposition dans la journée / 24)} \times \text{(nombre de jours d'exposition dans l'année / 365)}$$

2.4.4. Etape 4 : caractériser les risques

La caractérisation établit le calcul du risque encouru pour les substances pour lesquelles un danger et une valeur toxicologique de référence (VTR) associée existent et une exposition a été déterminée.

S'agissant des effets chroniques survenant à partir d'un seuil (ici, la silicose), le résultat est exprimé sous forme d'un quotient de danger (QD).

$$QD = \frac{CJE}{VTR}$$

Avec :

- CJE (concentration moyenne annuelle inhalée dans l'air, mg/m³) = concentration du quartz inhalée (mg/m³) × (nombre d'heures d'exposition dans la journée / 24 h) × (nombre de jours d'exposition dans l'année / 365 jrs)
- VTR = valeur toxicologique de référence pour les effets chroniques à seuil.

Il permet de réaliser des interprétations de façon qualitative afin d'orienter les décisions sur la prévention et la gestion de ces risques. Il n'exprime pas une probabilité de survenue. Lorsque le QD est supérieur à 1, la population exposée est considérée comme à risque. Des mesures correctives, de surveillance ou de prise en charge médicale des populations étudiées doivent alors être mises en place.

Sur l'ensemble de la vie professionnelle, un quotient de danger cumulé (sans unité) peut être calculé pour chaque emploi i et pour n emplois pour des substances ayant le même mode d'action ou les mêmes organes cibles.

$$\sum_n^1 \left(\frac{CJE_i}{VTR} \right)$$

Pour les effets sans seuil (ici, le cancer du poumon), quelle que soit la dose, le résultat est donné sous forme d'un excès de risque individuel (ERI). Il représente la probabilité de survenue d'une pathologie pour les individus exposés selon les scénarios d'exposition. Il est spécifique à un polluant et une voie d'exposition.

Dans le cadre de cette étude, la principale voie d'exposition est l'inhalation.

L'excès de risque individuel (sans unité) se calcule de la manière suivante :

$$ERI = \frac{CJE \times ERU \times TE}{TP}$$

Avec :

- CJE (concentration moyenne annuelle inhalée dans l'air, mg/m³) = concentration du quartz inhalée (mg/m³) × (nombre d'heures d'exposition dans la journée / 24 h) × (nombre de jours d'exposition dans l'année / 365 jrs)
- ERU : excès attendu de cas d'une pathologie donnée, consécutif à l'exposition continue, vie entière.

- TE : temps d'exposition en année
- TP : temps d'exposition vie entière (par convention 70 ans).

Des mesures préventives doivent être mises en place pour un ERI supérieur à 10^{-4} (doctrine décisionnelle américaine pour une population de travailleurs) pour une vie entière. Le nombre de cas attendu permet également de guider la décision de mettre en place des mesures préventives.

Par convention, en santé publique, un excès de risque individuel supérieur à 10^{-5} pour une vie entière conduit à la mise en place de mesures correctives, de prise en charge médicale des populations ou de surveillance. C'est un repère utilisé par des instances internationales comme l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) pour fixer des normes ou des valeurs guides dans le domaine environnemental.

Un excès de risque individuel peut également être calculé en considérant des expositions exclusivement passées sur un poste de travail ou un emploi, par exemple un taux d'exposition (TE) de 30 années. Ce qui permet de répondre à la question du risque jusqu'à aujourd'hui d'un individu exposé.

Il peut être intéressant de calculer sur l'ensemble de la vie professionnelle, un excès de risque cumulé pour chaque emploi i et pour n emplois pour des substances ayant le même mode d'action ou les mêmes organes cibles.

$$\sum_n^1 \left(\frac{CJE_i \times ERU \times TE_i}{TP} \right)$$

En effet, dans la relation entre la concentration d'exposition et l'excès de risque de cancer, le temps n'intervient pas : que la concentration totale d'exposition soit reçue sur une période courte ou diluée sur une période plus longue, cela ne modifie pas le risque de cancer. Une concentration journalière élevée reçue sur une période courte (hypothèse retenue dans ce mémoire) est équivalente du point de vue du risque de cancer à une concentration journalière plus faible reçue sur une période de temps plus longue. La durée d'exposition est rapportée à la durée de vie de l'espèce humaine (vie entière fixée à 70 ans).

L'excès de risque collectif (ERC) se calcule par le produit de l'ERI et l'effectif de la population concernée. Il représente le nombre de pathologie en excès lié à l'exposition, ici, à la silice cristalline qui devrait survenir au cours de la vie de la population étudiée.

3. Résultats

Les retours d'expériences de la mise en œuvre des méthodes de prélèvement et d'analyses sont présentés puis les résultats des évaluations quantitatives des risques sanitaires pour les deux secteurs étudiés.

3.1. Prélèvements et analyses : en pratique

Le CIP10-A est intéressant car il fonctionne à débit important donc idéal pour étudier les expositions de courte durée et est facile à utiliser (pas de pompe, de flexible, etc.). Dans la pratique, le CIP10-A utilisé ici spécifiquement pour la silice sur une courte durée n'est pas évident à changer pour être utilisé pour d'autres types de prélèvements (poussières alvéolaires totales par exemple) sur la même journée (un temps de préparation est nécessaire).

En revanche, il a tendance à sous-estimer la concentration si le prélèvement est constitué majoritairement de particules très fines (entre 1 et 2 microns). Ce type d'aérosol fin peut être rencontré lors de sciage par exemple.

Les particules sont collectées dans la coupelle rotative munie d'un filtre en mousse de polyuréthane. L'analyse de la masse de ces particules collectées présente quelques particularités. La mousse peut être affectée par l'humidité de l'air.

D'un point de vue analytique, l'analyse par DRX présente l'avantage de permettre d'identifier, pour les échantillons de composition inconnue les phases minérales présentes en plus de la silice cristalline. Cela permet de mieux gérer les interférences.

