



anses

Expositions des riverains de sites émetteurs dans l'air de silice cristalline

Avis de l'Anses
Rapport d'expertise collective

Août 2024



Connaître, évaluer, protéger

Le directeur général

Maisons-Alfort, le 22 août 2024

AVIS
de l'Agence nationale de sécurité sanitaire
de l'alimentation, de l'environnement et du travail

relatif à la « mise à jour des données relatives aux
expositions à la silice cristalline dans l'air extérieur chez
les riverains de sites d'activités émettrices de silice
cristalline »

L'Anses met en œuvre une expertise scientifique indépendante et pluraliste.
L'Anses contribue principalement à assurer la sécurité sanitaire dans les domaines de l'environnement, du travail et de l'alimentation et à évaluer les risques sanitaires qu'ils peuvent comporter.
Elle contribue également à assurer d'une part la protection de la santé et du bien-être des animaux et de la santé des végétaux et d'autre part à l'évaluation des propriétés nutritionnelles des aliments.
Elle fournit aux autorités compétentes toutes les informations sur ces risques ainsi que l'expertise et l'appui scientifique technique nécessaires à l'élaboration des dispositions législatives et réglementaires et à la mise en œuvre des mesures de gestion du risque (article L.1313-1 du code de la santé publique).
Ses avis sont publiés sur son site internet.

L'Anses a été saisie le 1^{er} Septembre 2022 par la Direction générale de la prévention des risques (DGPR) pour un travail d'expertise sur la mise à jour des données relatives aux expositions à la silice cristalline dans l'air extérieur chez les riverains de sites d'activités émettrices de silice cristalline.

1. CONTEXTE ET OBJET DE LA SAISINE

L'Anses a publié en 2019 un rapport d'expertise sur les « dangers, les expositions et les risques sanitaires relatifs à la silice cristalline » (Anses 2019). Concernant les risques pour la population générale, l'expertise a conclu que les données recueillies sur les niveaux d'exposition à la silice cristalline de la population générale ne permettaient pas de réaliser une évaluation des risques sanitaires. De plus, l'expertise a souligné qu'il n'existait pas de réglementation environnementale spécifique pour la silice cristalline en France. Dans le cadre de la réglementation relative aux Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE), les installations d'extraction et de premier traitement de minéraux naturels, dans le cadre du régime d'autorisation, sont soumises à des dispositions particulières visant à contrôler l'émission de poussières susceptibles d'incommoder le voisinage et de nuire à la santé et à la sécurité publiques, mais il n'est pas fait mention de silice cristalline. Des mesures de concentrations en silice cristalline dans l'air ambiant peuvent être réalisées lors d'études d'impact, mais les données ne sont pas centralisées.

Ainsi, dans son avis, l'Anses a recommandé pour la prévention des risques, y compris pour la population générale, de documenter les concentrations environnementales en silice cristalline dans l'air extérieur, au travers d'études réalisées aussi bien en station de fond qu'à proximité de sites susceptibles de générer des aérosols contenant de la silice cristalline, tels que les axes routiers et chantiers de bâtiments et travaux publics (BTP). Puis, selon les résultats, d'évaluer l'intérêt d'inclure la silice cristalline dans le cadre de la surveillance de la qualité de l'air extérieur.

Plus spécifiquement sur les carrières, l'Anses a recommandé, pour la protection de la population générale, de surveiller dans le cadre de la réglementation relative aux ICPE les émissions de silice cristalline, notamment à l'attention des riverains de ce type d'installation. L'Agence a également recommandé que les données issues de cette surveillance soient centralisées et accessibles.

Suite à cette recommandation, la Direction générale de la prévention des risques (DGPR) a sollicité les fédérations professionnelles des industries de carrières (Union nationale des industries de carrières et des matériaux de construction (UNICEM) et fédération Minéraux Industriels-France (MIF)) afin d'évaluer les suites possibles à donner aux recommandations de l'Agence. Ces dernières ont conduit une étude visant à mesurer l'exposition à la silice cristalline autour d'une sélection de carrières et à évaluer les risques associés réalisée par un bureau d'expertise. Cette étude fait l'objet d'un rapport en trois parties qui a été transmis à l'Anses (EVADIES, MIF et UNPG 2022a, 2022b, 2022c).

Au regard des résultats de cette étude, il est demandé à l'Anses si les conclusions de l'évaluation des risques réalisée peuvent être confirmées ou, dans le cas contraire, de réévaluer les risques sanitaires pour les riverains de sites d'extraction.

En accord avec la DGPR, l'Anses a redéfini l'objectif et le périmètre de la saisine. L'Agence a effectué une mise à jour et une analyse des données d'exposition environnementale à la silice cristalline dans l'air extérieur, incluant celles issues de l'étude conduite par les fédérations professionnelles. Cette recherche de nouvelles données a été élargie aux populations

vivant/résidant à proximité des sites d'activités émettrices de silice cristalline autres que les carrières (ex : chantiers BTP, axes routiers), dans l'objectif de vérifier si de nouvelles données permettent de répondre aux recommandations émises en 2019 et d'estimer si ces données sont pertinentes et suffisantes pour évaluer les risques sanitaires pour les riverains de ces sites d'activités.

2. ORGANISATION DE L'EXPERTISE

L'Anses a confié cette expertise au comité d'experts spécialisé (CES) « Évaluation des risques liés aux milieux aériens ». Trois experts rapporteurs ont été mandatés pour participer à la recherche et à l'analyse critique des données recueillies ainsi qu'à la relecture du rapport d'expertise. Deux agents de l'Anses, en charge de la coordination scientifique de cette expertise, ont également contribué à ces travaux.

Ces travaux d'expertise ont été soumis régulièrement au CES tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques entre le 3 Avril 2023 et le 25 Avril 2024. Le rapport produit tient compte des observations et éléments complémentaires transmis par les membres du CES. Ces travaux ont été adoptés par le CES réuni le 25 Avril 2024.

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – Prescriptions générales de compétence pour une expertise (Mai 2003) ».

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts avant leur nomination et tout au long des travaux, afin d'éviter les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre de l'expertise.

Les déclarations d'intérêts des experts sont publiées sur le site internet : <https://dpi.sante.gouv.fr/>.

Méthode d'expertise

En complément des données incluses dans le rapport évoqué ci-dessus commandité par les fédérations professionnelles, la mise à jour des données d'exposition à la silice cristalline dans l'air extérieur provient de publications scientifiques et de la littérature grise issue de consultations internationale et nationale. De plus, des auditions d'acteurs dans le domaine de la santé publique, santé travail ou santé environnement ont été menées pour compléter les données.

Concernant la revue de la littérature, l'équation de recherche utilisée dans l'expertise antérieure de l'Anses (Anses 2019) a de nouveau été appliquée dans trois moteurs de recherche de données bibliographiques (Scopus, Pubmed, Web of Science), pour rechercher les publications documentant des niveaux de concentrations en silice cristalline dans l'air ambiant sur la période 2018-2023 (2018 étant la fin de la période de recherche dans l'expertise de 2019). L'équation de recherche contenait les deux groupes de mots clés suivants recherchés dans les titres, résumés selon les règles de chaque moteur :

- ("ambient exposure" OR "ambient concentration*" OR "ambient sampl*" OR "ambient measur*" OR "resident*" OR "non-occupational exposure" OR "environmental exposure" OR "environment exposure" OR "atmospheric exposure" OR "airborne exposure")
- (silica OR quartz OR tridymite OR cristobalite OR "silicon dioxide").

Les publications identifiées ont ensuite été triées et sélectionnées par deux relecteurs sur la base de leurs titre et résumé, puis de leur texte intégral. Le critère d'inclusion principal était la documentation de niveaux d'exposition en silice cristalline, en particulier des niveaux de concentration dans les milieux aériens, dans l'environnement général ou à proximité de sites d'activités émettrices de silice cristalline. Une analyse critique des cinq publications sélectionnées a été réalisée puis une synthèse narrative.

Pour la recherche de la littérature grise, une consultation internationale des agences ou autorités dans le domaine de la santé publique, santé en environnement ou santé au travail en Europe et Amérique du Nord a été réalisée. L'objectif était de recueillir par le biais d'un questionnaire des informations sur l'exposition environnementale à la silice cristalline, sur l'évaluation des risques sanitaires en population générale, ainsi que sur les recommandations existantes concernant les mesures de prévention pour la population générale. Afin d'identifier des données d'exposition non professionnelle à la silice cristalline dans l'air ambiant plus spécifiques aux situations en France, une consultation nationale des acteurs dans le domaine de la silice cristalline a également été menée.

Une analyse de l'ensemble des ressources collectées lors de ces consultations a été réalisée à l'aide des critères de la grille de lecture des publications scientifiques. Les informations pertinentes par rapport à l'objectif de cette expertise ont fait l'objet d'une synthèse narrative.

Afin d'apporter des précisions sur les données rapportées dans l'étude commanditée par les fédérations professionnelles (EVADIES, MIF et UNPG 2022a, 2022b, 2022c), une audition des représentants des fédérations professionnelles des industries de carrières et du bureau d'expertise a été effectuée.

Une audition de l'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS) a également été réalisée afin d'obtenir des informations complémentaires sur les méthodes de mesure de la silice cristalline.

3. ANALYSE ET CONCLUSIONS DU CES

Les différentes sources documentaires consultées dans cette expertise ont permis de mettre à jour les valeurs guides et les valeurs sanitaires de référence pour la population générale, ainsi que les données de concentration pour certaines activités émettrices de silice cristalline, et d'apporter des informations complémentaires sur les méthodes de mesure de la silice cristalline dans l'air ambiant ainsi que sur les risques sanitaires pour les populations riveraines de certaines activités.

3.1. Valeurs guides et valeurs sanitaires de référence en population générale

Des valeurs de référence pour la population générale ont été recensées dans l'expertise antérieure de l'Anses publiée en 2019 dont la valeur toxicologique de référence (VTR) pour une exposition chronique par inhalation dérivée par l'OEHHA¹ en 2005, seule valeur dont la construction était détaillée. Il s'agit d'une valeur de référence par inhalation « *Inhalation Reference Exposure Level* » (REL) de 3 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ soit 0,003 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (fraction alvéolaire) considérant la silicose comme effet critique.

Dans le cadre de cette expertise, des valeurs sanitaires de référence en population générale pour la silice cristalline dérivées par la TCEQ² ont été nouvellement identifiées. Ces valeurs de référence (*Reference Value* « ReV ») s'apparentent à des VTR pour lesquelles il est précisé qu'elles s'appliquent à la fraction granulométrique PM_{4} ³. Elles sont de trois types : court-terme (1h) à 47 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, court-terme (24h) à 24 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ et long terme (vie entière) à 0,27 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, concentration associée à un niveau de risque de 10^{-5} . Les effets critiques pris en compte pour dériver les valeurs court-terme sont l'inflammation et la cytotoxicité dans les voies respiratoires. Pour dériver la valeur long terme, l'effet cancérigène a été retenu (TCEQ 2009, 2020a). La TCEQ développe également des valeurs de référence dans le cadre de la surveillance de l'air ambiant, appelées health-based Air Monitoring Comparison Values (AMCVs). Dans le cas de la silice cristalline, les AMCVs sont identiques aux ReV.

L'ensemble des valeurs guides ou sanitaires identifiées dans cette expertise est présenté dans le Tableau 1 en Annexe. Celles-ci sont de différents ordres de grandeur (allant de 0,06 à 3 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pour une exposition chronique, 24 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pour une exposition 24h et 47 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pour une exposition de 1h) et sont élaborées à partir de fractions granulométriques différentes (PM_{4} ou PM_{10}). La recherche bibliographique réalisée a permis uniquement de documenter la construction des VTR dérivées par l'OEHHA et la TCEQ. Aucune information relative à la dérivation des autres valeurs recensées n'a été identifiée.

3.2. Données de concentrations à la silice cristalline dans l'air ambiant à proximité des sites d'activités émettrices de silice cristalline

Onze études dont 5 publications scientifiques (Dash, Tripathy et Pandey 2020; Pierce *et al.* 2019; Richards et Brozell 2021; Shaaban *et al.* 2021; Singh *et al.* 2022) et 6 études issues de la littérature grise (ATMO NA. 2020 ; EVADIES, MIF et UNPG 2022b ; NANOCONSULT 2023 ; PreventPartner 2021 ; RPS 2019 ; TCEQ 2023) rapportant des données de concentrations à la silice cristalline dans l'air ambiant à proximité de sites d'activités émettrices de silice cristalline ont été sélectionnées dans le cadre de cette expertise. Les différents types d'activités couvertes dans ces études sont les suivantes :

- carrières de granulats et minéraux ;

¹ OEHHA : California Office of Environmental Health Hazard Assessment

² TCEQ : Texas Commission on Environmental Quality

³ « PM » (Particulate matter en anglais), fraction PM_x , correspond à la matière particulaire en suspension dans l'air, de taille suffisamment petite pour traverser une tête de prélèvement sélective de fraction granulométrique, avec une efficacité de coupure de 50 % pour un diamètre aérodynamique de $x \mu\text{m}$. En d'autres termes, la fraction PM_x est définie d'après le seul diamètre de coupure. Le diamètre de coupure de la fraction PM_4 est similaire à celui de la fraction alvéolaire, mais cette dernière est également définie conventionnellement par une courbe d'efficacité de prélèvement. La fraction PM_4 se rapproche donc de la fraction alvéolaire mais n'est pas strictement identique (Anses, 2023).

- mines ;
- broyage et concassage de roches ;
exploitation ou production de sable siliceux industriel ;
- construction de bâtiments ;
- trafic routier ;
- entretien de voies ferrées (brassage de ballast) ;
- stockage et transbordement de produits vrac tels que du charbon, minerais, sable, coke de pétrole ;
- terrains de tennis (poussière de terre battue).

Ces études rapportent les concentrations en silice cristalline dans l'air ambiant mesurées dans différentes fractions granulométriques suivantes :

- dans la fraction PM₁₀, les concentrations mesurées varient de 0,34 à 109 µg.m⁻³ ;
- dans la fraction PM_{2,5}, les concentrations varient de <0,03 à 11,34 µg.m⁻³ ;
- dans la fraction PM₄, les concentrations varient de 0,22 à 7 µg.m⁻³ ;
- dans la fraction alvéolaire, les concentrations varient de 0,001 à 0,1 µg.m⁻³.

Certaines de ces études ont également rapporté les teneurs en quartz des particules prélevées qui sont comprises entre 1 % et 28 % dans les PM_{2,5} et entre 2 % et 23 % dans les PM₁₀ selon les échantillons.

L'ensemble des données de concentrations en silice cristalline recensées dans cette expertise sont présentées dans le Tableau 2 en Annexe.

Il est difficile de comparer les résultats de ces études aussi bien entre elles que par rapport aux situations rencontrées en France. Plusieurs études manquent d'informations méthodologiques, en particulier les critères retenus sur la stratégie spatiale de prélèvement comme la distance de l'échantillonneur par rapport au site et aux cibles, mais également les limites de détection et de quantification ou les modalités de prise en compte des valeurs en dessous de ces limites. De plus, la situation géographique, les conditions météorologiques et les activités des sites sont assez diverses d'une étude à l'autre et ne sont pas toujours précisées. Elles peuvent être par ailleurs assez éloignées de la situation française. Hormis la revue de Richards et Brozell (2021), ces études portaient sur un faible nombre de sites et comprenaient peu d'échantillons prélevés, ce qui est insuffisant pour permettre des conclusions plus générales. De plus, ces études ont utilisé des méthodes de prélèvement et des techniques d'analyse de la silice cristalline différentes.

Concernant plus spécifiquement l'étude française de mesure de silice cristalline à proximité de 5 carrières (EVADIES, MIF et UNPG 2022a, 2022b), il est difficile de juger de la représentativité des sites retenus ou de s'assurer du caractère majorant de l'exposition à la silice cristalline allégué par les auteurs en l'absence de certaines informations telles que : la localisation des riverains les plus proches des carrières non retenues dans l'étude par rapport aux vents dominants pour l'ensemble des carrières en France, ou la comparaison du pourcentage de temps de mesure où les préleveurs ont été sous le vent de la source lors de la campagne par rapport à la moyenne annuelle. D'autres limites méthodologiques ont également été soulevées comme la différence, selon les sites, de stratégie de prélèvement (fractions PM₁₀ et PM_{2,5} dans les sites d'extraction de granulats vs fraction PM₁₀ uniquement dans les sites d'extraction de minéraux), de typologie des points de prélèvements (absence

de mesure en limite d'autorisation dans les sites d'extraction de minéraux), et du nombre de prélèvements (absence de mesures hebdomadaires sur les sites d'extraction de sites de minéraux, nombre de jours de mesures variant de 13 à 53).

3.3. Méthodes de mesure de la silice cristalline dans l'air extérieur

L'ensemble des méthodes de prélèvement et d'analyse de la silice cristalline mises en œuvre dans les études identifiées est présenté dans le Tableau 2 en Annexe.

Il n'y a pas de méthode de mesure standardisée de la silice cristalline dans l'air extérieur. En conséquence, les méthodes de prélèvement de la silice cristalline dans l'environnement varient entre les études et différents filtres sont utilisés (PVC, nitrate ou ester de cellulose, fibre de verre, papier Whatman, etc.). La durée de prélèvement varie également : 24h pour la majorité des études mais, pour certaines, il s'agit de prélèvement hebdomadaire. Les méthodes d'analyse utilisées sont majoritairement l'infra-rouge à transformée de Fourier (IRTF) ou la diffraction par rayon (DRX), mais dans une étude (Shaaban *et al.* 2021) la silice cristalline a été analysée par spectrométrie UV et dans une autre (PreventPartner 2021), la concentration en silice a été estimée par modélisation (outil IHMOD_2_0.xlsx).

La fraction granulométrique, dans laquelle la silice cristalline a été analysée, est également différente entre les études. La fraction PM₁₀ a été prélevée dans la majorité des études, et la fraction PM_{2,5} a été prise en compte dans 3 études, seule ou en complément des PM₁₀ (ATMO NA. 2020 ; EVADIES, MIF et UNPG 2022a, 2022b ; Pierce *et al.* 2019). Dans la revue de Richards et Brozell (2021) et dans l'étude menée par la TCEQ (2023), la méthode environnementale de référence pour prélever les PM_{2,5} a été adaptée afin d'obtenir un diamètre de coupure de 4 µm, afin de se rapprocher de la fraction alvéolaire utilisée en milieu professionnel. Enfin, dans d'autres études (NANOCONSULT 2023 ; PreventPartner 2021 ; RPS 2019), c'est la fraction alvéolaire qui a été prélevée à l'aide d'un cyclone conformément à la norme NIOSH 7602. Le choix de la fraction prélevée n'est pas justifié dans les études. Ce choix dépend probablement de l'objectif de l'étude qui visait dans la plupart des cas à étudier les expositions aux particules (PM₁₀ ou PM_{2,5}) de manière générale et leur composition chimique dont l'analyse de la silice cristalline. Ces études n'avaient pas pour objectif d'étudier la silice cristalline dans les différentes fractions et sa distribution en fonction de la taille des particules. Aucune des études identifiées n'a mesuré la silice cristalline dans les particules ultrafines (PUF) ni dans les particules submicroniques.