Cependant, cette technique par prélèvement par CIP10-A nécessite un temps de préparation de la mousse plus long (souvent à la journée) avant l'analyse et peut induire une perte d'environ 10% en masse du fait des différentes manipulations à réaliser au préalable (traitement, calcination, filtrage, etc.).

3.2. Comparaison aux valeurs réglementaires professionnelles

Au total, 18 prélèvements sont réalisés pour l'activité de construction de route et 17 prélèvements sont réalisés pour les activités de taille de pierre et de marbrerie. Pour plusieurs d'entre eux, les résultats sont inférieurs à la limite de quantification (LQ) de la méthode d'analyse de la silice choisie. La limite de quantification est la valeur au-dessous de laquelle le laboratoire n'est plus en mesure de déterminer avec exactitude la quantité du polluant recherché.

Plusieurs groupes d'exposition similaire (GES) sont identifiés selon la tâche réalisée, la présence d'équipement de protection collective ou individuelle ainsi que la durée de prélèvement. La comparaison est réalisée à partir des estimations des expositions présentées aux tableaux IV et V.

Dans le tableau III, les flèches montantes indiquent que la mesure réalisée est supérieure ou égale à la VLEP 8h (inverse pour les flèches descendantes).

Tableau III : comparaison des concentrations mesurées aux valeurs limites réglementaires professionnelles par tâche étudiée

N°	GES	Comparaison VLEP poussières	Comparaison VLEP quartz
Construction de route			
1	Creusement de tranchées sur chaussée (30min)	↗	↗
2	Découpe de dalles en béton – à l'humide sans protection respiratoire (30min)	↘	↗
3	Découpe de dalles en béton – à sec avec protection respiratoire (30min)	↗	↗
4	Découpe de dalles en béton – à sec sans protection (30min)	↗	↗
5	Découpe de dalles en béton – à l'humide sans protection (30 min < P < 1h)	↘	↘
6	Découpe de dalles en béton – à sec avec protection respiratoire (30 min < P < 1h)	↘	↗
7	Forage (30 min < P < 1h)	↗	Non calculée
8	Ponçage de surfaces en béton (30 min < P < 1h)	↗	↗
9	Rabotage (30 min < P < 1h)	↘	↗
Taille de pierre			
1	Découpe à sec plan de travail (ponceuse orbitale)	↘	↘
2	Affutage de disque diamant et taille granit	↘	↗
3	Taille de granit	↘	↗
4	Taille de pierre Comblanchien (disqueuse portative)	↗	↘
5	Taille de pierre Comblanchien (taille burin cranté et sablage)	↘	↘
6	Taille de pierre Comblanchien (disqueuse diamant)	↘	↘

Le travail à l'humide diminue les concentrations sauf pour la découpe de dalles en béton du GES 2 pour lequel une concentration élevée de quartz est mesurée.

Pour les GES de la taille de pierres avec des concentrations mesurées inférieures aux VLEP, des mesures de protection collectives sont en place (table aspirante, etc.).

Toutefois, les concentrations étant mesurées sur de courtes durées (entre 15 min et 63 min), les résultats présentés comme supérieures à la VLEP sont à considérer comme des pics d'exposition. Des prélèvements mesurés pendant 8h pourraient montrer des résultats inférieurs à la VLEP par effet de dilution. Dans la pratique, les mesures effectuées par les laboratoires sont réalisées sur 8h pour être comparées à la VLEP 8h.

3.3. Evaluation quantitative des risques sanitaires

3.3.1. Choix des valeurs toxicologiques de référence

Recherche bibliographique

La recherche bibliographique réalisée montre l'existence de valeurs limites recommandées pour les expositions en milieu professionnel : que ce soit pour des expositions accidentelles au quartz (exemple : IDLH (immediately dangerous to life or health concentrations) fixée par le NIOSH en 1994 de 25 mg/ m³ sur 30 minutes) ou des expositions chroniques non spécifiques.

Le NIOSH fixe une valeur TWA (time-weighted average exposure concentration) ou concentration moyenne sur une journée de 10 heures au maximum de 0,05 mg/ m³ (en 2002) qui permettrait de prévenir la silicose.

L'OEHHA propose un REL (recommended exposure limit) de 0,003 mg/m³ [15] pour une exposition chronique par inhalation (2005). Cette valeur a été calculée à partir d'études épidémiologiques sur des mineurs. L'effet critique observé est l'apparition de silicose. Un facteur d'incertitude de 3 est appliqué pour la variabilité intraspécifique.

Il y a peu de données documentées sur des valeurs toxicologiques de référence (VTR) pour la silice dans les bases de données françaises (ANSES, INERIS) ou internationales (IRIS de l'US-EPA, ATDSR, OEHHA, OMS).

Un autre descripteur de dose peut être utilisé : la benchmark dose (BMD) qui se définit comme une dose (ou la limite inférieure de son intervalle de confiance à 95% : BMDL) correspond à un niveau de réponse en excès par rapport à un groupe témoin. Dans la communauté scientifique, cette BMD est moins critiquée [16] que les NOAEL et LOAEL car l'incertitude peut être quantifiée par le calcul d'un intervalle de confiance et qu'elle dépend moins d'un protocole expérimental.

En reprenant la cohorte menée par Hnizdo et Sluis-Cremer en 1993 chez des mineurs Sud-Africains, les auteurs déterminent des benchmark doses. La BMD_{5L95} est fixée à 1,90 mg/m³/an et la BMD_{10L95} est de 2,24 mg/m³/an.

Pour le risque de cancer du poumon, la recherche d'un excès de risque unitaire (ERU) n'a abouti qu'à une seule étude [17] de la TCEQ (Texas Commission on Environmental Quality) en 2009. La commission propose un ERU de $3,64 \cdot 10^{-5} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ sur la base d'une modélisation des données épidémiologiques collectées par Steenland et al. en 2001.