3.4. Évaluation des risques sanitaires

Sept études ont évalué les risques sanitaires pour les riverains des sites d'activités émettrices de silice cristalline. Selon les études, l'évaluation consistait soit à comparer les concentrations mesurées à des valeurs guides ou sanitaires de référence existantes et si les concentrations sont supérieures à la valeur de référence, les auteurs concluaient à l'existence d'un risque pour la population (Dash, Tripathy et Pandey 2020; NANOCONSULT 2023; PreventPartner 2021; Richards et Brozell 2021; Shaaban *et al.* 2021; TCEQ 2023) ; soit à estimer un risque sanitaire à l'aide d'un quotient de danger (EVADIES, MIF et UNPG 2022a, 2022b). Celui-ci a été calculé pour chacun des sites en utilisant la VTR dérivée par l'OEHHA (2005) de 3 µg.m⁻³

et les concentrations moyennes inhalées en silice cristalline dans les PM₁₀ et dans les PM_{2,5}. L'estimation du risque a été réalisée en considérant des hypothèses majorant le temps d'exposition et la concentration inhalée. Hormis l'étude (Dash, Tripathy et Pandey 2020), toutes ces études ont conclu à l'absence de risque sanitaire pour la population riveraine des sites. Le Tableau 3 en annexe synthétise ces informations.

Il est cependant constaté qu'il n'y a pas de consensus sur la valeur sanitaire à utiliser pour évaluer les risques. En effet, les valeurs choisies comme référence sont différentes :

- 6 µg.m⁻³ en PM₁₀ dans l'étude de Dash, Tripathy et Pandey (2020) établie à partir de la valeur seuil proposée pour les PM₁₀ par l'US-EPA en 1996 et une hypothèse d'une teneur maximale en silice cristalline de 10 % dans les PM₁₀ ;
- valeur de l'OEHHA de 3 µg.m⁻³ en PM₄ dans l'étude de Richards et Brozell (2021) et celle commanditée par les fédérations professionnelles (EVADIES, MIF et UNPG 2022a, 2022b) ;
- valeur court-terme 24h de la TCEQ de 24 µg.m⁻³ en PM₄ dans l'étude menée par cet organisme (TCEQ 2023) ;
- valeur limite environnementale de l'Etat du Vermont de 0,12 µg.m⁻³ en PM₁₀ dans l'étude de PreventPartner (2021).

Le choix de ces valeurs n'est pas justifié par les auteurs. Par ailleurs, Shaaban *et al.* (2021) et NANOCONSULT (2023) comparent leurs résultats à des valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) en soulignant l'absence de valeur de référence pour la population générale.

A noter que dans le cadre de l'étude commanditée par les fédérations professionnelles des industries de carrière en France (EVADIES, MIF et UNPG 2022a, 2022b), l'estimation du risque est basée sur la VTR chronique de l'OEHHA de 3 µg.m⁻³ en PM₄ (effet critique : silicose), valeur couramment citée dans la littérature scientifique. Or la TCEQ a dérivé une VTR dix fois plus faible à 0,27 µg.m⁻³ en PM₄ en prenant en compte l'effet cancérigène de la silice cristalline. Par ailleurs, ces VTR sont établies pour une fraction granulométrique correspondant aux PM₄ s'approchant de la fraction alvéolaire utilisée en milieu professionnel. Or les concentrations en silice cristalline ont été mesurées dans des fractions granulométriques différentes (PM₁₀ et PM_{2,5}). De plus, les auteurs ont conclu que « *la mesure de silice cristalline alvéolaire semble plus appropriée sur la fraction granulométrique PM₁₀* » du fait d'une teneur en quartz plus importante dans les PM₁₀ que dans les PM_{2,5}. En milieu professionnel, la silice cristalline est prélevée dans la fraction alvéolaire. La fraction PM₄ se rapproche le plus de la fraction alvéolaire en termes de diamètre de coupure⁴, bien qu'elle ne corresponde pas strictement à la fraction alvéolaire qui est définie avec une courbe d'efficacité d'échantillonnage pour différentes tailles de particules. Ainsi, mesurer la silice cristalline dans la fraction PM₁₀ pour évaluer les risques de la population riveraine à la silice cristalline alvéolaire tel que proposé par les auteurs ne semble pas approprié. En effet, d'une part, les effets sanitaires de la silice cristalline sont liés à la pénétration et au dépôt des particules de silice cristalline dans les voies aériennes et le poumon qui dépendent notamment du diamètre aérodynamique des particules. D'autre part, les relations dose-réponse ne sont pas basées

⁴ Le diamètre de coupure » correspond à la taille des particules en µm qui est prélevée avec une efficacité supérieure à 50 %.

sur des données d'exposition caractérisées dans la fraction PM_{10} mais dans la fraction alvéolaire.

3.5. Conclusions du CES

La mise à jour bibliographique a permis d'identifier quelques nouvelles données de concentration en silice cristalline dans l'air ambiant à proximité d'activités émettrices de silice, en France et à l'international. Les concentrations observées sont majoritairement inférieures à $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Les nouvelles études confirment les résultats rapportés dans l'expertise antérieure de l'Anses sur la silice cristalline publiée en 2019 avec des concentrations du même ordre de grandeur. La majorité des évaluations de risques sanitaires recensées conclut à une absence de risque pour la population riveraine, mais ces études présentent des limites méthodologiques importantes.

La majorité des études porte sur le secteur des mines et carrières, et très peu sur les autres secteurs d'activités émettrices de silice cristalline (chantiers BTP, axe routier), notamment en France. Aucune donnée sur le secteur agricole, autre secteur d'activités potentiellement émettrices de silice cristalline (Anses 2019), n'a été identifiée.

Le constat émis en 2019, à savoir l'absence de méthode de mesure normalisée de la silice cristalline dans l'air ambiant extérieur est toujours d'actualité. Selon les études, la silice cristalline est mesurée dans les fractions conventionnelles environnementales PM_{10} , $PM_{2,5}$ ou bien dans la fraction PM_4 pour pouvoir prélever une fraction granulométrique proche de la fraction alvéolaire prise en compte en milieu professionnel. L'analyse est réalisée généralement par DRX ou IRTF.

Il est difficile de comparer et d'interpréter les résultats de ces études par rapport aux objectifs de la présente expertise en raison :

- du manque d'informations sur les critères méthodologiques dans certaines publications scientifiques et dans certaines études financées par les exploitants : distance de l'échantillonneur par rapport au site et aux cibles, limites de détection et de quantification et prise en compte des valeurs en dessous de ces limites ; situations choisies comme étant les plus exposantes pour les riverains ;
- du faible nombre de sites investigués et du faible nombre d'échantillons prélevés dans la majorité des études ;
- du manque d'informations pour juger de la représentativité des sites étudiés par rapport à l'ensemble des sites en France ;
- de l'hétérogénéité des stratégies de prélèvement, des fractions prélevées et des méthodes d'analyse de la silice cristalline, hétérogénéité liée à l'absence de méthode standardisée pour le prélèvement et l'analyse de la silice cristalline dans l'air ambiant.

Concernant les valeurs sanitaires de référence, il n'y a toujours pas de consensus sur la valeur à considérer pour évaluer les risques sanitaires liés à l'exposition de la population générale à la silice cristalline. Les valeurs guides et les valeurs sanitaires de référence recensées sont élaborées pour des fractions granulométriques différentes (PM_4 ou PM_{10}) et sont pour certaines différentes des fractions dans laquelle la silice cristalline a été mesurée. Pour une exposition chronique, ces valeurs sont de différents ordres de grandeur allant de 0,06 à

3 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. La méthode de construction de certaines valeurs n'est pas suffisamment documentée. Seules les valeurs dérivées par l'OEHHA de 3 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (long terme) ou par la TCEQ de 47 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (court-terme (1h)), 24 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (court-terme (24h)) et 0,27 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (long terme – exposition vie entière associée à un excès de risque de cancer de 10^{-5}), toutes définies dans la fraction PM_{4} , peuvent être assimilées à des VTR. L'effet critique pris en compte pour dériver la valeur long terme de l'OEHHA est la silicose, tandis que pour la valeur long terme de la TCEQ, c'est l'effet cancérigène. L'effet critique pour la valeur court-terme est l'inflammation et la cytotoxicité des voies respiratoires. En conséquence, l'interprétation des résultats d'évaluations de risque sanitaire réalisées dans les études identifiées est difficile.

En conclusion, les données ne permettent pas de renseigner quelle serait la fraction granulométrique la plus pertinente à prélever pour évaluer l'exposition de la population générale. Aucune de ces données de mesure ne comporte d'analyse morphologique permettant de distinguer les différentes formes de silice cristalline et de quantifier le nombre de particules fines et ultrafines de silice cristalline. Enfin, une évaluation des risques sanitaires n'est pas réalisable en raison du peu de données sur les niveaux d'exposition à la silice cristalline de la population générale incluant les populations riveraines des sites d'activités émettrices de silice cristalline.

3.6. Recommandations du CES

Les recommandations de l'expertise de l'Anses publiée en 2019 concernant la prévention en population générale incluant les riverains de sites d'activités émettrices de silice cristalline et la métrologie de la silice cristalline restent valables et ont été complétées au regard des conclusions de cette expertise.

Ainsi, pour mieux évaluer les risques sanitaires des riverains de sites d'activités émettrices de silice cristalline, il est recommandé :

- de déterminer la ou les fractions granulométriques les plus pertinentes en fonction des effets sanitaires de la silice cristalline ;
- de normaliser une méthode de mesure de la silice cristalline dans l'air ambiant, adaptée aux fractions granulométriques pertinentes ;
- d'établir une valeur toxicologique de référence pour l'inhalation de silice cristalline ;
- de caractériser et le cas échéant de surveiller les émissions de silice cristalline et les concentrations résultantes au niveau des riverains, dans le cadre de la réglementation relative aux Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), notamment dans des conditions défavorables en termes d'émission et de dispersion ;
- de rendre accessible et de centraliser les données issues de cette surveillance ;
- de documenter les concentrations environnementales en silice cristalline dans l'air extérieur, au travers d'études réalisées aussi bien en station de fond qu'à proximité de sites susceptibles de générer des aérosols contenant de la silice cristalline, tels que les axes routiers, chantiers BTP et activités agricoles. Selon les résultats, l'intérêt d'inclure la silice cristalline dans le cadre de dispositifs de surveillance existants pourra être évalué.

Pour l'amélioration des connaissances relatives aux concentrations dans l'air et à l'exposition de la population générale à la silice cristalline, il est recommandé :

- d'étudier la distribution granulométrique de la silice à différentes distances de l'émission en considérant les particules ultrafines ;
- en fonction des données d'exposition recueillies, de conduire une évaluation des risques sanitaires en population générale.

Bien que cette saisine porte sur l'exposition des riverains de sites d'activités émettrices de silice cristalline, le CES tient à rappeler, dans un objectif de protection de la population générale, les recommandations émises en 2019 suivantes :

- sensibiliser les particuliers utilisant des matériaux contenant de la silice cristalline ou réalisant des opérations de bricolage telles que découpe de carrelage ou de béton, ponçage de mortier, etc. aux risques liés à une exposition par inhalation à la silice cristalline. Cela peut supposer de développer de nouveaux moyens de communication et d'information sur les risques dans les points de vente et à destination des particuliers ;
- acquérir des données d'exposition en population générale *via* la réalisation de mesures dans le cadre des activités de bricolage par exemple.

4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DE L'AGENCE

En préambule, l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail tient à rappeler que son avis de 2019 a mis à jour les connaissances concernant les dangers, expositions et risques relatifs à la silice cristalline, et a notamment confirmé l'existence d'un risque significatif de cancer broncho-pulmonaire (CBP) indépendamment de la silicose. Elle rappelle également que la silice cristalline est classée comme cancérigène avéré pour l'Homme par le CIRC depuis 1997 et que, suite à la transposition de la 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, les travaux exposant à la poussière de silice cristalline alvéolaire issue de procédés de travail sont considérés comme cancérigènes au sens de l'article R. 4412-60 du code du travail.

L'Anses endosse les conclusions du CES et constate que les nouvelles données collectées et analysées dans le cadre de cette expertise, issues de la littérature scientifique et des études transmises, restent insuffisantes pour évaluer les risques sanitaires liés à une exposition à la silice cristalline pour les riverains de sites d'activités émettrices de silice cristalline.

Elle souligne que dans les évaluations de risques recensées et analysées, dont une étude française, le choix d'une VTR (valeur toxicologique de référence) et de la fraction granulométrique d'intérêt, ne fait pas l'objet de consensus. La valeur de l'OEHHA de 2005 ($3 \mu\text{g}/\text{m}^3$), la plus couramment utilisée, est critiquable : d'une part pour son application à des valeurs mesurées des fractions PM_{2,5} ou PM₁₀ alors qu'elle avait été établie pour une fraction PM₄, et d'autre part pour son établissement bien avant le confortement du caractère cancérigène de la silice cristalline.

Pour le choix de la fraction granulométrique d'intérêt, l'Anses constate dans les études analysées, un choix préférentiel pour une valeur de référence ou valeur guide calée sur la fraction PM4 ou la fraction alvéolaire.

La disponibilité d'une VTR ainsi que d'un référentiel de mesure sont indispensables pour évaluer les risques sanitaires pour la population riveraine des activités émettrices de silice, ou pour évaluer la nécessité de mettre en place une surveillance des émissions de silice.

Au vu de ces éléments, l'Anses endosse l'ensemble des recommandations du CES, et appuie prioritairement les recommandations suivantes :

- Etablir une VTR (valeur toxicologique de référence) par inhalation pour la silice cristalline. Lors de l'établissement de cette VTR, la question de la ou des fractions granulométriques d'intérêt sera à prendre en considération ;
- Normaliser une méthode de mesure dans l'air ambiant, adaptée à la ou aux fractions granulométriques pertinentes.

L'Anses rappelle également la nécessité pour évaluer les risques sanitaires de s'intéresser aux co-expositions et plus particulièrement à la co-exposition de la silice cristalline avec des particules non silicogènes. L'Agence mène actuellement une expertise visant à analyser la pertinence de la formule d'additivité utilisée dans le cadre du contrôle du risque chimique (article R4412-154 du Code du travail) applicable lors d'expositions simultanées à des poussières alvéolaires contenant de la silice cristalline et à des poussières alvéolaires non silicogènes.

Pr Benoît Vallet

MOTS-CLÉS

Silice cristalline, quartz, cristobalite, tridymite, exposition environnementale, exposition non professionnelle, exposition des riverains, exposition air ambiant.

Crystalline silica, quartz, cristobalite, tridymite, environmental exposure, non-occupational exposure, residential exposure, ambient exposure

CITATION SUGGÉRÉE

Anses. (2024). Mise à jour des données relatives aux expositions à la silice cristalline dans l'air extérieur chez les riverains de sites d'activités émettrices de silice cristalline. (saisine 2023-SA-0052). Maisons-Alfort : Anses, 18 p.

ANNEXE

Tableau 1 : Liste des valeurs sanitaires de référence et valeurs guides établies par des instances nationales identifiées dans le cadre de la consultation internationale (source : adapté de (TCEQ 2020b))

État	Organisme	Concentration en silice cristalline (pour les différentes formes quand précisé, en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Durée	Fraction mesurée
Californie	California Environmental Protection Agency's	3,0	Chronique	PM ₄
Idaho	Department of Environmental Quality	2,5 (cristobalite, tridymite) 5 (quartz, tripoli)	24 heures	Non précisée
Indiana	Indiana Department of Environmental Management	3,1 (valeur de qualité de l'air intérieur)	Chronique	PM ₄
Maryland	Maryland Department of the Environment	0,25	Chronique	PM ₄
Michigan	Department of Environment, Great Lakes, and Energy	3,0	Chronique	PM ₄
Minnesota	Pollution Control Agency	3,0	Chronique	PM ₄
New Hampshire	Department of Environmental Services	0,060	Chronique – cancérogène	PM ₄
New Jersey	Department of Environmental Protection	3,0	Chronique	PM ₄

État	Organisme	Concentration en silice cristalline (pour les différentes formes quand précisé, en µg/m ³)	Durée	Fraction mesurée
New York	Department of Environmental Conservation	2,0	Chronique	PM ₄
North Dakota	Department of Environmental Quality	0,5 (valeur guide de concentration)	8 heures	PM ₄
Oregon	Department of Environmental Quality	3 (provisoire)	Chronique	PM ₄
Texas	Texas Commission on Environmental Quality	0,27	Chronique – cancérogène	PM ₄
Texas	Texas Commission on Environmental Quality	24	Court terme (24h)	PM ₄
Texas	Texas Commission on Environmental Quality	47	Court terme (1h)	
Vermont	Department of Environmental Conservation	0,12	Chronique	Non précisée
Virginia	Department of Environmental Quality	3	Chronique – cancérogène	Alvéolaire
Washington	Department of Ecology	3	Chronique	Alvéolaire

Tableau 2 : Synthèse des résultats des publications scientifiques récentes documentant des données de concentration dans l'air extérieur en silice cristalline en environnement (non professionnel)

Référence	Pays	Activités à proximité	Type de filtre de prélèvement – échantillonneur - durée	Nombre d'échantillons	Fraction	Technique d'analyse de la silice cristalline	Formes de la silice cristalline	Concentration la plus faible observée ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	Concentration la plus élevée observée ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)
Publications scientifiques									
Dash, Tripathy et Pandey (2020)	Inde	Mine de charbon à ciel ouvert	Filtre en fibre de verre - RDS de Evirotech - modèle APM 460 - 24h	32	PM ₁₀	IRTF	Quartz	7,9	55,5
Singh et al. (2022)	Inde	Activités minières, broyage de pierres, construction de bâtiments, autres industries	Filtre papier Whatman - échantillonneurs haut débit - 24h	34	PM ₁₀	DRX	Non précisé	73,5	108,85
Shaaban et al. (2021)	Arabie-Saoudite	Sites de concassage et de broyage de roches	Filtre en nitrate de cellulose - échantillonneurs bas débit - 24h	21	PM ₁₀	Spectrophotométrie UV	Non précisé	0,8	14
Pierce et al. (2018)	Etats-Unis	Exploitations industrielles de sable siliceux	Filtre membrane de PVC - échantillonneur dichotomique - 24h	3	PM _{2,5} PM ₁₀	DRX	Non précisé	0,12 0,48	0,36 1,52
Richard et Brozell (2021) – revue de la littérature	Etats-Unis	Installations de production de sable	Non renseigné - préleveurs PM _{2,5} avec débit adapté - 24h	5 226	PM ₄	DRX	Quartz, cristobalite et tridymite (mais résultats non détaillés)	0,22	1,73
Littérature grise									
TCEQ (2023)	Etats-Unis	Sites de production de granulats	Non renseigné - préleveurs PM _{2,5}	non précisé	PM ₄	DRX	Non précisé	< 5	7

Référence	Pays	Activités à proximité	Type de filtre de prélèvement – échantillonneur - durée	Nombre d'échantillons	Fraction	Technique d'analyse de la silice cristalline	Formes de la silice cristalline	Concentration la plus faible observée ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	Concentration la plus élevée observée ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)
			avec débit adapté -24h						
RPS (2019)	Pays-Bas	Zone de route semi-goudronnée	Filtre en esters de cellulose mixtes – cyclone - 1 semaine	6	Fraction alvéolaire	IRTF	Quartz	< 0,01	0,05
PreventPartner 2021	Pays-Bas	Entretien voies ferrées (brassage de ballast)	Pas de prélèvement	Pas de prélèvement	Fraction alvéolaire	Modélisation (outil IHMOD_2_0.xlsxm)	Quartz	0,001	0,103
NANOCONSULT 2023	Pays-Bas	Stockage et de transbordement de produits vrac (charbon, minerais, sable, coke de pétrole, ect.)	Filtre membrane de PVC – cyclone – 8h	6	Fraction alvéolaire	IRTF	Non précisé	0,052	0,073
ATMO NA 2020	France	Terrains de tennis (poussière de terre battue)	Non renseigné (préleveurs Leckel et Microvol) - 1 semaine	8 dont 4 en air extérieur et 4 en air intérieur	PM _{2,5}	DRX	Quartz, cristobalite, tridymite	<0,03	0,26
EVADIES 2022	France	Carrières de granulats et de minéraux	Filtre membrane de PVC – préleveurs séquentiels -1 semaine et 24h	168	PM _{2,5} PM ₁₀	DRX	Quartz, cristobalite, tridymite (concentration mesurée dans quartz et cristobalite)	0,06 0,34	11,34 16,59

DRX : diffraction des rayons X ; PM : particulate matter (particules en suspension) ; PVC : polyvinyl chloride ; UV : ultra-violet ; IRTF : spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier.

Tableau 3 : Synthèse des études évaluant les risques sanitaires pour les riverains de sites d'activités émettrices de silice cristalline

Référence	Activités du site	Méthode d'évaluation	Valeurs de référence utilisée	Concentrations mesurées (min – max en $\mu\text{g.m}^{-3}$)	Résultats de l'évaluation de risques	Conclusion des auteurs sur l'évaluation de risques
Dash, Tripathy et Pandey 2020	Mine de charbon à ciel ouvert	Comparaison des concentrations mesurées à une valeur de référence	$6 \mu\text{g.m}^{-3}$ en PM_{10} (à partir valeur seuil proposée pour les PM_{10} par l'US-EPA en 1996 – long terme)	7,9 – 55,5 dans les PM_{10}	Toutes les concentrations sont supérieures à la valeur de référence Ratio $C_{\text{mesurée}} / \text{VR} = 1,3$ à 9,25	Risque très élevé
EVADIES, MIF et UNPG 2022a, 2022b	Carrières de granulats et de minéraux	Estimation du risque par un calcul d'un quotient de danger (QD)	$3 \mu\text{g.m}^{-3}$ en PM_4 (valeur de l'OEHHA – long terme)	0,06 – 11,34 dans les $\text{PM}_{2,5}$ 0,34 – 16,59 dans les PM_{10}	Tous les QD sont inférieurs à 1 Pour les PM_{10} : QD = 0,11 à 0,52 ; Pour les $\text{PM}_{2,5}$: QD = 0,02 à 0,07, Fraction granulométrique prélevée différente de la fraction considérée pour la VR	Absence de risque
NANOCONSULT 2023	Stockage et de transbordement de produits vrac (charbon, minerais, sable, coke de pétrole, ect.)	Comparaison des concentrations mesurées à une valeur de référence	$8 \mu\text{g.m}^{-3}$ (niveau de risque maximum autorisé en milieu professionnel aux Pays-Bas)	0,052 – 0,073 dans la fraction alvéolaire	Toutes les concentrations sont inférieures à la valeur de référence Ratio $C_{\text{mesurée}} / \text{VR} = 0,007$ à 0,009	Absence de risque
PreventPartner 2021	Entretien voies ferrées (brassage de ballast)	Comparaison des concentrations mesurées à une valeur de référence	$0,12 \mu\text{g.m}^{-3}$ en PM_{10} (valeur de l'Etat du Vermont – long terme)	0,001 – 0,103 dans la fraction alvéolaire	Toutes les concentrations sont inférieures à la valeur de référence Ratio $C_{\text{mesurée}} / \text{VR} = 0,008$ à 0,85 Fraction granulométrique prélevée différente de la fraction considérée pour la VR	Absence de risque

Référence	Activités du site	Méthode d'évaluation	Valeurs de référence utilisée	Concentrations mesurées (min – max en $\mu\text{g.m}^{-3}$)	Résultats de l'évaluation de risques	Conclusion des auteurs sur l'évaluation de risques
Richards et Brozell 2021	Installations de production de sable	Comparaison des concentrations mesurées à une valeur de référence	3 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en PM_4 (valeur de l'OEHHA – long terme)	0,22 – 1,73 dans les PM_4	Toutes les concentrations sont inférieures à la valeur de référence Ratio $C_{\text{mesurée}} / \text{VR} = 0,073$ à 0,57	Pas de conclusion formulée sur le risque
Shaaban et al. 2021	Sites de concassage et de broyage de roches	Comparaison des concentrations mesurées à une valeur de référence	100 $\mu\text{g.m}^{-3}$ fraction non précisée (VLEP en Arabie Saoudite)	0,8 – 14 dans les PM_{10}	Toutes les concentrations sont inférieures à la valeur de référence Ratio $C_{\text{mesurée}} / \text{VR} = 0,008$ à 0,14	Recommandation d'évaluation de risque sur une zone plus étendue et aussi dans d'autres matrices que l'air
TCEQ 2023	Sites de production de granulats	Comparaison des concentrations mesurées à une valeur de référence	24 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en PM_4 (valeur de la TCEQ – court terme 24h)	<5 – 7 dans les PM_4	Toutes les concentrations sont inférieures à la valeur de référence Ratio $C_{\text{mesurée}} / \text{VR} < 0,29$	Absence de risque
$C_{\text{mesurée}}$ = concentration en silice mesurée (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) VR = valeur de référence (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)						

**Mise à jour des données relatives aux expositions à
la silice cristalline dans l'air extérieur chez les
riverains de sites d'activités émettrices de silice
cristalline**

**Saisine « n° 2023-SA-0052 »
Saisine liée « 2015-SA-0236 »**

**RAPPORT
d'expertise collective**

**Comité d'experts spécialisé « Evaluation des risques liés aux
milieux aériens »**

avril 2024

Citation suggérée

Anses. (2024). Mise à jour des données relatives aux expositions à la silice cristalline dans l'air extérieur chez les riverains de sites d'activités émettrices de silice cristalline (saisine 2023-SA-0052). Maisons-Alfort : Anses, 78 p.

Mots clés

Silice cristalline, quartz, cristobalite, tridymite, exposition environnementale, exposition non professionnelle, exposition des riverains, exposition air ambiant.

Crystalline silica, quartz, cristobalite, tridymite, environmental exposure, non-occupational exposure, residential exposure, ambient exposure

Présentation des intervenants

PRÉAMBULE : Les experts membres de comités d'experts spécialisés, de groupes de travail ou désignés rapporteurs sont tous nommés à titre personnel, intuitu personae, et ne représentent pas leur organisme d'appartenance.

RAPPORTEURS

M. Patrick BROCHARD – Professeur émérite (Université de Bordeaux) – Spécialités : pneumologie, pathologies professionnelles et environnementales, impact sanitaire des particules inhalées (amiante, silice...).

M. Marc DURIF – Directeur exécutif du Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air - Spécialités : métrologie et méthode d'analyse des polluants de l'air, émissions industrielles et anthropiques, caractérisation des expositions, construction de stratégies de surveillances dans l'air dans différents contextes.

M. Philippe GLORENNEC - Enseignant chercheur (Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique, Université de Rennes - Institut de recherche sur la santé, l'environnement et le travail, UMR Inserm 1085) - Spécialité : évaluation des expositions et des risques sanitaires d'origine chimique.

COMITÉ D'EXPERTS SPÉCIALISÉ

Les travaux, objets du présent rapport ont été suivis et adoptés par le CES suivant :

CES « Evaluation des risques des milieux aériens » (2020-2024)

Présidente

Mme Rachel NADIF – Responsable d'équipe, chargée de recherche, (Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale, CESP U1018) – Spécialités : épidémiologie, santé respiratoire.

Vice-président

M. Hervé LABORDE-CASTEROT - Praticien hospitalier (Centre antipoison de Paris, AP-HP Nord Université Paris Cité) – Spécialités : pathologies professionnelles, toxicologie clinique, épidémiologie, allergologie.

Membres

Mme Sophie ACHARD – Maître de conférences (Faculté de Santé - Pharmacie - Université Paris Cité) – Spécialité : toxicologie environnementale.

M. Fabrice ALLIOT – Ingénieur d'études (Ecole Pratique des Hautes Etudes) – Spécialités : métrologie et méthode d'analyse des polluants de l'air, perturbateurs endocriniens.

M. Michel ANDRÉ – Directeur de recherche (Université Gustave Eiffel) – Spécialités : transports et pollution de l'air, métrologie et modélisation des émissions des véhicules et du trafic, méthodologies d'évaluation.

Mme Nathalie BONVALLOT – Enseignante chercheuse (Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique, Université de Rennes – Institut de recherche sur la santé, l'environnement et le

travail, UMR Inserm 1085) – Spécialités : toxicologie, évaluation des risques sanitaires, identification des mélanges et modèles de risques associés, perturbateurs endocriniens.

M. Patrick BROCHARD – Professeur émérite (Université de Bordeaux) – Spécialités : pneumologie, pathologies professionnelles et environnementales, impact sanitaire des particules inhalées (amiante, silice...).

Mme Fleur DELVA – Praticien hospitalier, médecin de santé publique (Centre Hospitalier Universitaire de Bordeaux) – Spécialités : médecine, prévention, reproduction, épidémiologie.

M. Jean-Dominique DEWITTE - Professeur Émérite des universités (Université de Bretagne Occidentale - Brest) – Spécialités : pathologies professionnelles, pneumologie, allergologie, tabacologie.

M. Marc DURIF – Directeur exécutif du Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air - Spécialités : métrologie et méthode d'analyse des polluants de l'air, émissions industrielles et anthropiques, caractérisation des expositions, construction de stratégies de surveillances dans l'air dans différents contextes.

Mme Emilie FREALLE – Praticien hospitalier (Centre Hospitalier Régional Universitaire de Lille, Université de Lille) – Spécialités : écologie microbienne de l'air, microbiologie analytique, évaluation et prévention du risque microbiologique, surveillance de l'environnement intérieur.

François GAIE-LEVREL – Ingénieur chercheur (Laboratoire national de métrologie et d'essais) – Spécialités : métrologie, pollution atmosphérique, aérosols, nanoparticules.

M. Philippe GLORENNEC - Enseignant chercheur (Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique, Université de Rennes - Institut de recherche sur la santé, l'environnement et le travail, UMR Inserm 1085) - Spécialité : évaluation des expositions et des risques sanitaires d'origine chimique.

Mme Marianne GUILLEMOT – Responsable d'études (Institut National de Recherche et de Sécurité) – Spécialités : métrologie, surveillance atmosphérique et des environnements professionnels.

Mme Marion HULIN - Chargée de projet et d'expertise scientifique (Santé Publique France) – Spécialités : épidémiologie, qualité de l'air intérieur, santé environnement, évaluation des expositions.

Mme Bénédicte JACQUEMIN – Chargée de recherche (Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale) – Spécialités : épidémiologie environnementale, pollution atmosphérique.

M. Olivier JOUBERT – Maître de conférences (Université de Lorraine) – Spécialités : toxicologie, sécurité sanitaire, particules.

Juliette LARBRE - Directrice du Laboratoire Polluants Chimiques (Service Parisien de Santé Environnementale) – Spécialités : qualité de l'air intérieur et extérieur, métrologie, santé environnement.

Barbara LE BOT – Professeur des Universités (Ecole des hautes études en santé publique, Université de Rennes, Institut de recherche sur la santé, l'environnement et le travail, UMR Inserm 1085) – Spécialités : évaluation des expositions, santé publique, métrologie et méthode d'analyse des polluants de l'air et poussières.

Johanna LEPEULE – Chargée de recherche (Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale) – Spécialités : pollution de l'air, épidémiologie environnementale, santé périnatale, grossesse, épigénétique, modélisation des expositions.

Mme Danièle LUCE – Directrice de recherche (Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale) – Spécialités : épidémiologie, santé travail, expositions professionnelle et environnementale.

Mme Corinne MANDIN – Responsable du laboratoire d'épidémiologie (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire) – Spécialités : évaluation des expositions aux substances chimiques et agents physiques et des risques sanitaires associés

Mme Anne OPPLIGER – Responsable de recherche (Unisanté : Centre universitaire de médecine générale et santé publique de Lausanne) – Spécialités : santé travail, risques biologiques, bioaérosols, agents zoonotiques.

M. Pierre PERNOT – Directeur Opérationnel (Airparif) – Spécialités : métrologie, surveillance et réglementation de la qualité de l'air.

M. Nhan PHAM-THI – Enseignant chercheur, médecin (Institut de Recherche Biomédicale des Armées, Ecole Polytechnique) – Spécialités : allergologie, pneumologie.

PARTICIPATION ANSES

Coordination scientifique

M. Jérémie ACHILLE – Coordinateur d'expertises scientifiques – Anses

Mme Miora ANDRIANJAFIMASY – Coordinatrice d'expertise scientifique – Anses

Contribution scientifique

M. Jérémie ACHILLE – Coordinateur d'expertises scientifiques – Anses

Mme Miora ANDRIANJAFIMASY – Coordinatrice d'expertise scientifique – Anses

Mme Amandine PAILLAT – Ajointe à la cheffe de l'unité UERA – Anses

Secrétariat administratif

Mme Sophia SADDOKI – Anses

AUDITION DE PERSONNALITÉS EXTÉRIEURES

Minéraux Industriels France (audition le 12/01/2024)

Mme Sandra RIMEY – Secrétaire générale MIF

UNPG (audition le 12/01/2024)

M. Didier COLLONGE – UNPG

M. Olivier MAILLOUX – Eurovia-Vinci et UNPG

M. Olivier VIANO – UNPG

EVADIES – bureau d'expertise (audition le 12/01/2024)

M. Rémi MERLIN – Gérant de la société EVADIES

INRS (audition le 05/02/2024)

Mme Céline EYPERT-BLAISON – responsable d'études

M. Thierry LECAQUE – technicien de laboratoire spécialisé dans l'analyse DRX

M. Davy ROUSSET – responsable du laboratoire d'Analyse Inorganique et de Caractérisation des Aérosols (LAICA)

SOMMAIRE

Présentation des intervenants	3
Sigles et abréviations.....	9
Liste des tableaux	10
Liste des figures.....	11
1 Contexte, objet et modalités de réalisation de l'expertise	12
1.1 Contexte	12
1.2 Objet de la saisine	12
1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation.....	13
1.4 Prévention des risques de conflits d'intérêts	13
2 Préambule : Rappels de l'expertise Anses de 2019 sur la silice cristalline dans l'air extérieur.....	14
2.1 Définition de la silice cristalline	14
2.2 Méthodes de prélèvement et d'analyse de la silice cristalline dans l'air extérieur....	14
2.3 Les valeurs guides et valeurs sanitaires de référence en population générale pour la silice cristalline	16
2.4 Données d'exposition à la silice cristalline dans l'air extérieur.....	17
2.5 Conclusions et recommandations concernant la silice cristalline dans l'environnement et les enjeux autour de la métrologie et sa surveillance.....	19
3 Méthode d'expertise	21
3.1 Revue de la littérature.....	21
3.2 Recherche de la littérature grise	22
3.2.1 Consultation internationale	22
3.2.2 Consultation nationale	22
3.3 Auditions.....	22
4 Résultats de l'expertise : données d'exposition à la silice cristalline dans l'air extérieur à proximité des sites d'activités émettrices de silice cristalline	24
4.1 Revue de la littérature.....	24
4.2 Données issues de la littérature grise	32
4.2.1 Synthèse des informations transmises lors de la consultation internationale	32
4.2.2 Synthèse des informations transmises lors de la consultation nationale	41
4.2.3 Etudes menées par les fédérations professionnelles MIF et UNPG sur l'évaluation de la silice cristalline alvéolaire autour de carrières	42
5 Discussion et conclusion.....	50
6 Recommandations.....	52
7 Bibliographie.....	53
Annexe 1 : Lettre de saisine	58

Annexe 2 : Stratégie de recherche bibliographique.....	60
Annexe 3 : Grille de lecture pour analyser les publications sélectionnées à l'issue de la phase d'éligibilité	62
Annexe 4 : Consultation internationale et nationale.....	64
Annexe 5 : Synthèse des données fournies par les organismes ayant répondu à la consultation internationale.....	70
Annexe 6 : Eléments complémentaires de discussion concernant l'étude menée par les fédérations professionnelles des industries de carrière sur l'évaluation de la silice cristalline alvéolaire autour de carrières	78