Sélection des VTR

Pour sélectionner les VTR, les critères suivants sont pris en compte : limite de quantification de l'appareil d'analyse ($2 \cdot 10^{-2} \text{ mg/m}^3$) et la renommée internationale des organismes qui les ont produites.

Pour les effets à seuil (silicose) :

- une VTR à $0,022 \text{ mg/m}^3/\text{an}$ sur la base d'une BMD de $2,24 \text{ mg/m}^3/\text{an}$ avec des facteurs d'incertitude de 10 pour la variabilité inter-espèce et de 10 pour le faible nombre d'étude.

Pour les effets sans seuil (cancer du poumon) :

- l'ERU de $3,64 \cdot 10^{-5} (\mu\text{g/m}^3)^{-1}$ proposée par la TCEQ.

3.3.2. Estimation des expositions

Dans la construction de route

Au total, 18 prélèvements sont réalisés pour l'activité de construction de route. Plusieurs groupes d'exposition similaire (GES) sont identifiés selon la tâche réalisée, la présence d'équipement de protection collective ou individuelle ainsi que la durée de prélèvement.

Les tâches ne sont pas effectuées plus de six fois au cours de la journée.

Le niveau d'activité est normal pour toutes les mesures réalisées. Cependant, les conditions météorologiques sont différentes entre les différents sites de prélèvements et les informations recueillies sur ce paramètre sont limitées.

Les informations relatives aux opérateurs sont méconnues : âge, sexe, débit respiratoire, etc.

Des concentrations moyennes inhalées sont calculées pour caractériser les risques selon l'évaluation quantitative des risques sanitaires et sont présentées dans le tableau IV.

Tableau IV : résultats des concentrations moyennes pour chaque GES avec la durée de réalisation de la tâche

N°	GES	Concentration moyenne poussières alvéolaires (mg/ m ³)	Concentration moyenne Quartz (mg/ m ³)
1	Creusement de tranchées sur chaussée (30min)	13,53	0,53
2	Découpe de dalles en béton – à l'humide sans protection respiratoire (30min)	0,69	0,52
3	Découpe de dalles en béton – à sec avec protection respiratoire (30min)	13,39	0,83
4	Découpe de dalles en béton – à sec sans protection (30min)	13,10	1,90
5	Découpe de dalles en béton – à l'humide sans protection (30 min < P < 1h)	0,13	0,02
6	Découpe de dalles en béton – à sec avec protection respiratoire (30 min < P < 1h)	1,60	0,26
7	Forage (30 min < P < 1h)	5,66	Non calculée
8	Ponçage de surfaces en béton (30 min < P < 1h)	8,68	0,20
9	Rabotage (30 min < P < 1h)	4,06	0,16

S'agissant du GES 7 « forage », la concentration moyenne inhalée du quartz n'est pas calculée car pour les deux prélèvements réalisés, les concentrations n'ont pas pu être quantifiées.

Les scénarios d'exposition dans la construction de route

Comme vu en introduction, les situations d'exposition sont hétérogènes dans ce secteur et les travailleurs exécutent une succession de courtes tâches sur la journée.

Les scénarios d'exposition vie entière sont les suivantes, pour chaque GES décrit précédemment :

- Premier scénario (réaliste) : 30 minutes d'exposition par jour, 200 jours par an.
- Deuxième scénario (probable) : 3 heures d'exposition par jour, 200 jours par an.
- Troisième scénario (le pire) : 8 heures d'exposition par jour, 200 jours par an.

Pour tenir compte de la mobilité des salariés, un quatrième scénario est également identifié en calculant une exposition cumulée de 30 ans. Cette durée pourrait correspondre à celle d'une carrière professionnelle de 25 à 54 ans (graphique 1). D'après les données de l'observatoire des métiers, en 2018, 717 salariés ont 25 ans.

- Quatrième scénario – exposition cumulée :
 - découpe de dalle en béton à sec (GES 6) 3 heures par jour, 200 jours par an pendant 10 ans ;
 - ponçage de surfaces en béton (GES 8) 3 heures par jour, 200 jours pendant 10 ans ;
 - rabotage (GES 9) 3 heures par jour, 200 jours pendant 10 ans.

Dans la taille de pierre et la marbrerie

Au total, 17 prélèvements sont réalisés pour les activités de taille de pierre et de marbrerie. Pour plusieurs d'entre eux, les résultats sont inférieurs à la limite de quantification (LQ) de la méthode d'analyse de la silice choisie. La limite de quantification est la valeur au-dessous de laquelle le laboratoire n'est plus en mesure de déterminer avec exactitude la quantité du polluant recherché.

Compte-tenu du faible nombre de mesures, des groupes d'exposition similaire ne sont pas constitués comme pour la construction de route. Le tableau V présente les tâches pour lesquelles une concentration exacte a été mesurée pour une durée moyenne de 63 minutes.

Le niveau d'activité est normal pour toutes les mesures réalisées.

Les informations relatives aux opérateurs sont méconnues : âge, sexe, débit respiratoire, etc.

Tableau V : résultats des concentrations pour chaque tâche de la taille de pierre

N°	Tâches	Durée prélèvement (min)	Concentration poussières alvéolaires (mg/m ³)	Concentration quartz (mg/m ³)
1	Découpe à sec plan de travail (ponceuse orbitale)	65	1,87	0,04
2	Affutage de disque diamant et taille granit	61	2,93	0,31
3	Taille de granit	61	3,48	0,16
4	Taille de pierre Comblanchien (disqueuse portative)	60	7,48	0,02
5	Taille de pierre Comblanchien (taille burin cranté et sablage)	66	2,58	0,09
6	Taille de pierre Comblanchien (disqueuse diamant)	67	4,41	0,01

Il est à noter que les opérateurs qui effectuent les tâches 2 à 5 portent des protections individuelles de type demi-masque à cartouche P3 et qu'une cabine ventilée à flux vertical descendant existe. Les performances aérauliques des équipements de protection collectifs ne sont pas connus.

Les scénarios d'exposition dans la taille de pierre et la marbrerie

Les scénarios d'exposition vie entière sont les suivantes, pour chaque GES décrit au tableau IV :

- Premier scénario (probable) : 3 heures d'exposition par jour, 200 jours par an ;
- Deuxième scénario (le pire) : 8 heures d'exposition par jour, 200 jours par an.

3.3.3. Caractérisation des risques pour la construction de route

Effet à seuil : silicose

La valeur toxicologique de référence utilisée est de 0,022 mg/m³.

Tableau VI : caractérisation des risques de silicose pour les GES de la construction de routes

N°	GES	QD Scénario 1	QD Scénario 2	QD Scénario 3
1	Creusement de tranchées sur chaussée (30min)	0,3	1,7	4,4
2	Découpe de dalles en béton – à l'humide sans protection respiratoire (30min)	0,3	1,6	4,3
3	Découpe de dalles en béton – à sec avec protection respiratoire (30min)	0,4	2,6	6,9
4	Découpe de dalles en béton – à sec sans protection (30min)	1,0	5,8	15,5
5	Découpe de dalles en béton – à l'humide sans protection (30 min < P < 1h)	0,0	0,1	0,2
6	Découpe de dalles en béton – à sec avec protection respiratoire (30 min < P < 1h)	0,1	0,8	2,2
8	Ponçage de surfaces en béton (30 min < P < 1h)	0,1	0,6	1,7
9	Rabotage (30 min < P < 1h)	0,1	0,5	1,3

D'après les résultats mentionnés au tableau VI, pour toutes les tâches étudiées de la construction de route sauf pour le GES 5, la possibilité d'apparition d'une silicose ne peut pas être exclue à partir de 8h d'exposition par jour pendant 200 jours (pire scénario). En effet, les QD sont strictement supérieurs à 1. Il y a dans ces terrains d'étude de fortes expositions. Des mesures correctives, de surveillance ou de prise en charge médicale des salariés exposés sont à mettre en place.

Pour la découpe de dalles en béton à l'humide entre 30 min et 1 heure (GES 5), les QD sont strictement inférieurs à 1 pour tous les scénarios d'exposition.

Concernant le premier scénario qui serait le plus réaliste, pour toutes les tâches les QD sont inférieurs à 1. Le risque de développer une silicose est faible.

Pour le GES 4 (seule tâche avec aucune protection collective ni individuelle), à partir de 3 heures d'exposition par jour pendant 200 jours, le niveau d'exposition est 6 fois supérieur à la VTR.

Enfin, pour les GES 1, 2, 3 et 4 les QD sont strictement supérieurs à 1 à partir de 3 heures d'exposition par jour pendant 200 jours. Des mesures préventives sont à mettre en place.

Le QD pour le quatrième scénario (carrière professionnelle) est estimé à 2. Le niveau d'exposition est 2 fois supérieur à la VTR choisie.

Il peut en être déduit en termes d'impact sanitaire que 23% de la population des salariés de la construction de route en 2018 sont estimés être exposés à des niveaux d'exposition supérieurs à la VTR de la silicose.

Effet sans seuil : cancer du poumon

L'ERU utilisée est fixée à $3,64.10^{-5} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$

Tableau VII : caractérisation des risques de cancer broncho-pulmonaire pour les GES de la construction de routes

N°	GES	ERI scénario 1	ERI scénario 2	ERI scénario 3
1	Creusement de tranchées sur chaussée (30min)	2,30.10 ⁻⁴	1,38.10 ⁻³	3,67.10 ⁻³
2	Découpe de dalles en béton – à l'humide sans protection respiratoire (30min)	2,25.10 ⁻⁴	1,35.10 ⁻³	3,61.10 ⁻³
3	Découpe de dalles en béton – à sec avec protection respiratoire (30min)	3,60.10 ⁻⁴	2,16.10 ⁻³	5,75.10 ⁻³
4	Découpe de dalles en béton – à sec sans protection (30min)	8,08.10 ⁻⁴	4,85.10 ⁻³	1,29.10 ⁻²
5	Découpe de dalles en béton – à l'humide sans protection (30 min < P < 1h)	8,67.10 ⁻⁶	5,20.10 ⁻⁵	1,39.10 ⁻⁴
6	Découpe de dalles en béton – à sec avec protection respiratoire (30 min < P < 1h)	1,13.10 ⁻⁴	6,76.10 ⁻⁴	1,80.10 ⁻³
8	Ponçage de surfaces en béton (30 min < P < 1h)	8,88.10 ⁻⁵	1,46.10 ⁻⁶	1,42.10 ⁻³
9	Rabotage (30 min < P < 1h)	6,93.10 ⁻⁵	4.10.10 ⁻⁴	1,11.10 ⁻³

Comme l'indiquent les résultats présentés dans le tableau VII, à l'exception des GES 5 et 8 ; les ERI sont tous supérieurs à 10^{-4} (doctrine décisionnelle américaine pour les travailleurs). La probabilité de survenue du cancer broncho-pulmonaire dans ces situations est importante pour les individus exposés.

L'excès de risque cumulé pour le scénario 4 est de $4,33.10^{-3}$. L'excès de risque collectif (ERC) est de 3 pour une exposition future de la population de salariés de 25 ans. Autrement dit, 3 cas de cancers broncho-pulmonaire en excès liés à l'exposition à la silice cristalline devraient survenir au cours de la vie des 717 salariés de 25 ans exposés selon le scénario 4.

3.3.4. Caractérisation des risques pour la taille de pierre

Effet à seuil : silicose

La valeur toxicologique de référence utilisée est de 0,022 mg/m³/an.