Sigles et abréviations

ACGIH	: American Conference of Governmental Industrial Hygienists
AFNOR	: Association française de normalisation
AMCVs	: Air monitoring comparison values
APOs	: Aggregate production operations
BTP	Bâtiments et travaux publics
CARB	: California Air resources board
CEN	: Comité européen de normalisation
CES	: Comité d'experts spécialisé
DGPR	: Direction générale de la prévention des risques
DGS	: Direction générale de la santé.
DRX	: Diffraction des Rayons X
GEH	: Groupes d'exposition homogènes
ICPE	Installations Classées pour la Protection de l'Environnement
IR	: Infra-rouge
IRTF	: Spectrophotométrie infra-rouge à transformée de Fourier
LD	: Limite de détection
LQ	: Limite de quantification
MDH	: Minnesota department of health
MSHA	: Mine Safety and Health Administration
NAAQS	: National Ambient Air Quality Standards
NIEHS	: National Institute of Environmental Health Sciences
NIOSH	: National Institute for Occupational Safety and Health
OEHHA	: California Office of Environmental Health Hazard Assessment
OPPBTP	: Organisme Professionnel Prévention Bâtiment Travaux Publics
PM	: Particulate matter (matière particulaire)
PM _x	: Particules de diamètre aérodynamique médian inférieur ou égal à x µm
PUF	: Particules ultrafines
RIVM	: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
TCEQ	: Texas Commission on Environmental Quality
UNICEM	: Union nationale des industries de carrières et des matériaux de construction
UNPG	: Union nationale des producteurs de granulats
US-EPA	: U.S. Environmental Protection Agency
VTR	: Valeur toxicologique de référence

Liste des tableaux

Tableau 1 : Elaboration d'une valeur environnementale de référence pour des expositions par inhalation à la silice cristalline par l'OEHHA (Anses 2019)	16
Tableau 2 : Valeurs limites d'exposition à long terme pour la population générale en fonction du risque de silicose aux États-Unis (Anses 2019)	17
Tableau 3 : Synthèse des résultats des études sur des expositions non professionnelles ou environnementales à la silice cristalline (Anses 2019)	18
Tableau 4 : Synthèse des résultats des publications scientifiques récentes documentant des données de concentration dans l'air extérieur en silice cristalline en environnement (non professionnel).....	31
Tableau 5 : Synthèse des informations transmises au cours de la consultation internationale	39
Tableau 6 : Liste des valeurs sanitaires de référence et valeurs guides établies par des instances nationales identifiées dans le cadre de la consultation internationale (source : adapté de (TCEQ 2020b))	40
Tableau 7 : Caractéristiques des trois sites producteurs de granulats sélectionnés.....	43
Tableau 8 : Synthèse de la stratégie de mesure de la silice cristalline dans les 5 sites de carrières	45
Tableau 9 : Résultats de mesures de la silice cristalline en moyenne sur les deux campagnes de mesures dans les PM ₁₀ et PM _{2,5} sur les 5 sites de carrières	46
Tableau 10 : Valeurs limites environnementales existantes dans différents états aux US (source : repris et traduit depuis TCEQ (2020b))	74

Liste des figures

Figure 1 : Diagramme de flux de l'identification et la sélection des publications sur l'exposition non professionnelle à la silice cristalline dans l'air ambiant	24
Figure 2 : Stratégie spatiale de mesures (source : (EVADIES, MIF et UNPG 2022a))	44

1 Contexte, objet et modalités de réalisation de l'expertise

1.1 Contexte

L'Anses a publié en 2019 un rapport d'expertise sur les « dangers, les expositions et les risques sanitaires relatifs à la silice cristalline » (Anses 2019). Concernant les risques pour la population générale, l'expertise conclut que les données recueillies sur les niveaux d'exposition à la silice cristalline de la population générale ne permettaient pas de réaliser une évaluation des risques sanitaires. De plus, l'expertise souligne qu'il n'existe pas de réglementation environnementale spécifique pour la silice cristalline en France. Dans le cadre de la réglementation relative aux Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE), les installations d'extraction et de premier traitement de minéraux naturels, dans le cadre du régime d'autorisation, sont soumises à des dispositions particulières visant à contrôler l'émission de poussières susceptibles d'incommoder le voisinage et de nuire à la santé et à la sécurité publiques, mais il n'est pas fait mention de silice cristalline. Des mesures de concentrations en silice cristalline dans l'air ambiant peuvent être réalisées lors d'études d'impact, mais les données ne sont pas centralisées.

Ainsi, dans son avis, l'Anses a recommandé pour la prévention des risques, y compris pour la population générale, de documenter les concentrations environnementales en silice cristalline dans l'air extérieur, au travers d'études réalisées aussi bien en station de fond qu'à proximité de sites susceptibles de générer des aérosols contenant de la silice cristalline, tels que les axes routiers et chantiers BTP. Puis, selon les résultats, d'évaluer l'intérêt d'inclure la silice cristalline dans le cadre de la surveillance de la qualité de l'air extérieur.

Plus spécifiquement sur les carrières, l'Anses a recommandé, pour la protection de la population générale, de surveiller dans le cadre de la réglementation relative aux ICPE les émissions de silice cristalline, notamment à l'attention des riverains de ce type d'installation. L'Agence a également recommandé que les données issues de cette surveillance soient centralisées et accessibles.

Suite à cette recommandation, la Direction générale de la prévention des risques (DGPR) a sollicité les fédérations professionnelles des industries de carrières (Union nationale des industries de carrières et des matériaux de construction (UNICEM) et fédération Minéraux Industriels-France (MIF)) afin d'évaluer les suites possibles à donner aux recommandations de l'Agence. Ces dernières ont conduit une étude visant à mesurer l'exposition à la silice cristalline autour d'une sélection de carrières réalisée par un bureau d'expertise. Cette étude fait l'objet d'un rapport en trois parties qui a été transmis à l'Anses (EVADIES, MIF et UNPG 2022a, 2022b, 2022c).

1.2 Objet de la saisine

Au regard des résultats de l'étude menée par les fédérations professionnelles des industries de carrières (EVADIES, MIF et UNPG 2022a, 2022b, 2022c), il est demandé à l'Anses si les conclusions de l'évaluation des risques réalisée peuvent être confirmées ou, dans le cas contraire, de réévaluer les risques sanitaires pour les riverains de sites d'extraction.

En accord avec la DGPR, l'Anses a redéfini l'objectif et le périmètre de la saisine.

L'Agence a réalisé une mise à jour et une analyse des données d'exposition environnementale à la silice cristalline dans l'air extérieur, incluant celles issues de l'étude des fédérations professionnelles. Cette recherche de nouvelles données a été élargie aux populations à proximité des sites d'activités émettrices de silice cristalline autres que les carrières (ex : chantiers de bâtiments et travaux publics (BTP), axes routiers), dans l'objectif de vérifier si de nouvelles données permettent de répondre aux recommandations émises en 2019 et d'estimer si ces données sont pertinentes et suffisantes pour évaluer les risques sanitaires pour les riverains de ces sites d'activités.

1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation

L'Anses a confié cette expertise au comité d'experts spécialisé « Évaluation des risques liés aux milieux aériens ». Trois experts rapporteurs ont été mandatés pour participer à la recherche et à l'analyse critique des données recueillies ainsi qu'à la relecture du rapport d'expertise. Deux agents de l'Anses, en charge de la coordination scientifique de cette expertise, ont également contribué à ces travaux.

Ces travaux d'expertise ont été soumis régulièrement au CES tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques. Le rapport produit tient compte des observations et éléments complémentaires transmis par les membres du CES. Ces travaux sont ainsi issus d'un collectif d'experts aux compétences complémentaires.

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – prescriptions générales de compétence pour une expertise (mai 2003) ».

1.4 Prévention des risques de conflits d'intérêts

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts avant leur nomination et tout au long des travaux, afin d'éviter les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre de l'expertise.

Les déclarations d'intérêts des experts sont publiées sur le site internet <https://dpi.sante.gouv.fr/>.

2 Préambule : Rappels de l'expertise Anses de 2019 sur la silice cristalline dans l'air extérieur

Les paragraphes ci-dessous reprennent des éléments issus du rapport d'expertise Anses (2019) sur la définition de la silice cristalline, les méthodes de prélèvement et d'analyse de la silice cristalline (en milieu professionnel), les données de concentration en silice cristalline dans des études réalisées en milieu environnemental (non professionnel), ainsi que les conclusions et recommandations concernant la prévention de la population générale et l'amélioration des connaissances.

2.1 Définition de la silice cristalline

La silice cristalline (ou dioxyde de silicium, SiO_2) est un minéral naturellement présent dans la croûte terrestre. Parmi les trois polymorphes les plus fréquemment rencontrés : le quartz est le plus courant puis la cristobalite et la tridymite. Le quartz est présent dans la plupart des types de roches, de l'état de traces jusqu'à des teneurs supérieures à 90 %, comme dans les sables par exemple. La cristobalite est quant à elle présente naturellement dans les roches volcaniques ou les bentonites. La tridymite est plus rare que les deux autres formes. La silice cristalline est présente dans la plupart des matériaux naturels d'origine minérale à des teneurs supérieures à 0,1 %. De toutes les substances minérales, la silice cristalline est celle qui est la plus fréquente dans l'ensemble de la croûte terrestre ; la silice cristalline est également un composant commun à toutes les planètes telluriques.

2.2 Méthodes de prélèvement et d'analyse de la silice cristalline dans l'air extérieur

En milieu professionnel :

Dans le domaine professionnel, la concentration en silice cristalline dans l'air est déterminée par un prélèvement de la fraction alvéolaire de l'aérosol sur un support de collecte suivi d'une analyse de la silice cristalline.

Cette fraction alvéolaire (en anglais « respirable fraction ») est définie par les normes EN 481 et ISO7708 et correspond à la fraction massique des particules inhalées qui pénètrent dans les voies aériennes non ciliées¹. Afin de prélever spécifiquement cette fraction granulométrique, une convention alvéolaire a été établie pour définir l'efficacité d'échantillonnage en fonction du diamètre aérodynamique des particules que doit respecter le dispositif de prélèvement. La convention alvéolaire est représentée par une loi de distribution

¹ A noter que deux autres conventions sont définies pour prélever deux autres fractions granulométriques de particules en suspension dans l'air en milieu de travail : la convention inhalable visant à échantillonner la fraction des particules qui est inhalée (fraction inhalable), et la convention thoracique visant à échantillonner la fraction des particules inhalées qui pénètre au-delà du larynx (fraction thoracique).

log-normale cumulée avec une médiane à 4,25 μm et un écart type géométrique de 1,5 (AFNOR, 1993², AFNOR. 1996³).

L'analyse gravimétrique du support de prélèvement permet de déterminer la quantité totale de poussières alvéolaires. La teneur en silice cristalline dans ces poussières est obtenue par analyse (directe ou indirecte) du support par diffraction des rayons X (DRX) ou par spectrophotométrie infra-rouge à transformée de Fourier (IRTF).

Il existe de nombreux protocoles décrivant les méthodes de prélèvement et d'analyse. Les limites de quantification, pour des prélèvements d'une durée de 8h, s'échelonnent entre 0,012 et 0,17 mg/m^3 de silice cristalline selon le dispositif de prélèvement et la technique analytique.

Les échantillonneurs peuvent fonctionner à haut ou bas débits et il en existe différents types pour prélever la fraction alvéolaire : Cyclone à débit faible ou élevé (ex : cyclone Dorr-Oliver, GK2.69) ; Dispositif à coupelle rotative (ex : CIP-10R) ; Impacteur (ex : PPI). Pour les supports de collecte, ce sont généralement des mousses ou des membranes, par exemple en PVC, en esters de cellulose ou en nitrate de cellulose. A titre d'exemple en France, les normes NF X 43-295⁴ et NF X 43-296⁵ sont d'application obligatoire pour le prélèvement et l'analyse de la silice cristalline dans l'air des lieux de travail en vue de contrôler les expositions professionnelles.

En milieu environnemental :

Dans le domaine environnemental, il n'existe pas de méthode de mesure normalisée ou standardisée de la silice cristalline. Les méthodes de mesures des aérosols dans l'air ambiant reposent sur des fractions granulométriques différentes de celles définies en milieu professionnel. Les fractions faisant l'objet de réglementation sont les PM_{10} et $\text{PM}_{2,5}$, qui correspondent aux particules en suspension dans l'air, prélevées avec une efficacité de coupure de 50 % pour un diamètre aérodynamique respectivement de 10 et 2,5 μm . D'autres fractions granulométriques sont également utilisées mais ne font pas l'objet de convention spécifique pour leur échantillonnage ; il s'agit des PM_4 , des particules submicrométriques ou des particules ultrafines (PUF).

La fraction PM_4 , par analogie avec la définition donnée pour les PM_{10} , correspond aux particules en suspension dans l'air, prélevées avec une efficacité de coupure de 50 % pour un diamètre aérodynamique de 4 μm . Elle se rapproche donc de la fraction alvéolaire définie en hygiène industrielle de part ce diamètre de coupure. Toutefois, le diamètre de coupure étant le seul paramètre pris en compte dans la définition des PM_4 , et puisqu'aucune courbe d'efficacité d'échantillonnage n'est définie pour les PM_4 , contrairement à la convention alvéolaire, la PM_4 ne correspond pas strictement à la fraction alvéolaire (Anses 2023).

La silice cristalline est parfois analysée dans la fraction PM_4 ou bien également dans la fraction $\text{PM}_{2,5}$ ou PM_{10} . Il n'existe pas non plus de méthodes de mesure normalisée de silice cristalline dans les particules submicrométriques ou les PUF.

² AFNOR. 1993. NF EN 481 (Novembre 1993) - Atmosphères des lieux de travail - Définition des fractions de taille pour le mesurage des particules en suspension dans l'air. AFNOR (indice de classement X43-276).

³ AFNOR. 1996. NF ISO 7708 (Mai 1996) - Qualité de l'air - Définitions des fractions de taille des particules pour l'échantillonnage lié aux problèmes de santé. AFNOR (indice de classement X43-100).

⁴ NF X43-295 (Juin 1995) : Air des lieux de travail - Détermination par rayons X de la concentration de dépôt alvéolaire de silice cristalline - Échantillonnage par dispositif à coupelle rotative.

⁵ NF X43-296 (Juin 1995) : Air des lieux de travail - Détermination par rayons X de la fraction conventionnelle alvéolaire de la silice cristalline - Échantillonnage sur membrane filtrante.

2.3 Les valeurs guides et valeurs sanitaires de référence en population générale pour la silice cristalline

Quelques valeurs guides ou sanitaires de référence en population générale sont rapportées dans l'expertise de 2019 dont la valeur dérivée par l'OEHHA (*California Office of Environmental Health Hazard Assessment*) en 2005. Il s'agit d'une « *Inhalation Reference Exposure Level* » (REL) de 3 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ soit 0,003 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (fraction alvéolaire) en considérant comme effet critique la silicose chez les mineurs. Cette REL est applicable à l'exposition à la fraction alvéolaire des particules de silice cristalline telle que définie par les hygiénistes du travail.

L'OEHHA a dérivé sa valeur sanitaire en utilisant comme étude clé, l'étude de Hnizdo et Sluis-Cremer (1993) chez 2 235 mineurs d'or blancs sud-africains. Cette étude est appuyée par quatre autres études (Chen *et al.* 2001; Churchyard *et al.* 2004; Hughes *et al.* 1998; Steenland et Brown 1995) réalisées chez des adultes, majoritairement de sexe masculin, présumés en bonne santé (*a minima* initialement) dès lors qu'ils sont en capacité d'exercer une activité professionnelle. Le Tableau 1 présente les éléments principaux issus de ces études qui ont conduit à l'élaboration de la valeur de référence.

Tableau 1 : Elaboration d'une valeur environnementale de référence pour des expositions par inhalation à la silice cristalline par l'OEHHA (Anses 2019)

Référence	<i>Hnizdo et Sluis-Cremer (1993)</i>	<i>Steenland et Brown (1995)</i>	<i>Hughes et al. (1998)</i>	<i>Chen et al. (2001)</i>	<i>Churchyard et al. (2004)</i>
Type d'étude	Etude clé	Etude de soutien	Etude de soutien	Etude de soutien	Etude de soutien
Population étudiée	2 235 mineurs d'or blancs sud-africains	3 330 mineurs d'or américains	1 809 travailleurs de la terre de diatomée	3 010 mineurs d'étain chinois	510-520 mineurs d'or noirs sud-africains
Exposition	Inhalation en milieu de travail				
Effets critiques	Silicose (313 mineurs) (14 %)	Silicose (170 mineurs) (5,1%)	Silicose (81 travailleurs) (4,5%)	Silicose (1 015 travailleurs) (33,7%)	Silicose (93 cas)
LOAEL (mg.m ⁻³ -années)	[P] 3 [SC] 0,6	[SC] 0-0,2	[SC] >1 ; ≤ 3	[PTC] 10-19,99	[SC] 0-0,80
NOAEL (mg.m ⁻³ -années)	[P] 2	Indéterminé	[SC] ≤1	[PTC] ≤10 [SC] ≤ 0,36	Indéterminé
BMCL ₀₁ ou BMCL ₀₅ (mg.m ⁻³ -années)	BMCL₀₁ [P] 2,12 [SC] 0,636	BMCL₀₁ [SC] 0,34	/	BMCL₀₁ [SC] 0,132	BMCL₀₅ [SC] 0,673
Fréquence d'exposition	8h/j ; 5j/sem	8h/j ; 5j/sem	8h/j ; 5j/sem	8h/j ; 5j/sem	270 journées de travail /an
Durée d'exposition	24 ans en moyenne [10-39 ans]	9 ans en moyenne [3-36 ans]	11,5 ans en moyenne [1-45 ans]	2,2 ans pour le groupe NOAEL	21,8 ans en moyenne [6,3-34,5 ans]
Concentration moyenne d'exposition (μg.m ⁻³ -années)	[SC] 235	[SC] 112	[SC] ≤ 330	[SC] ≤ 40	[SC] ≤ 249

Référence	<i>Hnizdo et Sluis-Cremer (1993)</i>	<i>Steenland et Brown (1995)</i>	<i>Hughes et al. (1998)</i>	<i>Chen et al. (2001)</i>	<i>Churchyard et al. (2004)</i>
(BMCL ₀₁ ou NOAEL x10/20 x 5/7 x 48/52)					
Concentration équivalente humaine (HEC) ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	[SC] 9,8 (235 / 24 ans)	[SC] 12,4 (112 / 9 ans)	[SC] 29 (330 / 11,5 ans)	[SC] 18 (40 / 2,2 ans)	[SC] 11,4 (249 / 21,8 ans)
Facteur d'incertitude global (UF)	UF = 3 (UFL = \emptyset ; UF _S = 1 ; UF _A = 1 ; UF _H = 3)	UF = 3 (UFL = \emptyset ; UF _S = 1 ; UF _A = 1 ; UF _H = 3)	UF = 10 (UFL = 3 ; UF _S = 1 ; UF _A = 1 ; UF _H = 3)	UF = 3 (UFL = \emptyset ; UF _S = 1 ; UF _A = 1 ; UF _H = 3)	UF = 3 (UFL = \emptyset ; UF _S = 1 ; UF _A = 1 ; UF _H = 3)
Valeur de référence par inhalation pour la SC alvéolaire (PM₄) ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	3 (considérant que P contient 30% de SC)	4	3	6 ³	4

P : Poussière ; SC : Silice cristalline ; PTC : Poussière totale mesurée dans l'étude de Chen et al. (2001) ; LOAEL : Dose/concentration minimale entraînant un effet néfaste observé ; NOAEL : Dose/Concentration maximale n'entraînant pas d'effet néfaste observé ; BMCL : estimation de la limite inférieure de la concentration à laquelle 1 % de la population développe une silicose UFL : Extrapolation à partir d'un LOAEL ; UF_S : extrapolation à partir d'une exposition subchronique ; UF_A : variabilité inter-espèce ; UF_H : variabilité intra-espèce.

D'autres valeurs limites environnementales pour la silice cristalline, établies dans différents Etats américains sont également rapportées, sans plus d'informations quant à leur établissement, et présentées dans le Tableau 2 ci-dessous.

Tableau 2 : Valeurs limites d'exposition à long terme pour la population générale en fonction du risque de silicose aux États-Unis (Anses 2019)

État	Californie	Minnesota	New Jersey	Texas	Vermont*	New York*
Valeur limite ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	3	3	3	2	0,12	0,06
Type de valeur limite	chronic reference exposure level	chronic health-based value	long-term reference concentration	chronic reference value	hazardous ambient air standard (annual)	annual guideline concentration
Mesure	PM ₄	PM ₄	PM ₁₀	PM ₄	PM ₁₀	PM ₁₀

* Limites d'exposition de la population générale calculées par les organismes d'État à partir des valeurs d'exposition professionnelle établies par l'American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH).

2.4 Données d'exposition à la silice cristalline dans l'air extérieur

Les études s'intéressent principalement à l'influence de certaines activités (mines et carrières, chantiers de démolition et de travaux publics) sur le bruit de fond en silice cristalline à proximité de ces activités. On peut distinguer les études mesurant la silice cristalline en périphérie de ces sites industriels et celles qui mesurent la concentration en silice cristalline en zone résidentielle, avec la proximité ou non d'une activité susceptible de générer des émissions de silice cristalline.

Les résultats de ces études sont synthétisés dans le Tableau 3 ci-dessous.

Tableau 3 : Synthèse des résultats des études sur des expositions non professionnelles ou environnementales à la silice cristalline (Anses 2019)

Référence	Localisation	Fraction	Gamme de concentrations	Teneur en quartz (%)
Etudes sur la silice cristalline en zone urbaine				
Davis <i>et al.</i> (1984)	USA, villes	Fraction grossière (2,5 et 15 µm) Fraction fine (< 2,5µm)	0,9 – 8 µg/m ³ 0 – 1,9 µg/m ³	1 % – 9 % 0 – 2,6 %
Puledda, Paoletti et Ferdinandi (1999)	Italie, proche zone de trafic	PM ₁₀	0,44 – 2,8 µg/m ³	0,61 % – 9,03 %
De Berardis <i>et al.</i> (2007)	Italie, proche zone de trafic	PM ₁₀	0,25 – 2,87 µg/m ³	2,35 % – 6,25 %
MPCA (2015c)	USA, proche zone de trafic	PM ₄	< 0,3 µg/m ³	NR
Stacey, Thorpe et Roberts (2011) ; Stacey <i>et al.</i> (2018)	Royaume-Uni, villes et extra-urbain	PM ₄	< 0,3 µg/m ³ (villes) 0,02 µg/m ³ (extra-urbain, concentration médiane)	NR
Bhagia (2009)	Inde, proche site de production d'ardoise	PM ₁₀	41 – 57 µg/m ³ (proche site) 3,5 µg/m ³ (réf)	15 % – 19 % 2,9 %
Bhagia (2012)	Inde, proche site de production d'agate	PM ₁₀	15,3 µg/m ³ (proche site) 3,0 µg/m ³ (réf)	5,6 % 1,9 %
AQMD (2008)	USA, école proche carrière	PM ₄	0,5 µg/m ³ (moyenne sur 3 ans)	NR
Peters <i>et al.</i> (2017)	Habitats proches carrière de sable	Fraction alvéolaire	< 0,4 µg/m ³ 15 – 37 µg/m ³ (vitesses de vent élevées)	NR
Andraos, Utembe et Gulumian (2018)	Afrique du sud, proche terrils miniers	PM ₁₀ (prélèvement en ambiance) PM ₄ (prélèvement individuel)	Entre LD et 19,4 µg/m ³ (en ambiance) 12 – 28 µg/m ³ (individuel) 78,6 % des prélèvements < LD	10,2 % – 32,9 % (pour 34 % des échantillons) 38,5 % – 73 % (pour 3,4 % des échantillons)
Etudes sur la silice cristalline en périphérie de zones d'activités				
Goldsmith (1991)	USA, proche carrière	PM ₁₀	1,1 – 1,33 µg/m ³	6 % – 7 %
Shiraki et Holmén (2002)	Proche usine d'extraction de sable et graviers	PM ₁₀	4,6 µg/m ³ (concentration moyenne en amont) 60 à 9 µg/m ³ (concentration moyenne en s'éloignant du site)	13,7 % 27,3 % à 14,4 %
J.R. Richards <i>et al.</i> (2009)	USA, site de production de sable et graviers	PM ₄	0,3 – 1,2 µg/m ³ (en aval) 0,6 – 2,8 µg/m ³ (en amont)	NR
MPCA (2015a) ; MPCA (2015b)	USA, proche unités d'extraction de sable	PM ₁₀ PM ₄	< 1 µg/m ³ (LOD) sauf 2 valeurs (1,4 et 1,9 µg/m ³) < 1,2 µg/m ³ sauf quelques valeurs < 7 µg/m ³	NR
J. Richards et Brozell (2015)	USA, sites de production de sable	PM ₄	0,22 – 0,29 µg/m ³ (moyenne géométrique)	NR

Référence	Localisation	Fraction	Gamme de concentrations	Teneur en quartz (%)
			0,23 – 0,26 µg/m ³ (bruit de fond naturel moyenne)	
Stacey, Thorpe et Roberts (2011)	Proches chantiers de construction en milieu urbain	Fraction alvéolaire	0,19 – 1,2 µg/m ³ (concentration médiane dans les zones d'activités) 0,1 – 0,44 µg/m ³ (air urbain)	2 % (proportion maximale)
Stacey <i>et al.</i> (2018)	Royaume-Uni, Proches carrières (sable et grès) et proches chantiers de construction	PM ₄	LOD – 2,5 µg/m ³ (concentration médiane, en amont) LOD – 6,15 µg/m ³ (concentration médiane, en aval)	0,3 % – 12,2 %

LOD : limite de détection ; PM : particulate matter (particules en suspension) ; NR : non renseigné dans le rapport d'expertise Anses (2019)

Les niveaux de concentration en silice cristalline en bruit de fond sont généralement compris entre 1 et 3 µg/m³. Des valeurs plus élevées peuvent localement être mesurées mais sont généralement influencées par l'environnement immédiat des prélèvements (présence d'un site industriel avec émissions de silice cristalline) et également des conditions climatiques et météorologiques qui peuvent contribuer significativement aux niveaux de silice cristalline atmosphériques (épisode venteux, climat sec, courants chauds remontant d'Afrique, etc.). Sauf cas exceptionnel, les concentrations environnementales en silice cristalline restent généralement inférieures à 20 µg/m³.

2.5 Conclusions et recommandations concernant la silice cristalline dans l'environnement et les enjeux autour de la métrologie et sa surveillance

L'Anses a conclu en 2019 que « les quelques données connues sur les niveaux d'exposition à la silice cristalline de la population générale (cf paragraphe 2.4) ne permettaient pas de réaliser une évaluation des risques sanitaires ».

Elle a émis plusieurs recommandations concernant les risques pour la population générale :

« Il est recommandé pour la protection de la population générale :

- De surveiller dans le cadre de la réglementation relative aux Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) pour les carrières, les émissions de silice cristalline, notamment à l'attention des riverains de ce type d'installation. Il est également recommandé que les données issues de cette surveillance soient centralisées et accessibles.
- De sensibiliser les particuliers utilisant des matériaux contenant de la silice cristalline ou réalisant des opérations de bricolage telles que découpe de carrelage ou de béton, ponçage de mortier, etc. aux risques liés à une exposition par inhalation à la silice cristalline. Cela peut supposer de développer de nouveaux moyens de communication et d'information sur les risques dans les points de vente et à destination des particuliers. »

Elle a également émis des recommandations d'amélioration des connaissances dans un objectif de prévention :

« Concernant la métrologie et les expositions, il est recommandé :

- De mettre au point des méthodes de mesures normalisées pour l'environnement professionnel et général permettant à la fois de prélever les particules en fonction de leur taille et d'analyser la silice cristalline dans les différentes classes granulométriques, notamment celle des particules ultrafines, afin de mieux caractériser la répartition granulométrique de la silice cristalline.
- De documenter les concentrations environnementales en silice cristalline dans l'air extérieur, au travers d'études réalisées aussi bien en station de fond qu'à proximité de sites susceptibles de générer des aérosols contenant de la silice cristalline, tels que les axes routiers et chantiers BTP. Selon les résultats, l'intérêt d'inclure la silice cristalline dans le cadre de la surveillance de la qualité de l'air extérieur pourra être évalué.
- D'acquérir des données d'exposition en population générale via la réalisation de mesures dans le cadre des activités de bricolage par exemple,
- En fonction des données d'exposition recueillies, conduire une éventuelle évaluation des risques sanitaires en population générale. »

3 Méthode d'expertise

La mise à jour des données d'exposition à la silice cristalline dans l'air extérieur provient de publications scientifiques et de la littérature grise issue de consultations internationale et nationale. De plus, des auditions d'acteurs dans le domaine de la santé publique, santé travail ou santé environnement ont été menées pour compléter les données de la littérature.

3.1 Revue de la littérature

L'équation de recherche utilisée dans l'expertise Anses de 2019 a de nouveau été appliquée dans trois moteurs de recherche de données bibliographiques (Scopus, Pubmed, Web of Science), pour rechercher les publications documentant des niveaux de concentrations en silice cristalline dans l'air ambiant sur la période 2018-2023 (2018 étant la fin de la période de recherche dans l'expertise de 2019). L'équation de recherche, détaillée en Annexe 2, contenait les mots clés suivants :

[Title/Abstract] : ("ambient exposure" OR "ambient concentration*" OR "ambient sampl*" OR "ambient measur*" OR "resident*" OR "non-occupational exposure" OR "environmental exposure" OR "environment exposure" OR "atmospheric exposure" OR "airborne exposure") AND (silica OR quartz OR tridymite OR cristobalite OR "silicon dioxide").

Les publications identifiées ont ensuite été triées et sélectionnées par deux relecteurs sur la base de leur titre et résumé puis de leur texte intégral. Le critère d'inclusion principal était la documentation de niveaux d'exposition en silice cristalline, en particulier des niveaux de concentration dans les milieux aériens, dans l'environnement général ou à proximité de sites d'activités émettrices de silice cristalline.

Les critères d'exclusion pour la phase de sélection (tri sur titre et résumé) sont :

- étude sur des expositions professionnelles
- étude expérimentale (*in vitro* ou *in vivo*)
- étude épidémiologique sans évaluation quantitative de l'exposition (i.e. questionnaire, cartographie) ou n'incluant pas des mesures de concentration en silice cristalline
- étude sur l'exposition environnementale à la silice cristalline sur des matrices autre que l'air ambiant (ex : sol, eau)
- étude hors du champ de l'expertise (ex : étude mentionnant des termes tels que « filtre quartz », « silice aérogel » dans le résumé ou étude sur l'archéologie).

Les raisons d'exclusion lors de la phase d'éligibilité (tri sur lecture du texte intégral) sont :

- références déjà identifiées dans rapport Anses 2019
- absence de données de concentration
- modélisation de la concentration en silice cristalline (interprétation complexe)
- publications dans une langue autre que le français et l'anglais
- publications dont les concentrations renseignées sont des données d'exposition professionnelle.
- Une analyse critique des publications sélectionnées à l'issue de la phase d'éligibilité (sélection sur lecture du texte intégral) a été réalisée en utilisant une grille de lecture présentée en Annexe 3. Cette grille de lecture a été utilisée dans l'expertise Anses de

2019 et adaptée au contexte plus spécifique pour cette expertise des études fournissant des données d'exposition à la silice cristalline dans l'air extérieur. Plusieurs critères permettant de juger la pertinence et la qualité des publications sélectionnées sont contenus dans la grille dont : la stratégie d'échantillonnage (stratégie spatiale et temporelle, les activités du site en général et lors des mesures), les données météorologiques (dispositif et durée de prélèvement, traitement de l'échantillon, technique analytique, limite de quantification), les sources de financements de l'étude et les liens d'intérêt potentiels des auteurs.

Enfin, une synthèse narrative des publications retenues suite à l'analyse par la grille de lecture a été réalisée.

3.2 Recherche de la littérature grise

3.2.1 Consultation internationale

Une consultation internationale des agences ou autorités dans le domaine de la santé publique, santé en environnement ou santé au travail en Europe et Amérique du Nord a été réalisée pour recueillir des informations sur l'exposition environnementale à la silice cristalline, sur l'évaluation des risques sanitaires en population générale, ainsi que sur les recommandations existantes concernant les mesures de prévention pour la population générale. Le questionnaire ainsi que l'ensemble des organismes contactés sont fournis en Annexe 4.

3.2.2 Consultation nationale

Afin d'identifier des données d'exposition non professionnelle à la silice cristalline dans l'air ambiant plus spécifiques aux situations en France, une consultation nationale des acteurs dans le domaine de la silice cristalline a également été menée. L'objectif était d'identifier des études en cours ou passées ayant collecté des données de concentration en silice cristalline dans l'environnement, en particulier à proximité de sites d'activités émettrices de silice cristalline, ainsi que des informations sur les méthodes de prélèvement et d'analyse de la silice cristalline en environnement mises en œuvre dans ces études. Le questionnaire ainsi que l'ensemble des organismes contactés sont fournis en Annexe 4.

Une analyse de l'ensemble des ressources collectées lors de ces consultations a été réalisée à l'aide des critères de la grille de lecture des publications scientifiques (cf paragraphe 3.1). Les données pertinentes par rapport à l'objectif de cette expertise ont fait l'objet d'une synthèse narrative.

3.3 Auditions

Afin d'apporter des précisions sur les données rapportées dans l'étude commanditée par les fédérations professionnelles (EVADIES, MIF et UNPG 2022a, 2022b, 2022c), une audition des

représentants des fédérations professionnelles des industries de carrières et du bureau d'expertise a été effectuée.

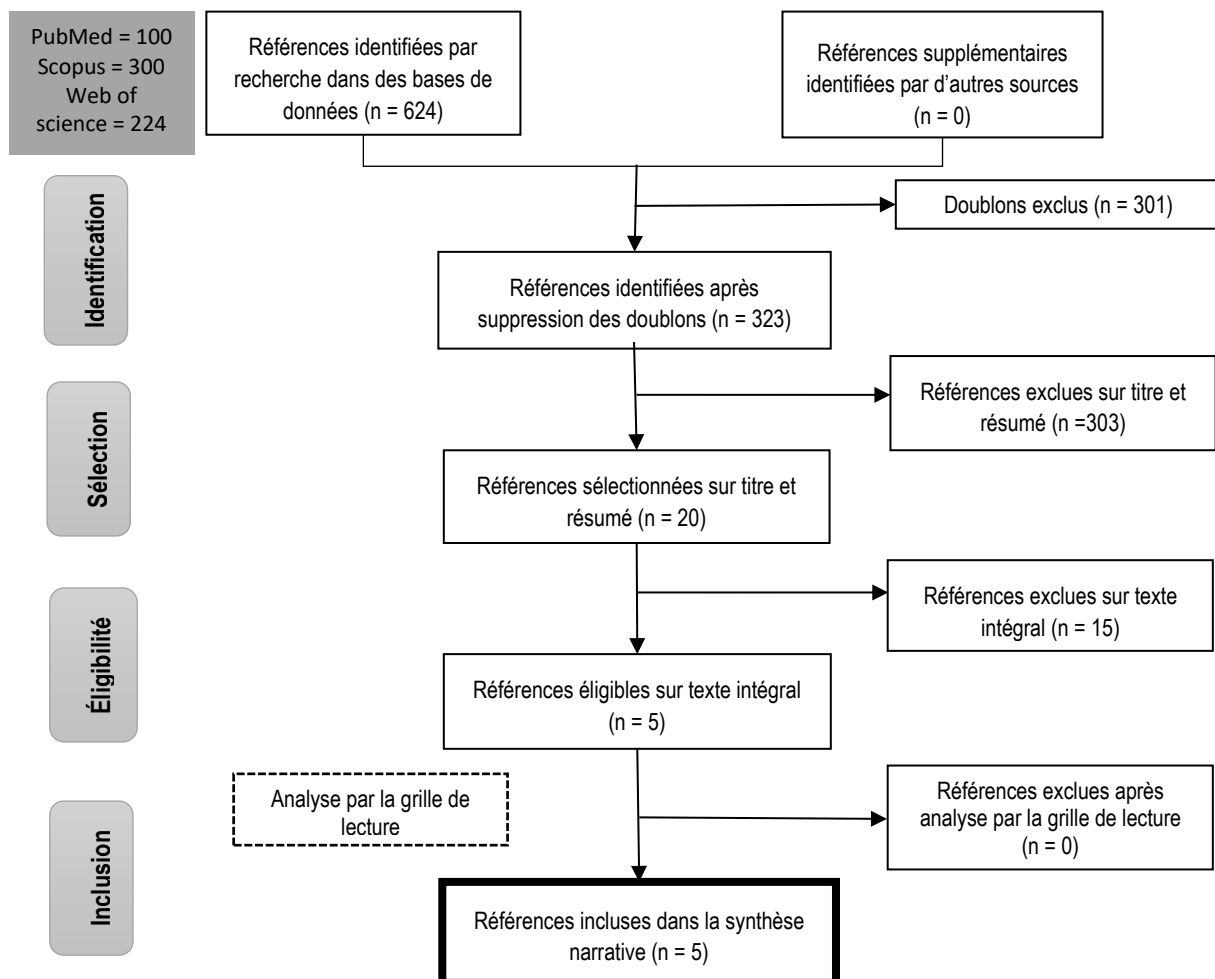
Une audition de l'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS) a également été réalisée afin d'obtenir des informations complémentaires sur les méthodes de mesure de la silice cristalline.