Tableau VIII : caractérisation du risque de silicose pour les tâches de la taille de pierre

N°	Tâches	QD scénario 1	QD scénario 2
1	Découpe à sec plan de travail (ponceuse orbitale)	0,0	0,3
2	Affutage de disque diamant et taille granit	0,0	2,6
3	Taille de granit	0,0	1,3
4	Taille de pierre Comblanchien (disqueuse portative)	0,0	0,1
5	Taille de pierre Comblanchien (taille burin cranté et sablage)	0,0	0,7
6	Taille de pierre Comblanchien (disqueuse diamant)	0,0	0,9

Comme l'indiquent les résultats du tableau VIII, pour les tâches des GES 2 et 3 le QD est strictement supérieurs à 1 à partir de 8 heures d'exposition par jour pendant 200 jours par an (pire scénario). La possibilité d'apparition d'une silicose ne peut pas être exclue. Des mesures correctives, de surveillance ou de prise en charge médicale des salariés exposés sont à mettre en place dans cette situation.

Effet sans seuil : cancer du poumon

L'ERU utilisée est fixée à $3,64 \cdot 10^{-5} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$

Tableau IX : caractérisation des risques de cancer broncho-pulmonaire les tâches de la taille de pierre

N°	Tâches	ERI scénario 1	ERI scénario 2
1	Découpe à sec plan de travail (ponceuse orbitale)	1,01.10 ⁻⁷	4,11.10 ⁻⁶
2	Affutage de disque diamant et taille granit	7,96.10 ⁻⁷	3,23.10 ⁻⁵
3	Taille de granit	4,13.10 ⁻⁷	1,68.10 ⁻⁵
4	Taille de pierre Comblanchien (disqueuse portative)	3,80.10 ⁻⁸	1,54.10 ⁻⁶
5	Taille de pierre Comblanchien (taille burin cranté et sablage)	2,36.10 ⁻⁷	9,57.10 ⁻⁶
6	Taille de pierre Comblanchien (disqueuse diamant)	3,04.10 ⁻⁸	1,23.10 ⁻⁶

Comme l'indiquent les résultats présentés dans le tableau IX, les ERI sont tous inférieurs à 10⁻⁴ (doctrine décisionnelle américaine pour les travailleurs) quel que soit le scénario d'exposition. La probabilité de survenue du cancer broncho-pulmonaire dans ces situations est faible pour les individus exposés.

4. Discussions

Afin d'évaluer les expositions des salariés à la silice cristalline sur de courtes durées d'exposition, une méthode de prélèvement par le dispositif CIP10-A couplé à l'analyse par diffraction des rayons X (DRX) est utilisée.

Cette méthode permet de respecter plusieurs contraintes de l'étude :

- des valeurs toxicologiques de référence sélectionnées basses (de l'ordre du 10^{-2} mg/m³) ;
- pouvoir collecter beaucoup de matière sur de courte durée afin que les échantillons puissent être exploités ;
- pouvoir détecter et quantifier la silice cristalline de manière précise (sensibilité de la DRX).

Dans la pratique, le dispositif CIP10-A présente une certaine facilité d'utilisation (pas pompe, de flexible) par rapport à d'autres supports de prélèvement.

L'analyse par DRX présente toutefois quelques difficultés au regard du temps nécessairement long pour préparer les échantillons avant l'analyse (méthode indirecte).

Grâce à cette méthode, des concentrations en poussières alvéolaires et en quartz ont pu être quantifiées pour les trois quarts des échantillons analysés. Pour le quart restant, essentiellement dans la taille de pierre, des mesures de protection collective sont en place (cabine ventilée, table aspirante, etc.).

La comparaison des pics d'exposition aux valeurs limites d'exposition professionnelle sur 8h permet de sensibiliser, de faire prendre conscience et éventuellement de faire agir. Cependant, à un niveau plus collectif, cette comparaison ne permet pas de décrire et de quantifier la probabilité d'apparition d'une silicose ou d'un cancer broncho-pulmonaire dans la population.

A partir des données de concentration, une évaluation quantitative des risques sanitaires est mise en œuvre pour caractériser ces expositions de courte durée.

Des scénarios ont été élaborés pour des expositions vie entière par type de tâche étudiée et des expositions cumulées sur 30 ans qui correspondraient à une carrière professionnelle.

Les quotients de danger et les excès de risque individuel par tâche permettent au décideur d'étudier la nécessité ou non de mettre en place des mesures de protection et donc d'agir au niveau de la tâche.

A partir des quotients de danger et des excès de risque individuels, l'impact sanitaire d'une exposition professionnelle à la silice cristalline a pu être déterminée.

Dans la construction de route, la majorité des tâches étudiées présentent des quotients de danger entre 1,3 à 15,5 fois supérieurs à la valeur toxicologique de référence pour des

expositions à la silice cristalline de 3 heures (scénario probable) ou 8 heures pendant 200 jours (pire scénario). Le risque de développer une silicose ne peut donc être exclu.

Les excès de risque individuels calculés sont pour la majorité des tâches supérieurs à la doctrine décisionnelle pour les travailleurs (seuil de 10^{-4}) dès le scénario réaliste. La probabilité de survenue du cancer broncho-pulmonaire est importante pour les individus exposés.

La simulation d'une carrière professionnelle montre que 23% de la population des salariés de la construction de route en 2018 (soit 717 salariés de 25 ans) sont estimés être exposés à des niveaux 2 fois supérieurs à la valeur toxicologique de référence pour la silicose. 3 cas de cancers broncho-pulmonaire en excès liés à l'exposition à la silice cristalline devraient survenir au cours de la vie de cette même population.

Concernant la taille de pierre, les calculs de risque ne mettent pas en avant un risque important de silicose ou de cancer broncho-pulmonaire pour la population étudiée.

Limites de l'étude et recommandations

Concernant le protocole de mesures, plusieurs éléments peuvent avoir un impact sur la représentativité des résultats.