4 Résultats de l'expertise : données d'exposition à la silice cristalline dans l'air extérieur à proximité des sites d'activités émettrices de silice cristalline

4.1 Revue de la littérature

4.1.1.1 Résultats de la recherche bibliographique

La recherche bibliographique en Figure 1 a permis d'identifier 323 références uniques. A l'issue des deux phases de tri (sélection et éligibilité), cinq références ont été retenues pour analyse et rapportent des données de concentration dans l'environnement tout en respectant les critères de qualité méthodologique.



Les critères d'inclusion et d'exclusion lors des phases de sélection et d'éligibilité sont présentés en paragraphe 3.1.

Figure 1 : Diagramme de flux de l'identification et la sélection des publications sur l'exposition non professionnelle à la silice cristalline dans l'air ambiant

A noter que parmi les vingt publications sélectionnées pour une lecture en texte intégral, neuf publications (Blondet *et al.* 2019; Deng *et al.* 2021; Ghaedrahmat *et al.* 2022; Gustafsson *et al.* 2018; Kwata, Moja et Chadi 2018; Najmeddin *et al.* 2018; Oliveira *et al.* 2022; Pal *et al.* 2021; Wang *et al.* 2020) rapportent des analyses de la composition minéralogique de différents échantillons mais ne présentent pas de mesure de la concentration en silice cristalline dans l'air ambiant. Ces publications portent sur des études réalisées dans différents pays (Afrique du Sud, Chine, Colombie, Inde, Iran, Suède) et l'objectif principal était d'analyser la composition d'échantillons de poussières intérieures, atmosphériques ou déposées qui ont été prélevés dans des zones industrielles, d'installations minières, de décharges minières d'amiante abandonnées ou d'important trafic routier. Ces études mettent en évidence une forte présence de quartz dans les échantillons analysés, sans que la teneur soit précisée, exceptée dans l'étude de Kwata, Moja et Chadi (2018) où des teneurs allant de 0% à 85% m/m sont observées. Les auteurs n'apportant pas plus de précision ou de discussion sur ces résultats et étant donné qu'aucune mesure de la concentration en silice cristalline dans l'air ambiant n'a été réalisée, ces études n'ont pas été retenues pour l'analyse par la grille de lecture.

4.1.1.2 Synthèse narrative des cinq publications retenues

L'étude de Dash, Tripathy et Pandey (2020) avait pour objectif d'étudier la concentration en PM₁₀ et ses variations saisonnières autour d'une mine de charbon à ciel ouvert (employant des techniques fortement mécanisées) à Odisha, Inde. Les groupes fonctionnels (composés organiques et inorganiques) présents dans les PM₁₀ et les constituants minéralogiques ont également été étudiés ainsi que la quantification en quartz pour évaluer les risques sanitaires des résidents proches des mines.

Le prélèvement de la fraction PM₁₀ sur 24h a été effectué sur huit stations situées à différents endroits autour de la mine couvrant des villages, des colonies, des zones résidentielles et des bureaux de la mine. La période de mesures a duré un an (Avril 2015 à Mars 2016) sur quatre saisons distinctes (post-mousson, hiver, été, et mousson). Pour l'ensemble des huit stations, 32 échantillons ont été collectés. Pour la sélection de l'emplacement des échantillonneurs, des facteurs tels que la météorologie, les sources de pollution, la sécurité des instruments de mesure, l'accessibilité et la disponibilité de l'électricité ont été pris en compte. Les échantillons de PM₁₀ ont été prélevés grâce à un échantillonneur de poussières (RDS de Evirotech - modèle APM 460) sur un filtre en fibre de verre (8 x 10 pouces). Une technique de spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF) a été utilisée pour la caractérisation et l'identification dans la fraction PM₁₀ de composés organiques et inorganiques dont le quartz.

La détermination des minéraux dans les PM₁₀ a montré une présence de quartz parmi les minéraux majeurs observés. La détermination des groupes fonctionnels dans les PM₁₀ a également montré que la silice était parmi les groupes fonctionnels les plus observés dans les échantillons et les auteurs indiquent comme source l'activité minière dans le site. Les teneurs et les concentrations en quartz dans les PM₁₀ étaient variables selon les stations et les saisons avec des niveaux allant de 12,1 à 30,2 µg/m³ (5,8% - 8,8%) pendant la post-mousson, 15,8 à 55,5 µg/m³ (4,2% - 8,7%) pendant l'hiver, 8,5 à 33,4 µg/m³ (3,7% - 7,7%) pendant l'été, et 7,9 à 25,6 µg/m³ (5,6% - 9,7%) pendant la mousson. Les auteurs indiquent que les concentrations les plus élevées ont été déterminées au niveau des stations de mesure proches des sources comme les déblais (enlèvement, décharges) ou les routes et les teneurs en quartz les plus élevées ont été observées pendant les saisons de mousson et post-mousson. La teneur en

quartz dans les PM₁₀ allait de 5,82% en moyenne en été à 7,48% en moyenne pendant la mousson. Les auteurs indiquent que la silice cristalline provient principalement de la croûte terrestre, ainsi, l'enlèvement des déblais et de la terre arable, les activités de construction dans la région, ainsi que le transport sur les routes et les voies ferrées sont des sources possibles d'émission de silice cristalline.

Concernant l'évaluation des risques sanitaires réalisée dans cette étude, en l'absence de valeur de référence pour la silice cristalline en air ambiant en Inde, les auteurs ont considéré comme valeur de référence une valeur provisoire de 6 µg/m³ proposée par l'US-EPA⁶ en 1996. Cette valeur découle d'une hypothèse d'une teneur en silice cristalline dans les PM₁₀ inférieur à 10% et du respect du seuil annuel pour les PM₁₀ établi à 60 µg/m³. Quatre catégories de niveau de risque ont été définies par les auteurs (faible, élevé, très élevé, très très élevé). Ces derniers indiquent que toutes les concentrations en silice cristalline sur l'ensemble de la zone d'étude étaient au-dessus du seuil de 6 µg/m³ et la saison d'hiver représentait le niveau de risque le plus élevé pour toutes les stations de mesure. Les auteurs ont conclu à un risque très élevé dans toutes les stations. Les auteurs ont également conclu que l'analyse de la teneur en quartz dans les PM₁₀ indique que la zone d'étude était fortement enrichie en silice cristalline, ce qui peut avoir des effets silicotiques sur les mineurs et les habitations voisines.

Cette étude de Dash et al. présente plusieurs limites méthodologiques et une description incomplète des protocoles mis en œuvre. Les critères pour évaluer la pertinence de la stratégie spatiale (ex : distance de l'échantillonneur par rapport au site et aux cibles, emplacement des stations témoins, précision des conditions météorologiques) ne sont pas précisés par les auteurs. L'étude ne porte que sur un seul site (mine de charbon). La limite de détection et la limite de quantification ne sont pas indiquées. Aussi, la méthode d'évaluation de risque, notamment la définition des catégories de niveau de risque est très peu détaillée par les auteurs. Le choix de la valeur de 6 µg/m³ en PM₁₀ calculée à partir de la valeur seuil proposée pour les PM₁₀ par l'US-EPA en 1996 est discutable pour plusieurs raisons : la fraction PM₁₀ n'est peut-être pas la fraction la plus pertinente d'un point de vue sanitaire, le seuil annuel proposé par l'US EPA est 50 et non 60 µg/m³, il n'est pas garanti que la teneur en quartz soit toujours inférieure à 10% (certaines des mesures réalisées en période de mousson montrent une teneur proche des 10%). Par ailleurs, l'OMS a récemment révisé ses seuils de référence pour les PM₁₀ à 45 µg/m³ sur 24h (15 µg/m³ sur 1 an). Enfin, la situation en Inde est très différente de la situation en France, en termes de conditions météorologiques, d'activités minières et de réglementations, rendant difficile la comparaison et l'interprétation des résultats de cette étude pour la situation d'exposition environnementale à silice cristalline en France.

L'étude de Singh et al. (2022) avait pour objectif d'évaluer les expositions environnementales à la silice cristalline dans une région en Inde avec de fortes activités minières et des industries de métallurgie. La silice cristalline a été analysée dans la fraction PM₁₀ pour trois sites de mesure très contrastés, fortement influencés soit par une activité de mine de charbon, soit le trafic routier, soit les deux. A noter que le site minier investigué n'était pas habité et que la zone, subissant des feux de mine constants, devait rester vacante sur ordre du gouvernement. Deux prélèvements par semaine ont été réalisés entre mars et juin 2020, soit un total de 34 échantillons pour chacun des sites. La saison pour ces zones correspond à la pré-mousson, c'est-à-dire un climat tropical avec de l'humidité et des températures élevées. Des

⁶ A noter que dans le rapport de l'US-EPA 1996 "Ambient Levels and Noncancer Health Effects of Inhaled Crystalline and Amorphous Silica : Health Issue Assessment" – Chapitres 7 et 8, le seuil annuel des PM₁₀ (National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)) est de 50 µg/m³ et non 60 µg/m³ tel indiqué par Dash et al.

prélèvements de PM₁₀ pendant 24 heures ont été réalisés à l'aide d'échantillonneurs haut débit (1 132 L/min) équipés d'un filtre papier Whatman. Les quantités totales en PM₁₀ ont été évaluées par gravimétrie et la silice cristalline a été déterminée par DRX après une étape de préparation par ultrasons.

Des concentrations moyennes en silice cristalline de 73,5, 97,44 et 108,85 µg/m³ ont été observées pour les trois sites. Les concentrations en particules les plus élevées sont retrouvées dans la zone minière avec 490 µg/m³ mais les teneurs les plus faibles de 73,5 µg/m³ en silice cristalline, tandis que l'inverse est constaté pour la zone trafic routier, c'est-à-dire 311 µg/m³ pour les PM₁₀ et 108,85 µg/m³ pour la silice cristalline. Les auteurs ont attribué ces différences à l'influence des activités à proximité de la zone trafic routier, émettrice de silice cristalline (construction de bâtiments et de routes, production d'agrégats ou de granulats, extraction de sable, forage, dynamitage, concassage et criblage de minéraux, fours à briques, matériaux réfractaires et d'autres sources de quartz géogéniques). Dans la zone minière, la principale source de silice cristalline est uniquement géogénique et dépend des types de roches présents, tels que le grès, et les activités sur le site sont uniquement en lien avec l'activité minière (forage, explosions, transport, combustion du charbon et pulvérisation). La concentration moyenne en silice cristalline n'est pas proportionnelle à la concentration en PM₁₀ et la teneur en silice cristalline dans les PM₁₀ semble davantage liée aux activités générant de la silice cristalline qu'à la concentration de PM₁₀.

Cette étude présente des limites méthodologiques importantes. Les auteurs parlent de zones influencées par le trafic routier ou les activités minières mais les descriptions faites par la suite listent de nombreuses autres sources de pollution sans en évaluer l'impact ni fournir de précision quant à leur localisation par rapport aux sites de mesure. De plus, la période d'investigation de l'étude a été réalisée au cœur de la pandémie de COVID, ce qui peut avoir influé sur les niveaux d'activités. A nouveau, les conditions d'exposition (climat, autres sources de pollution) de cette région en Inde sont très différentes de la situation en France.

L'étude de Shaaban et al. (2021) avait pour objectif d'évaluer l'impact du concassage et du broyage de roches sur l'environnement et la santé des habitants de la ville de La Mecque en Arabie Saoudite. Parmi les paramètres mesurés, la silice cristalline a été analysée dans les PM₁₀ pour un des quatre sites (quartier de Mina), avec trois points de mesures mais aucune information n'est fournie sur leur localisation par rapport aux lieux de vie. Il y avait plusieurs sites de concassage aux alentours, dont la distance a été grossièrement estimée par les relecteurs à partir des images satellites fournies, entre 1 et 1,5 km pour le site le plus proche à plus de 4 km pour les autres sites. Sur la durée totale de l'étude entre 6 et 7 jours, aucune information sur les conditions météorologiques ou l'activité des sites émetteurs n'est fournie.

Des prélèvements de PM₁₀ pendant 24 heures ont été réalisés à l'aide d'échantillonneurs bas débit (5 L/min) équipés d'un filtre en nitrate de cellulose de 0,45 µm. Les quantités totales en PM₁₀ ont été évaluées par gravimétrie et l'analyse de la silice cristalline par spectrophotométrie UV. Des concentrations de 0,8 à 14 µg/m³ ont été obtenues, avec une moyenne de 7,8 µg/m³. Les auteurs expliquent que des zones montagneuses bloquent les vents chargés en particules. Il n'existe pas de valeur limite réglementaire pour la silice cristalline dans l'air en Arabie Saoudite mais des valeurs limites en milieu professionnel (une valeur limite d'exposition professionnelle de 100 µg/m³ et un maximum à ne pas dépasser de 150 µg/m³ sans précision sur la fraction granulométrique prise en compte). Les auteurs recommandent tout de même

de conduire une évaluation des risques pour l'ensemble des zones de La Mecque en incluant d'autres matrices que l'air, comme par exemple l'eau.

Cette étude présente d'importantes limites méthodologiques qui rendent ses résultats difficiles à interpréter. Les méthodes mises en œuvre ne sont pas suffisamment détaillées. La méthode d'analyse par spectrophotométrie UV est peu connue comparativement aux méthodes de référence qui utilisent de la DRX ou de l'IRTF. De plus, la référence citée dans la publication pour cette méthode est une étude expérimentale qui semble porter plutôt sur la silice amorphe et non cristalline. Les auteurs précisent que la silice cristalline se retrouve dans des fractions granulométriques faibles (PM_4 voire en dessous) mais investiguent les PM_{10} sans apporter de justification. Par ailleurs, les conditions d'exposition de cette zone montagneuse et désertique avec de nombreux sites de concassage de roche sont très différentes de la situation en France.

L'étude de Pierce et al. (2019) avait pour objectif de quantifier le risque d'exposition aux particules en suspension dans l'air autour d'exploitations industrielles de sable siliceux dans l'Etat du Wisconsin aux Etats-Unis. Les fractions PM_{10} et $PM_{2,5}$ ont été prélevées sur deux sites sélectionnés sur la base de leur proximité avec des installations industrielles de sable siliceux et de la disponibilité d'une propriété privée sur laquelle les instruments de surveillance pouvaient fonctionner en toute sécurité. Les sites étudiés étaient Bloomer à 1km au sud-est d'une mine et New Auburn à 0,14 km à l'est et à 1 km au nord de deux sites de traitement de sable siliceux et de chargement de trains. La silice cristalline a été caractérisée uniquement sur le site de Bloomer.

Sur ce site, 50 échantillons d'air ambiant sur 24h ont été collectés à l'aide d'un échantillonneur dichotomique $PM_{10}/PM_{2,5}$ selon la méthode de référence fédérale d'instrumentation sur une période de deux ans à partir d'Octobre 2014. Les auteurs indiquent que ce site était inactif entre automne 2015 et aout 2016. Parmi ces échantillons, seuls trois ont fait l'objet de mesure de concentration en silice cristalline dans les fractions PM_{10} et $PM_{2,5}$. Des filtres membranes de polyvinyl chloride (PVC) de 37mm et 5 μm de taille des pores ont été utilisés pour prélever les échantillons. La silice cristalline a été analysée par spectrométrie DRX. Les précipitations ainsi que les vitesses et sens de vent ont été prises en compte pour l'interprétation des résultats de mesures des PM mais pas pour la construction ou la mise en place de la stratégie de prélèvement.

Les concentrations en silice cristalline mesurées dans les trois échantillons de fraction $PM_{2,5}$ sur le site de Bloomer étaient de 0,282 $\mu g/m^3$ (12%), 0,118 $\mu g/m^3$ (5%) et 0,363 $\mu g/m^3$ (16%) ; et dans les trois échantillons de fraction PM_{10} , celles-ci étaient de 1,52 $\mu g/m^3$ (16%), 0,485 $\mu g/m^3$ (6%) et 0,738 (10%) $\mu g/m^3$. Les auteurs n'ont pas précisé la forme de silice cristalline présente dans les échantillons.

Cette étude de Pierce et al. présente quelques limites méthodologiques pouvant limiter l'interprétation des résultats vis-à-vis de l'objectif de cette expertise. En effet, les mesures de concentration en silice cristalline n'ont été faites qu'à partir de trois filtres sur les 50 prélevés et sur un seul site. Les auteurs indiquent un an d'inactivité du site pendant les deux ans de la durée de la campagne de mesures, et aucune précision n'est donnée sur la période de prélèvement des trois filtres pour mesurer la concentration en silice cristalline. Par ailleurs, les activités et la production minières aux Etats-Unis peuvent être différentes de celles qu'on peut retrouver en France. La distance des échantillonneurs par rapport au site (ici distance de 1 km) traduit un territoire plus vaste avec des conditions de dispersion différentes des conditions

qu'on peut retrouver en France. Tenant compte de ces différents paramètres, il est difficile de comparer et d'interpréter les résultats de cette étude pour la situation d'exposition environnementale à la silice cristalline en France.

La revue de J. Richards et Brozell (2021) compile et évalue les résultats de 21 campagnes de prélèvements de silice cristalline alvéolaire dans l'air ambiant à proximité de différents sites de production de sable aux Etats-Unis : carrières, exploitations de traitement, d'extraction, de production ou de transport, pour différents produits tels que le sable de construction, le sable de fracturation et le sable broyé. Les stratégies des prélèvements pouvaient varier selon les études. Généralement, il y avait des prélèvements de 24 heures en amont et en aval du site au niveau des clôtures, avec des fréquences de prélèvement tous les 3, 6 ou 12 jours, et des campagnes de mesures de plusieurs jours à plusieurs mois voire années selon les sites.

La méthode de prélèvement a été adaptée d'une méthode de référence de l'US EPA pour la fraction $PM_{2,5}$ en termes de débit de façon à obtenir un diamètre de coupure de $4 \mu m$ et maintenir une courbe d'efficacité de prélèvement selon la taille des particules proches des préleveurs de la fraction alvéolaire utilisés pour la silice cristalline en milieu professionnel.

Au total, les résultats de 5 226 échantillons issus de 19 installations de production de sable ont été compilés sur une période allant de 2004 à 2020. Les concentrations moyennes vont de $0,22$ à $1,73 \mu g/m^3$ quels que soient l'activité des sites, la topographie, les conditions météorologiques ou le climat. Deux sites (Wedron à $1,56 \mu g/m^3$ en moyenne et Berkeley Springs à $1,73 \mu g/m^3$) présentent les niveaux en silice cristalline alvéolaire les plus élevés et également les différences entre vents amont et aval les plus importantes. Les auteurs expliquent ces résultats par le fait que ces installations font partie des plus grandes investiguées en termes d'extension géographique et que, dans les deux cas, les points de prélèvement étaient proches de la limite d'autorisation. De plus, cela serait également dû à la topographie montagneuse pour Berkeley Springs. Les auteurs concluent avec ces résultats que les contributions de ces sites de production à la pollution de l'air sont très faibles et souvent inférieures aux limites de quantification. Ils estiment d'ailleurs que les installations ne mettent pas en œuvre de technique ou d'équipement capables de fractionner une grande partie de la silice cristalline jusqu'à une taille aussi fine que les PM_4 en raison de sa dureté élevée. Par ailleurs, certaines autres sources de silice cristalline sont également citées et pour lesquelles les auteurs recommandent de réaliser des mesures, comme par exemple les niveaux de fond, la proximité avec des routes non pavées, des sols non végétalisés, les constructions ou les chantiers en zone urbaine. Les auteurs attribuent également certains dépassements aux activités agricoles sans pour autant apporter de justifications.

Cette étude est intéressante en raison de sa dimension nationale pour les Etats-Unis avec un nombre important d'échantillons pour le secteur de la production et de l'exploitation du sable ainsi que des prélèvements de PM_4 assimilés à la fraction alvéolaire. La majeure partie des niveaux sont inférieurs à la valeur limite de $3 \mu g/m^3$ établie par l'OEHHA en 2005 pour l'air ambiant. Pour autant, aucun facteur explicatif des concentrations n'est particulièrement ressorti d'après leurs analyses comparatives et les éléments fournis par la publication sont insuffisants. En effet, les activités des sites ne sont pas détaillées et les prélèvements sont réalisés en bordure de site sans préciser les distances exactes vis-à-vis des sources d'émission ou la topographie. De la même manière, certains prélèvements urbains ont été effectués afin d'obtenir des comparaisons pour les fractions $PM_{2,5}$ et PM_{10} mais aucun détail n'est donné.

A noter que ces études d'air ambiant ont été réalisées dans le cadre d'une prestation pour le compte des industriels du secteur et effectuée par une société de conseil en ingénierie en réponse aux exigences réglementaires.

4.1.1.3 Conclusion sur les publications scientifiques récentes

En conclusion, cinq études ont été identifiées depuis 2018 documentant des données de concentration en silice cristalline en environnement non professionnel. Les résultats, synthétisés dans le Tableau 4, montrent des concentrations en silice cristalline dans l'air ambiant très variables allant de 0,12 à 109 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, et les teneurs en quartz variant de 5 % à 16 % dans les $\text{PM}_{2,5}$ et de 3,7 % à 16 % dans les PM_{10} .

Il est difficile de comparer les résultats de ces études aussi bien entre elles que par rapport à la situation en France. En effet, ces études ont utilisé des méthodes de prélèvement et des techniques d'analyse de la silice cristalline différentes. La fraction dans laquelle la silice cristalline a été mesurée est également différente entre les études. Pour la majorité des études, c'est la fraction PM_{10} qui a été prélevée mais dans la revue de J. Richards et Brozell (2021) la méthode de prélèvement des $\text{PM}_{2,5}$ a été adaptée pour obtenir la fraction PM_4 et dans l'étude de Pierce *et al.* (2019), la fraction $\text{PM}_{2,5}$ a été prélevée en plus des PM_{10} . Néanmoins, le choix de la fraction prélevée n'est pas justifié dans les études. Ce choix dépend probablement de l'objectif de l'étude qui visait dans la plupart des cas à étudier les expositions aux particules (PM_{10} ou $\text{PM}_{2,5}$) de manière générale et leur composition dont la silice cristalline. Ces études n'avaient pas pour objectif d'étudier la distribution de la silice cristalline dans les différentes fractions. Un point intéressant à relever est la méthode de prélèvement décrite dans la revue de J. Richards et Brozell (2021), qui a adapté une méthode environnementale de référence pour les $\text{PM}_{2,5}$ afin d'obtenir un diamètre de coupure de 4 μm , comparable à la méthode de prélèvement de la silice cristalline en milieu professionnel (fraction alvéolaire). La technique analytique majoritairement mise en œuvre est la DRX.

Concernant l'évaluation des risques sanitaires, il n'y a pas de consensus sur la valeur limite de référence en air ambiant. En effet, les valeurs choisies comme référence sont différentes : 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM_{10} pour Dash, Tripathy et Pandey (2020) établie à partir de la valeur de seuil proposée pour les PM_{10} par l'US-EPA en 1996 ou 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM_4 pour J. Richards et Brozell (2021) établie par l'OEHHA. Le choix de ces valeurs n'est pas justifié par les auteurs. Par ailleurs, Shaaban *et al.* (2021) compare leurs résultats à des valeurs limites en exposition professionnelle à défaut d'existence de valeur limite environnementale.

Enfin, plusieurs études manquent d'informations méthodologiques, en particulier les critères sur la stratégie spatiale comme la distance de l'échantillonneur par rapport au site et aux cibles, mais également les limites de détection et de quantification ou les modalités de prise en compte des valeurs en dessous de ces limites. De plus, la situation géographique, les conditions météorologiques et les activités des sites sont assez diverses d'une étude à l'autre et ne sont pas toujours précisées. Elles peuvent être par ailleurs assez éloignées de la situation française. Hormis la revue de J. Richards et Brozell (2021), ces études portaient sur un faible nombre de sites et comprenaient peu d'échantillons de mesures, ce qui est insuffisant pour permettre des conclusions plus générales que ces résultats.

Au vu de ces limites, ces données ne sont pas suffisantes pour réaliser une évaluation des risques chez les populations riveraines de sites d'activités émettrices de silice cristalline.

Tableau 4 : Synthèse des résultats des publications scientifiques récentes documentant des données de concentration dans l'air extérieur en silice cristalline en environnement (non professionnel)

Référence	Pays	Activités à proximité	Type de filtre de prélèvement – échantillonneur – durée	Nombre d'échantillons	Fraction	Technique d'analyse de la silice cristalline	Formes de la silice cristalline	Concentration la plus faible observée ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Concentration la plus élevée observée ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Dash, Tripathy et Pandey (2020)	Inde	Mine de charbon à ciel ouvert	Filtre en fibre de verre - RDS de Evirotech - modèle APM 460 - 24h	32	PM ₁₀	IRTF	Quartz	7,9	55,5
Singh et al. (2022)	Inde	Activités minières, broyage de pierres, construction de bâtiments, autres industries	Filtre papier Whatman - échantillonneurs haut débit - 24h	34	PM ₁₀	DRX	Non précisé	73,5	108,85
Shaaban et al. (2021)	Arabie - Saoudite	Sites de concassage et de broyage de roches	Filtre en nitrate de cellulose - échantillonneurs bas débit - 24h	21	PM ₁₀	Spectrophotométrie UV	Non précisé	0,8	14
Pierce et al. (2019)	Etats-Unis	Exploitations industrielles de sable siliceux	Filtre membrane de PVC - échantillonneur dichotomique - 24h	3	PM _{2,5} PM ₁₀	DRX	Non précisé	0,12 0,48	0,36 1,52
J. Richards et Brozell (2021) – revue de la littérature	Etats-Unis	Installations de production de sable	Non renseigné - préleveurs PM _{2,5} avec débit adapté - 24h	5 226	PM ₄	DRX	Quartz, cristobalite et tridymite (résultats non détaillés)	0,22	1,73

DRX : diffraction des rayons X ; PM : particulate matter (particules en suspension) ; PVC : polyvinyl chloride ; UV : ultra-violet ; IRTF : spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier.

4.2 Données issues de la littérature grise

4.2.1 Synthèse des informations transmises lors de la consultation internationale

Comme indiqué dans le paragraphe 3.2.1 et en Annexe 4, une consultation internationale des agences ou autorités dans le domaine de la santé publique, santé en environnement ou santé au travail (Europe, Amérique du Nord) a été réalisée. Plusieurs documents ont été collectés dans le cadre de cette consultation. Le paragraphe ci-dessous et le Tableau 5 synthétisent les informations sur les méthodologies d'analyse de la silice cristalline mises en œuvre par les agences consultées, les données de concentrations, les réglementations ou valeurs limites en silice cristalline dans l'environnement rapportées dans ces documents collectés. L'ensemble des données collectées en réponse à la consultation est présenté en Annexe 5.

Parmi l'ensemble des organismes contactés, très peu traitent le sujet de l'exposition environnementale à la silice cristalline dans l'air extérieur et ont transmis des données dans le cadre de cette consultation. Aux Etats-Unis, le NIOSH⁷ ne traite pas le sujet de l'exposition environnementale mais a développé des méthodes de référence sur l'analyse de la silice cristalline dans l'air extérieur en milieu professionnel. Le NIEHS⁸ finance ou a financé des travaux qui renseignent sur des niveaux d'exposition mais les études publiées et transmises dans le cadre de cette consultation portent sur l'exposition professionnelle. Le MDH – MPCA⁹ a contrôlé la silice cristalline il y a de nombreuses années à Winona (Minnesota), pour examiner si la ville était affectée par le transport de sable siliceux pour les opérations de fracturation, mais les données issues de cette surveillance n'ont pas été transmises dans le cadre de cette consultation. De même, le CARB¹⁰ est en charge de l'inventaire complet des émissions de substances toxiques et de polluants atmosphériques encadré par la réglementation CARB AB2588 Air Toxics "Hot Spots", mais n'a pas non plus transmis de données d'exposition à la silice cristalline en environnement. La TCEQ¹¹, qui a pour objectif la protection de la population générale à proximité des installations industrielles, incluant le secteur de la production de granulats (APO pour *aggregate production operations*), a conduit des études afin de documenter les expositions environnementales à la silice cristalline pour la population générale vivant à proximité de ces installations.

En Europe, le RIVM¹² a transmis à l'agence des données d'exploitants qui collaborent avec des entreprises de conseils pour réaliser des études d'évaluation des risques sanitaires documentant les concentrations en silice cristalline mesurées à proximité de sites exposés à des poussières dont de la poussière de silice. Le CEN¹³ a transmis des données concernant les émissions canalisées de silice cristalline.

⁷ NIOSH : National Institute for Occupational Safety and Health (en français, Institut national pour la sécurité et la santé au travail)

⁸ NIEHS : National Institute of Environmental Health Sciences (en français, Institut national des sciences de la santé environnementale)

⁹ MDH-MPCA : Minnesota department of health (en français, Ministère de la Santé du Minnesota) – Minnesota Pollution Control Agency (en français Agence de contrôle de la pollution du Minnesota)

¹⁰ CARB : California Air resources board (en français, Conseil des ressources atmosphériques de Californie)

¹¹ TCEQ : Texas Commission on Environmental Quality (en français, Commission texane sur la qualité environnementale)

¹² RIVM : Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (en français, Institut national de la santé publique et de l'environnement)

¹³ CEN : Comité européen de normalisation

4.2.1.1 Les méthodes de mesure de la silice cristalline mises en œuvre par les organismes internationaux :

Exposition professionnelle

Le NIOSH a développé les protocoles suivants pour l'analyse de la silice cristalline dans l'air des lieux de travail : NIOSH 7500, NIOSH 7602, NIOSH 7603. L'ensemble de ces protocoles mettent en œuvre un prélèvement individuel de la fraction alvéolaire et une caractérisation de la silice cristalline par DRX ou IR. Un autre protocole, NIOSH 7601, met en œuvre une analyse par spectroscopie visible recommandée pour un usage de recherche uniquement car présente de moindre performance. Dans les études en milieu professionnel financées par le NIEHS, diverses approches sont mises en œuvre pour le prélèvement de la silice cristalline, par exemple le préleveur d'aérosol individuel en continu TSI SidePak [AM510]. Pour ce qui est de l'analyse dans ces études, il s'agit principalement de l'IRTF et la DRX. Le MDH-MPCA, dans le cadre du contrôle de la silice cristalline dans la ville de Winona il y a une dizaine d'années, a utilisé un échantillonneur de PM₄ BGI PQ100 (MesaLabs) pour collecter des échantillons sur des filtres envoyés ensuite à un laboratoire pour analyse. Le MDH-MPCA précise que les filtres étaient calcinés au cours du processus pour obtenir la concentration en PM₄, mais ne mentionne aucune technique analytique.

Air ambiant

La TCEQ, dans le cadre de la surveillance de la silice cristalline dans l'air ambiant à proximité de sites de production de granulats, a adapté des échantillonneurs pour PM_{2,5} (Méthode de référence fédérale – FRM Federal Reference Method) pour la collecte de PM₄. La teneur en silice cristalline dans la fraction PM₄ a été mesurée à l'aide de la DRX.

Emissions atmosphériques

Le CEN a transmis la référence VDI 2066 BLATT 11 figurant dans le Manuel VDI/DIN sur la prévention de la pollution de l'air (volume 4 : méthodes d'analyse et de mesure). Cette référence spécifie la méthode de référence normalisée pour la détermination des concentrations massiques de silice cristalline sous forme de quartz et de cristobalite dans la fraction PM₄ des sources d'émission fixes. La méthode de mesure est basée sur l'échantillonnage selon le principe de l'impaction et la détermination de la masse de silice cristalline par spectroscopie IR ou par DRX.

4.2.1.2 Les valeurs guides ou sanitaires de référence appliquées dans les différents pays

Le MDH a publié en Juillet 2013 une valeur sanitaire chronique de la qualité de l'air (air quality chronic health-based value (HBV)) de 3 µg/m³ après examen de données de surveillance de la qualité de l'air d'installations de sable siliceux dans le Minnesota. La méthode d'élaboration de cette valeur n'a pas été transmise dans le cadre de cette consultation.

Le CARB n'élabore pas de valeur sanitaire mais se base sur la valeur de référence pour l'exposition chronique par inhalation de l'OEHHA (2005) de 3 µg/m³.

Le TCEQ a dérivé des valeurs de référence en population générale (Reference Value « ReV ») pour la silice cristalline qui s'apparentent à des VTR et pour lesquelles il est précisé qu'elles s'appliquent à la fraction granulométrique PM₄. Ces valeurs sont de trois types : court-terme

(1h) à $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$, court-terme (24h) à $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et long terme (vie entière) à $0,27 \mu\text{g}/\text{m}^3$, concentration associée à un niveau de risque de 10^{-5} . L'effet critique pris en compte pour dériver les valeurs court-terme est l'inflammation et la cytotoxicité dans les voies respiratoires et pour la valeur long terme il s'agit d'un effet cancérigène (TCEQ 2009, 2020a). La TCEQ développe également des valeurs de comparaison dans le cadre de surveillance de l'air ambiant, appelées AMCVs pour health-based Air Monitoring Comparison Values. Dans le cas de la silice cristalline, les AMCVs sont identiques aux ReV.

L'étude sur les émissions canalisées (Ehrlich *et al.* 2013) transmise par le CEN rapporte une valeur limite d'émission (VLE) de $1 \text{ mg}/\text{m}^3$ établie en Allemagne.

Dans l'une des études transmises par le RIVM (PreventPartner 2021), les résultats de mesure ont été comparés à la valeur limite environnementale de l'Etat du Vermont de $0,12 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tandis que dans une autre étude (NANOCONSULT 2023), les résultats ont été comparés à une valeur limite en milieu professionnel établie aux Pays-Bas et qui correspond à un niveau de risque maximum autorisé en milieu professionnel (MTR) de $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

L'ensemble des valeurs guides ou sanitaires de référence identifiées dans le cadre de cette consultation internationale est présenté dans le Tableau 6.

4.2.1.3 Les données d'exposition environnementales à la silice cristalline et les évaluations de risque sanitaire réalisées dans les différents pays :

Le TCEQ a réalisé une campagne de mesure de silice cristalline à proximité de sites de production de granulats (APO : Aggregate Production Operations). Les résultats finaux ne sont pas encore disponibles mais à ce stade des premiers éléments sont fournis dans un rapport intermédiaire (TCEQ 2023). La durée totale de l'étude est d'au moins une année avec un démarrage en juin 2022 et les prélèvements ont été répartis sur 4 sites, dont 3 à proximité d'APO ($\approx 1,6 \text{ km}$) et un site témoin à proximité d'un axe routier. Des activités de concassage de roche, de découpe de pierre ou de mélange de ciment et mélange d'asphalte avaient lieu en fonction des sites. Les prélèvements étaient réalisés sur 24h avec une fréquence d'un jour sur 3 pour les sites à proximité d'APO et d'un jour sur 6 pour le site témoin. Pour les sites à proximité d'APO, un point était localisé en aval sous le vent et un point était localisé à distance pour mesurer le bruit de fond. La silice cristalline a été déterminée dans la fraction PM_4 en appliquant la méthode décrite dans la revue de J. Richards et Brozell (2021) avec des échantillonneurs de $\text{PM}_{2,5}$ dont le débit est adapté. La concentration totale en $\text{PM}_{2,5}$ est également évaluée. Le débit est fixé à $11,11 \text{ L}/\text{min}$ pour les PM_4 et à $16,67 \text{ L}/\text{min}$ pour les $\text{PM}_{2,5}$. Une collecte des données météorologiques est réalisée pour chaque site. L'analyse de la silice cristalline est réalisée par DRX et les limites de détection sont fournies : silice cristalline $\text{PM}_4 = 0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$; PM_4 totale = $3,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$; $\text{PM}_{2,5}$ totale = $5,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En termes de résultats, les concentrations en silice cristalline les plus élevées sont constatées pour le 3^{ème} site pour lequel une proximité étroite avec plusieurs carrières d'extraction de sable est notée ainsi qu'avec un axe routier. Pour autant, les concentrations en silice cristalline dans les PM_4 pour l'ensemble des sites sont bien inférieures à la valeur limite court-terme AMCV à ne pas dépasser sur 24 heures fixée à $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Les auteurs concluent qu'il n'est donc pas attendu que l'exposition à ces niveaux de concentrations provoque des effets néfastes à court terme sur la santé. Il est précisé que ce rapport n'est pas définitif et qu'il est nécessaire d'acquérir des données sur une période plus longue, une année minimum, afin d'évaluer les risques chroniques. De la même manière, les auteurs précisent que lorsque suffisamment de données auront été collectées, des analyses seront réalisées afin de déterminer si les mesures

de PM_{2,5} peuvent être utilisées comme un indicateur potentiel des niveaux de silice cristalline PM₄, en fonction du type d'installation à proximité.