- Sur le prélèvement et non spécifique à la silice cristalline : l'étanchéité du dispositif de prélèvement (quantité de poussières prélevées), la position du dispositif sur l'opérateur, les conditions environnementales (vitesse du vent, humidité, etc.), la projection de particules selon les tâches étudiées, l'étalonnage du dispositif.
- Sur le CIP10-A : l'efficacité de collecte diminue pour les particules fines (entre 1 et 2 microns) d'environ 10%.
- Sur l'analyse par DRX en méthode indirecte : la préparation de la mousse avant analyse peut induire une perte de matière d'environ 10%.
- Sur le produit analysé : pour les activités de taille de pierre, la composition en silice cristalline n'est pas connue dans tous les cas.

La stratégie de prélèvement établie ne constitue pas un échantillon de mesures représentatif de la variabilité des concentrations rencontrées pour les tâches étudiées. En effet, l'objectif de cette étude étant avant tout de tester une méthodologie. Les groupes d'exposition similaire (GES) ont été constitués selon certains facteurs de variabilités spatiales et temporelles à connaissance : les sources d'émission, les équipements de protection collective ou individuelle, la durée d'exposition, différentes journées, différents opérateurs. Certains facteurs ne sont pas pris en compte tels que données propres aux opérateurs (âge, sexe, débit respiratoire, etc.), les conditions météorologiques (pour la construction de route).

D'une manière générale, aucune étude n'a été menée en France concernant le bruit de fond environnemental en poussières de silice cristalline alors que cette donnée peut avoir une

influence sur l'environnement immédiat des prélèvements en particulier pour les activités en extérieur.

Dans le cas d'une réalisation de campagne de mesures sur les tâches de courtes durées d'exposition, les recommandations suivantes sont proposées.

La stratégie d'échantillonnage est à affiner en relevant lors des visites les données permettant constituer des GES tenant compte des variabilités spatiales et temporelles.

Sur le prélèvement, l'utilisation de dispositif à haut débit de type GK4.162 (8,5 L/min pour la fraction alvéolaire) [18] pourrait limiter la sous-estimation de 10% constaté lors de la préparation de la mousse avec le CIP10-A. Cependant, l'achat de cassettes est nécessaire (cela peut induire un surcoût) et une mauvaise manipulation de ces cassettes en fin de prélèvement peut induire un biais dans les résultats de mesure.

Deux dispositifs de prélèvement peuvent être fixés systématiquement sur l'opérateur : un pour les poussières alvéolaires et un spécifiquement pour les poussières de silice cristalline.

Lorsque l'information n'est pas disponible, il peut être intéressant de réaliser en amont une analyse de produit afin de déterminer la présence de silice cristalline. L'ANSES recommande néanmoins de ne pas extrapoler l'exposition à la silice cristalline à partir du taux de silice cristalline dans les matériaux bruts et des résultats de mesures en poussières alvéolaires.

S'agissant d'aspects plus organisationnels : si le CIP10-A est utilisé, soit la préparation de la mousse est réalisée par le « laboratoire préleveur » avant envoi au laboratoire qui effectue l'analyse par DRX. Soit, il peut être envisagé de mettre en place une organisation dédiée à ce type d'analyse pouvant aller jusqu'à de l'automatisation dans le laboratoire d'analyse. Pour cette dernière possibilité, cela dépendra du nombre de prélèvements à analyser.

Les principales difficultés rencontrées pour mettre en œuvre la démarche d'évaluation quantitative des risques sanitaires ont été :

- de recueillir des données d'exposition principalement liée la saisonnalité pour la réalisation des mesures ;
- et le choix des valeurs toxicologiques de référence pour une exposition à la silice cristalline : l'absence de VTR effet à seuil pour la silicose et une seule proposition d'excès de risque unitaire pour les effets sans seuil.

Pour l'ATDSR (agency for toxic substances and disease registry), l'exposition cumulée est un facteur important pour le développement de la silicose. L'agence ne propose pas de VTR [19]. Elle justifie ce choix par plusieurs arguments : les symptômes apparaissant après quelques semaines d'exposition voire après plus de 20 ans d'exposition ; la sévérité augmentant après l'arrêt de l'exposition ; et un NOAEL (no-observed-adverse-effect level) n'a pas été assez documenté pour la silicose.

En effet, une revue de six études épidémiologiques qui ont mis en évidence une relation dose-réponse (figure 2) pour la silicose conclue qu'il existe de nombreuses incertitudes (estimation des expositions, caractéristiques physico-chimiques de la silice dans la poussière, différences entre les cohortes, etc.) pour pouvoir déterminer un NOAEL (no observable adverse effect level) et un LOAEL (lowest observable adverse effect level).

<i>Study</i>	<i>Subjects</i>	<i>NOAEL in $\mu\text{g}/\text{m}^3$</i>	<i>LOAEL in $\mu\text{g}/\text{m}^3$</i>
Davis <i>et al.</i> , 1983	969 granite workers	67.5	
Hnizdo and Sluis-Cremer, 1993	2235 gold miners	7	20
McDonald and Oakes, 1984	1321 gold miners	-	8 ^a
	64 gypsum miners	35	49
Muir <i>et al.</i> , 1989	2109 gold miners	Could not determine	Could not determine
Rice <i>et al.</i> , 1986	888 dusty trade workers	80-100	200-252

^a McDonald and Oakes (1984) considered this value to be only an approximation.

Figure 7 : extrait des résultats des 6 études épidémiologiques menées par Rice and Stayner en 1995 [20]

L'utilisation de la benchmark dose (BMD) a permis de poursuivre la caractérisation du risque de silicose.

Pour les effets sans seuil, l'argument avancé pour ne pas proposer d'excès de risque unitaire est que le cancer du poumon survient consécutivement au développement d'une silicose chez les travailleurs exposés de façon chronique. Ainsi, ce serait le risque de silicose qui devrait être évalué en priorité.

Or, même s'il n'existe aucune preuve épidémiologique solide que le cancer broncho-pulmonaire se produit sans silicose préexistante, les études n'excluent pas le risque.

Par ailleurs, les scénarios choisis peuvent être pénalisants (durées d'exposition majorantes). Les opérateurs étudiés ne représentent pas forcément la population de salariés de la construction de route et de la taille de pierre.

Il convient donc d'étudier la population, l'activité au préalable ou d'établir ces scénarios avec les professionnels concernés pour qu'ils soient plus proches de la réalité.

Dans cette évaluation, la multi-exposition n'est pas prise en compte par manque de données à ce sujet.

5. Conclusions

La réalisation de cette étude a permis d'engager une réflexion avec quelques laboratoires de chimie de Carsat et de l'INRS sur la réalisation de prélèvements de courte durée pour caractériser les expositions en milieu professionnel. L'intérêt de ce type de prélèvement est de travailler sur les tâches pour convaincre l'entreprise d'agir en prévention. En effet, la pratique habituelle de réaliser des mesures sur huit heures pour les comparer à des valeurs réglementaires peut avoir quelques limites (effet de dilution de la concentration).

Ainsi les travaux de ce mémoire se sont orientés d'une part, vers la mise en place d'un protocole de mesure qui permet d'évaluer des expositions de courtes durées pour certaines tâches. Ce protocole faisant intervenir et nécessitant une coordination entre cinq laboratoires de chimie de Carsat en France métropolitaine. Les résultats obtenus sont satisfaisants au regard de l'objectif.

D'autre part, vers la mise en œuvre d'une démarche d'évaluation quantitative des risques sanitaires pour caractériser les expositions professionnelles à partir des données récoltées et de déterminer ainsi l'impact sanitaire de l'exposition à la silice cristalline.

En faisant appel à des compétences pluridisciplinaires, ce type de démarche peut être intéressante afin d'éclairer les décideurs pour la définition de politique publique de prévention des risques professionnels.

La principale difficulté a été de sélectionner les valeurs toxicologiques de référence afin de réaliser la caractérisation des risques de silicose et de cancer broncho-pulmonaire. La recherche pour l'établissement de ces valeurs seuil semble incontournable mais aussi le développement de méthode de mesure. D'autant plus que des préoccupations émergent autour des dangers des particules ultrafines de silice cristalline.

Aucune donnée n'est actuellement disponible dans la littérature pour évaluer le risque en rapport avec des particules ultra fines de silice cristalline.

Bibliographie

- [1] « Les expositions aux risques professionnels - les produits chimiques | Dares ». <https://dares.travail-emploi.gouv.fr/publications/les-expositions-aux-risques-professionnels-les-produits-chimiques> (consulté le mars 21, 2021).
- [2] Julie MELANCON, « La silice cristalline, un ennemi sournois ». 2007.
- [3] « HAZARD ALERT - Worker Exposure to Silica during Hydraulic Fracturing | Occupational Safety and Health Administration ». https://www.osha.gov/dts/hazardalerts/hydraulic_frac_hazard_alert.html (consulté le mars 21, 2021).
- [4] Anses, « Dangers, expositions et risques relatifs à la silice cristalline. Avis de l'Anses. Rapports d'expertise collective. » avr. 2019.
- [5] E. Tjoe Nij *et al.*, « Variability in quartz exposure in the construction industry: implications for assessing exposure-response relations », *J. Occup. Environ. Hyg.*, vol. 1, n° 3, p. 191-198, mars 2004, doi: 10.1080/15459620490424528.
- [6] S. Poinen-Rughooputh, M. S. Rughooputh, Y. Guo, Y. Rong, et W. Chen, « Occupational exposure to silica dust and risk of lung cancer: an updated meta-analysis of epidemiological studies », *BMC Public Health*, vol. 16, n° 1, p. 1137, nov. 2016, doi: 10.1186/s12889-016-3791-5.
- [7] E. Tjoe Nij et D. Heederik, « Risk assessment of silicosis and lung cancer among construction workers exposed to respirable quartz », *Scand. J. Work. Environ. Health*, vol. 31 Suppl 2, p. 49-56, 2005.
- [8] « NIOSH hazard review: health effects of occupational exposure to respirable crystalline silica. », juin 2020, doi: 10.26616/NIOSH PUB2002129.
- [9] B. Bellmann *et al.*, « Lung clearance and retention of toner, utilizing a tracer technique, during chronic inhalation exposure in rats », *Fundam. Appl. Toxicol. Off. J. Soc. Toxicol.*, vol. 17, n° 2, p. 300-313, août 1991, doi: 10.1016/0272-0590(91)90220-x.
- [10] V. Leso, L. Fontana, R. Romano, P. Gervetti, et I. Iavicoli, « Artificial Stone Associated Silicosis: A Systematic Review », *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 16, n° 4, févr. 2019, doi: 10.3390/ijerph16040568.
- [11] V. Leso, L. Fontana, R. Romano, P. Gervetti, et I. Iavicoli, « Reply to Accelerated Silicosis-An Emerging Epidemic Associated with Engineered Stone. Comment on Leso, V. et al. Artificial Stone-Associated Silicosis: A Systematic Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2019, 16(4), 568, doi:10.3390/ijerph16040568 », *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 16, n° 7, avr. 2019, doi: 10.3390/ijerph16071201.
- [12] T. Kirby, « Australia reports on audit of silicosis for stonecutters », *Lancet Lond. Engl.*, vol. 393, n° 10174, p. 861, mars 2019, doi: 10.1016/S0140-6736(19)30478-7.
- [13] « Silice cristalline M-176 - MétroPol - INRS ». https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol/fiche.html?refINRS=METROPOL_176 (consulté le mars 21, 2021).
- [14] « Accueil », *Observatoire des métiers du BTP*. <https://www.metiers-btp.fr/> (consulté le mars 21, 2021).
- [15] « appendixd3final.pdf ». Consulté le: mars 21, 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://oehha.ca.gov/media/downloads/cnr/appendixd3final.pdf>.
- [16] N. Bonvallot, « Utilisation de la benchmark dose pour l'évaluation des risques sanitaires », p. 5, 2010.
- [17] « Development Support Document », p. 77.

- [18] X. SIMON, A. BOIVIN, et S. BAU, « EFFICACITÉS D'ÉCHANTILLONNAGE DES CYCLONES GK2.69, GK4.162 ET IFA-FSP POUR LE PRÉLÈVEMENT DES FRACTIONS THORACIQUE ET ALVÉOLAIRE », 2018, doi: 10.25576/ASFERA-CFA2018-12584.
- [19] « Document Display | NEPIS | US EPA ». <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P100CTTF.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EP A&Index=1995+Thru+1999&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A%5Czyfiles%5CIndex%20Data%5C95thru99%5CTxt%5C00000031%5CP100CTTF.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=hpfr&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=1&SeekPage=x&ZyPURL> (consulté le mars 21, 2021).
- [20] « NIOSHTIC-2 Publications Search - 00230583 - Assessment of silicosis risk for occupational exposure to crystalline silica. » <https://www.cdc.gov/niosh/nioshtic-2/00230583.html> (consulté le mars 21, 2021).

Liste des figures

FIGURE 1 : ACTIVITE DE CREUSEMENT DE TRANCHEES – CARSAT SUD-EST	2
FIGURE 2 : ACTIVITE DE DECOUPE DE BORDURE – CARSAT PAYS DE LA LOIRE	5
FIGURE 3 : TAILLE D'UN BLOC DE PIERRES DE COMBLANCHIEN – CARSAT NORD-EST	6
FIGURE 4 : REPRESENTATION DES REGIONS SELECTIONNEES POUR L'ETUDE.....	8
FIGURE 5 : CIP10-A ET REPRESENTATION SCHEMATIQUE DU SELECTEUR DE LA FRACTION ALVEOLAIRE, AVEC SA COUPELLE ROTATIVE EN PLACE (INRS)	9
FIGURE 6 : NOMBRE DE SALARIES DE LA CONSTRUCTION DE ROUTE PAR CLASSE D'AGE EN 2018.....	11
FIGURE 7 : EXTRAIT DES RESULTATS DES 6 ETUDES EPIDEMIOLOGIQUES MENEES PAR RICE AND STAYNER EN 1995 [20]	26

Liste des tableaux

TABLEAU I : RISQUE DE CANCER PULMONAIRE CHEZ DES PATIENTS SILICOTIQUES ET NON SILICOTIQUES.	4
TABLEAU II : TABLEAUX DE MALADIES PROFESSIONNELLES LIEES A L'EXPOSITION A LA SILICE CRISTALLINE ET PATHOLOGIES ASSOCIEES...	5
TABLEAU III : COMPARAISON DES CONCENTRATIONS MESUREES AUX VALEURS LIMITES REGLEMENTAIRES PROFESSIONNELLES PAR TACHE ETUDIEE	15
TABLEAU IV : RESULTATS DES CONCENTRATIONS MOYENNES POUR CHAQUE GES AVEC LA DUREE DE REALISATION DE LA TACHE	18
TABLEAU V : RESULTATS DES CONCENTRATIONS POUR CHAQUE TACHE DE LA TAILLE DE PIERRE	19
TABLEAU VI : CARACTERISATION DES RISQUES DE SILICOSE POUR LES GES DE LA CONSTRUCTION DE ROUTES	20
TABLEAU VII : CARACTERISATION DES RISQUES DE CANCER BRONCHO-PULMONAIRE POUR LES GES DE LA CONSTRUCTION DE ROUTES	21
TABLEAU VIII : CARACTERISATION DU RISQUE DE SILICOSE POUR LES TACHES DE LA TAILLE DE PIERRE	22
TABLEAU IX : CARACTERISATION DES RISQUES DE CANCER BRONCHO-PULMONAIRE LES TACHES DE LA TAILLE DE PIERRE	22

Silice cristalline dans la construction de route et la taille de pierre : comment évaluer l'exposition de courte durée et caractériser les risques ?

Mémoire d'Ingénieur CNAM Spécialité Gestion des risques, Paris 2021.

RESUME

La silice cristalline est une importante composante des matériaux de construction et certaines activités comme la taille de pierre reconstituées peuvent provoquer l'émanation de poussières. Une part importante des expositions se situe lors de la réalisation de tâches de courtes durées (inférieures à deux heures). Si de nombreuses études montrent le lien entre exposition et cancers, ces situations de travail de courte durée ont rarement été évaluées.

Cette étude décrit la mise en œuvre d'une méthode de prélèvement et d'analyse afin d'évaluer les expositions professionnelles de courte durée ; et la caractérisation des risques de silicose et de cancer broncho-pulmonaire dans la construction de route et la taille de pierre sur l'année 2018.

L'utilisation du CIP10-A pour prélever sur de courte durée et l'analyse des échantillons par diffraction de rayons X permet d'évaluer les tâches et d'utiliser les résultats pour montrer la nécessité d'agir en prévention. A partir de ces données et par la mobilisation de compétences pluridisciplinaires, la démarche d'évaluation quantitative des risques sanitaires peut, quant à elle, alimenter la réflexion des décideurs pour la définition de politique publique de prévention des risques professionnels.

Mots-clés : cancer, évaluation, métrologie, risque, silice cristalline, silicose

SUMMARY

Crystalline silica is an important component of construction materials and several activities such as reconstituted stone cutting can cause the emanation of dust. A large part of the exposure occurs during short-term tasks (less than two hours). While many studies show the link between exposure and cancer, these short-term work situations have rarely been evaluated.

This study describes the implementation of a sampling and analysis method to assess short-term occupational exposures; and the characterization of the risks of silicosis and bronchopulmonary cancer in road construction and stone cutting over the year 2018.

Using CIP10-A for short-term sampling and analysing samples by X-ray diffraction allows tasks to be assessed and the results can be used to convince for preventive action. With these data and by mobilizing multidisciplinary skills, the quantitative assessment of health risks can help decision-makers for the definition of prevention of occupational risks public policy.

Key words: assessment, cancer, crystalline metrology, silica, risk, silicosis