Les rapports de surveillance de l'air ambiant pour la silice cristalline dans le secteur de la production de granulats fournissent des données pertinentes concernant les concentrations en silice cristalline à proximité de ces sites de production. Les résultats préliminaires révèlent des teneurs en silice cristalline dans les PM₄ entre 2 à 10 % et, dans le cas du site avec les concentrations les plus élevées, des taux dépassant les 20 %. A noter que ce site est celui qui se situe à proximité à la fois d'un site de production de granulats et d'un axe routier. Une limite pour ces travaux est que le site témoin est également localisé à proximité d'un axe routier, donc influençant potentiellement les concentrations retrouvées en silice cristalline.

Le RIVM a transmis trois rapports¹⁴ d'études d'évaluation des risques sanitaires documentant les concentrations en silice cristalline mesurées à proximité de sites exposés à des poussières dont de la poussière de silice.

Le premier rapport (RPS 2019) a été réalisé en 2019 par une entreprise de conseil et ingénierie (RPS) à la demande de la municipalité de Renkum au Pays-Bas. L'étude avait pour objectif d'évaluer les niveaux de poussières et de quartz alvéolaire dans une zone de route semi-goudronnée à Renkum. Deux campagnes de mesures ont été menées pour répondre à cet objectif (3 au 10 Septembre 2019 et 12 au 20 Septembre 2019) au niveau de trois stations de mesure (une station de chaque côté de la route (côté maison et côté prairie) et une station de référence proche d'une ferme éloignée de la route).

Les échantillons ont été prélevés, sur une durée d'environ une semaine, à l'aide d'un cyclone qui prélève spécifiquement la fraction alvéolaire (5 µm) sur une membrane en esters de cellulose mixtes. La membrane a été analysée par spectrométrie IRTF pour détecter la présence de quartz conformément au protocole NIOSH 7602. Des données météorologiques (température, direction et vitesse du vent, humidité, précipitation) durant les campagnes de mesures ont également été récoltées.

Lors de la première campagne de mesures, les concentrations en quartz alvéolaire étaient : < 0,05 µg/m³ sur la station côté prairie, < 0,01 µg/m³ sur la station côté maison, et < 0,05 µg/m³ sur la station référence. Lors de la deuxième campagne de mesures, les concentrations en quartz alvéolaire étaient toutes < 0,04 µg/m³ sur les trois stations.

Les auteurs du rapport ont conclu que toutes les concentrations en quartz mesurées lors des deux campagnes étaient inférieures à la limite de quantification et qu'il n'y avait pas de différence entre la mesure de référence et les mesures effectuées sur les côtés de la route. Les auteurs, du fait de n'avoir pas quantifié de quartz, considèrent que les risques possibles pour la santé dus à l'exposition au quartz pendant les périodes mesurées sont très faibles. Comme la campagne de mesures a été réalisée pendant une période relativement humide, les auteurs recommandent de mener une campagne pendant la période sèche prolongée au printemps et en hiver pour évaluer l'exposition potentiellement la plus élevée aux particules et au quartz.

Le deuxième rapport (PreventPartner 2021) a été réalisé en Décembre 2021 par une coopérative de consultants en médecine préventive du travail (PreventPartner) à la demande

¹⁴ Les trois rapports transmis sont en langue néerlandaise et ont été traduits en langue française pour cette expertise en utilisant l'outil de traduction DeepL.

de ProRail¹⁵. L'étude avait pour objectif d'évaluer les risques sanitaires des résidents, voyageurs et employés de ProRail liés à l'exposition à la poussière de quartz alvéolaire dans le cadre des activités de brassage du ballast lors de l'entretien et de la rénovation des voies ferrées. Pour répondre à cet objectif une estimation par un modèle de la concentration en quartz alvéolaire pour différents groupes d'exposés et dans différents scénarios d'exposition a été réalisée. Les groupes d'exposés dans un cadre non professionnel étaient constitués par : les voyageurs, les acheteurs (comprenant les employés des magasins de gares et abris à vélos des salariés), les résidents locaux, les passants/spectateurs. Les situations d'exposition étaient les suivantes :

situation 1 : travaux de brassage de ballast dans un tunnel

situation 2 : travaux de brassage de ballast dans une station à proximité des quais

situation 3 : travaux de brassage de ballast à l'extérieur des gares

situation 4 : dépôt temporaire de ballast comme stock pour les travaux.

La concentration en quartz à une certaine distance de la source a été calculée à partir de mesures directes de poussières alvéolaires réalisées lors d'une opération de ballast spécifique, lorsque ces données étaient disponibles ou à partir d'un modèle d'estimation. Le modèle consistait à traduire des données quantitatives issues de rapports d'études en concentration de poussière de quartz alvéolaire par un modèle de calcul de la dispersion du panache incorporé dans la feuille de calcul IHMOD_2_0.xlsm¹⁶. L'exposition non professionnelle était exprimée en concentration annuelle moyenne de quartz alvéolaire et la valeur limite choisie pour estimer les risques était celle de la norme moyenne de l'Etat du Vermont aux Etats-Unis de 0,12 µg/m³. Pour déterminer les risques d'exposition aux poussières de quartz, les hypothèses les plus pessimistes ont été choisies telles qu'une distance la plus faible par rapport à la source, une fréquence et durée d'exposition les plus élevées, une estimation se basant sur une teneur en quartz la plus élevée et une activité où la concentration serait la plus élevée, hypothèse que l'exposition se fait toujours sous les vents dominants.

La concentration moyenne annuelle en quartz alvéolaire (totale des quatre situations d'exposition) dans chaque groupes d'exposés dans un cadre non professionnel était :

- clients (dont personnel du magasin/employé du garage à vélos) : 0,001 µg/m³
- voyageurs : 0,058 µg/m³
- résidents locaux : 0,103 µg/m³
- passants : 0,002 µg/m³.

Les auteurs du rapport ont conclu que l'exposition non professionnelle au quartz alvéolaire restait inférieure à la norme de l'Etat du Vermont de 0,12 µg/m³. Les auteurs ont également conclu que les activités de brassage du ballast n'entraînaient pas d'exposition significative à la poussière de silice alvéolaire chez les tiers et qu'en conséquence, aucun effet sur la santé n'était attendu dans ces groupes exposés.

Le troisième rapport (NANOCONSULT 2023) concerne une étude réalisée par une entreprise de conseil en sciences médicales (NANOCONSULT) à la demande de l'entreprise EMO BV qui est une entreprise de stockage et de transbordement de produits vrac, en particulier, des

¹⁵ Prorail : organisme public néerlandais chargé de la gestion de l'infrastructure ferroviaire national.

¹⁶ IHMOD est un outil de modélisation mathématique développé par L'American Industrial Hygiene Association (AIHA), <https://www.aiha.org/public-resources/consumer-resources/apps-and-tools-resource-center/aiha-risk-assessment-tools/ihmod-tool>) et traduit en français par l'INRS.

marchandises sèches en vrac (ex : charbon, minerais, sable (olivine), coke de pétrole, granit et biomasse propre). L'étude avait pour objectif de mesurer les concentrations en particules sur le site de EMO BV/OMU, à la fois sur le lieu de travail et dans les zones résidentielles environnantes, afin de cartographier l'exposition des travailleurs et des résidents locaux. La silice cristalline a également été mesurée dans les particules collectées. Les zones résidentielles environnantes sont situées dans la ville de Hoek van Holland et à Oostvoorne.

Les particules alvéolaires et inhalables ont été prélevées sur une durée de 8 heures. Sur le site de EMO BV/OMU, des prélèvements à poste fixe au niveau de 5 points ont été réalisés, ainsi que des prélèvements individuels pour prendre en compte 6 tâches différentes. Des prélèvements à points fixes ont également été effectués dans les deux zones résidentielles. Les prélèvements sur site et dans les zones résidentielles ont été réalisés pendant trois jours différents au cours de trois semaines consécutives en novembre – décembre 2022. La silice cristalline alvéolaire a été déterminée conformément à la norme NIOSH 7602 (cyclone prélevant la fraction alvéolaire puis analyse par IRTF) avec une limite de détection de 1 µg.

La concentration moyenne en silice cristalline alvéolaire est de 0,309 µg/m³ (range : 0,001 – 1,207) pour les mesures stationnaires sur le site OMU, et de 0,71 µg/m³ (range : 0,33 – 1,34) pour les mesures individuelles.

Concernant les mesures au niveau des zones résidentielles, celles-ci sont inférieures aux concentrations mesurées sur le site. La concentration moyenne en silice cristalline alvéolaire (\pm écart-type) mesurée sur la station de Hoek van Holland était de 0,042 \pm 0,038 µg/m³, avec une concentration mesurée de 0,073 µg/m³ sur la première semaine de mesure, 0,054 µg/m³ sur la deuxième semaine, et 0,052 µg/m³ sur la troisième semaine. La silice cristalline était non détectable sur la station de Oostvoorne. Les auteurs du rapport indiquent qu'il n'y a pas de valeur limite réglementaire pour les particules inhalables et alvéolaires dans l'air ambiant aux Pays-Bas mais un niveau de risque maximum autorisé en milieu professionnel (MTR) de 8 µg/m³ a été pris comme seuil pour évaluer les risques dans cette étude. Les auteurs ont conclu que même dans les zones résidentielles, les concentrations de particules et les quantités de substances extrêmement préoccupantes (dont la silice cristalline) sont bien inférieures au MTR. Les auteurs indiquent que ces résultats confirment les calculs des modèles précédents et remettent en question l'approche actuelle d'analyse des risques du DCMR¹⁷ concernant les substances extrêmement préoccupantes. En effet, le risque sanitaire dû à l'exposition dans les zones résidentielles reste bien inférieur au MTR. Les auteurs indiquent également que des recherches parallèles montraient que les données du réseau interne de surveillance des poussières de l'EMO pouvaient être utilisées pour décrire raisonnablement l'exposition à Hoek van Holland et que ces données étaient utiles pour l'atténuation des risques à l'avenir.

Les données issues de ces trois études renseignent des concentrations en silice cristalline au niveau des habitations voisines de trois sites d'activités émettrices de silice cristalline (voie ferrée, route, industrie de stockage). Les concentrations variaient entre 0,001 µg/m³ et 0,1 µg/m³. Plusieurs limites peuvent être soulevées dans ces trois études notamment : le manque de précision dans la stratégie de prélèvement, la méthode d'analyse et la limite de quantification ; le faible nombre d'échantillons. Les valeurs limites choisies pour comparer les résultats sont également différentes entre les études (valeur limite environnementale de l'Etat du Vermont de 0,12 µg/m³ dans l'étude de PreventPartner (2021) et niveau de risque

¹⁷ DCMR : Agence pour la protection de l'environnement est l'agence environnementale commune de la province de Hollande méridionale et de treize municipalités de la région de Rijnmond.

maximum autorisé en milieu professionnel (MTR) de 8 µg/m³ pour l'étude de NANOCONSULT (2023)), et le choix de ces valeurs n'est pas toujours justifié par les auteurs.

4.2.1.4 Conclusion

En conclusion, peu de données de concentration en silice cristalline en environnement ont été collectées dans le cadre de cette consultation. Les seules données reçues proviennent d'études fournies par le RIVM et par le TCEQ. Ces études portent sur différents types d'activités émettrices (route, voie ferrée, industrie de stockage, sites de production de granulats). Les concentrations mesurées varient entre 0,001 µg/m³ à environ 7 µg/m³. Les méthodes de prélèvement de la silice cristalline en environnement varient entre les études, les méthodes d'analyse quant à elles sont l'IR ou la DRX. Concernant les fractions dans laquelle la silice cristalline a été prélevée, il s'agit des PM₄ ou de la fraction alvéolaire. On peut donc constater qu'il n'y a pas de méthode de mesure standardisée de la silice cristalline en environnement quel que soit le pays. Enfin, les données issues de cette consultation renseignent également des valeurs sanitaires en environnement que ce soit pour une exposition chronique ou une exposition à court terme. Certains organismes (MDH et TCEQ) ont établi les valeurs et la TCEQ utilise les valeurs qu'ils ont établi pour comparer les résultats obtenus dans le cadre de leur étude et évaluer les risques sanitaires. D'autres organismes (CARB, RIVM) choisissent des valeurs limites existantes définies en environnement ou en milieu professionnel pour comparer les résultats de leurs études, mais le choix de ces valeurs n'est pas justifié par les auteurs. Ainsi, de même que pour les publications scientifiques, les données issues de cette consultation internationale ne sont pas suffisantes pour réaliser une évaluation des risques chez les populations riveraines de sites d'activités émettrices de silice cristalline.

Tableau 5 : Synthèse des informations transmises au cours de la consultation internationale

Organisme	Fraction prélevée	Méthode de prélèvement et d'analyse de la silice cristalline	Données de concentrations en silice cristalline	Comparaison à des valeurs sanitaires de référence en environnement	Etablissement de valeurs sanitaires en environnement
CARB	Pas d'information transmise	Pas d'information transmise	Pas d'information transmise	Valeur limite de l'OEHHA de 3 µg/m ³	Non
TCEQ	PM ₄	Adaptation des échantillonneurs pour PM _{2,5} (Méthode de référence fédérale – FRM Federal Reference Method) pour collecter les PM ₄ + Analyse par DRX	Toutes < 5 µg/m ³ (sauf sur un site, environ 7 µg/m ³)	Non	AMCVs (pour health-based Air Monitoring Comparison Values) : court-terme (1h) à 47 µg/m ³ , court-terme (24h) à 24 µg/m ³ et long terme à 0,27 µg/m ³
NIOSH	Fraction alvéolaire	NIOSH 7500, NIOSH 7602, NIOSH 7601 (milieu professionnel)	Pas d'information transmise	Non	Non
NIEHS	Pas d'information transmise	Préleveur d'aérosol en continu TSI SidePak [AM510] + IRTF ou DRX	Pas d'information transmise	Non	Non
MDH	PM ₄	Echantillonneur BGI PQ100 (MesaLabs)	Pas d'information transmise	Non	Air quality chronic health-based value de 3 µg/m ³
RIVM	Fraction alvéolaire	Norme NIOSH 7602 (DRX ou IR) ; modélisation (outil IHMod)	Entre 0,001 et 0,1 µg/m ³	Niveau de risque maximum (MTR) en milieu professionnel de 8 µg/m ³ établie aux Pays-Bas	Non
CEN	PM ₄	Référence VDI 2066 BLATT 11 figurant dans le Manuel VDI/DIN (impaction + IR ou DRX)	Pas d'information transmise	Valeur limite d'émission de 1 mg/m ³ (émissions canalisées)	Non

CARB : California Air resources board (en français, Conseil des ressources atmosphériques de Californie) ; TCEQ : Texas Commission on Environmental Quality (en français, Commission texane sur la qualité environnementale) ; NIOSH : National Institute for Occupational Safety and Health (en français, Institut national pour la sécurité et la santé au travail) ; NIEHS : National Institute of Environmental Health Sciences (en français, Institut national des sciences de la santé environnementale) ; MDH : Minnesota department of health (en français, Ministère de la Santé du Minnesota) ; RIVM : Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (en français, Institut national de la santé publique et de l'environnement) ; CEN : Comité européen de normalisation ; DRX : Diffraction des rayons X ; IR : infra-rouge ; IRTF : infra-rouge à transformée de Fourier.

Tableau 6 : Liste des valeurs sanitaires de référence et valeurs guides établies par des instances nationales identifiées dans le cadre de la consultation internationale (source : adapté de (TCEQ 2020b))

État	Organisme	Concentration en silice cristalline (pour les différentes formes quand précisé, en µg/m ³)	Durée	Fraction mesurée
Californie	California Environmental Protection Agency's	3	Chronique	PM ₄
Idaho	Department of Environmental Quality	2,5 (cristobalite, tridymite) 5 (quartz, tripoli)	24 heures	Non précisée
Indiana	Indiana Department of Environmental Management	3,1 (valeur de qualité de l'air intérieur)	Chronique	PM ₄
Maryland	Maryland Department of the Environment	0,25	Chronique	PM ₄
Michigan	Department of Environment, Great Lakes, and Energy	3,0	Chronique	PM ₄
Minnesota	Pollution Control Agency	3,0	Chronique	PM ₄
New Hampshire	Department of Environmental Services	0,060	Chronique – cancérogène	PM ₄
New Jersey	Department of Environmental Protection	3,0	Chronique	PM ₄
New York	Department of Environmental Conservation	2,0	Chronique	PM ₄
North Dakota	Department of Environmental Quality	0,5 (valeur guide de concentration)	8 heures	PM ₄
Oregon	Department of Environmental Quality	3 (provisoire)	Chronique	PM ₄
Texas	Texas Commission on Environmental Quality	0,27	Chronique – cancérogène	PM ₄
Texas	Texas Commission on Environmental Quality	24	Court terme (24h)	PM ₄
Texas	Texas Commission on Environmental Quality	47	Court terme (1h)	
Vermont	Department of Environmental Conservation	0,12	Chronique	Non précisée
Virginia	Department of Environmental Quality	3	Chronique – cancérogène	Alvéolaire
Washington	Department of Ecology	3	Chronique	Alvéolaire

4.2.2 Synthèse des informations transmises lors de la consultation nationale

Comme indiqué dans le paragraphe 3.2.2, un focus sur les données d'exposition environnementale à la silice cristalline plus spécifiques aux situations en France a été réalisé. Aucune donnée française n'a été identifiée dans la littérature scientifique. Les seules données identifiées sont issues de la littérature grise et correspondent à une étude conduite par ATMO Nouvelle-Aquitaine (ATMO NA. 2020).

Etude de ATMO Nouvelle-Aquitaine sur l'impact du ré-envol des poussières de terre battue des terrains de tennis

L'étude conduite par ATMO Nouvelle-Aquitaine en 2020 (ATMO NA. 2020) avait pour objectif de mesurer les poussières au niveau des habitations de certains riverains résidant à proximité d'un Tennis Club. Il s'agit de la deuxième campagne où les mesures ont été élargies aux PM₁₀, PM_{2,5} et silice cristalline en air ambiant et en air intérieur chez des riverains, tandis que lors de la première campagne, seules les poussières totales en suspension ont été mesurées au niveau des jardins des trois habitations dans la zone d'intérêt. Cette deuxième campagne de mesures s'est déroulée sur la période du 7 juillet au 5 août 2020.

Une partie des mesures a été réalisée en air ambiant et d'autres en air intérieur chez des riverains volontaires. En air ambiant, 5 stations de mesure ont été sélectionnés pour la campagne dont 3 à proximité des terrains de tennis dans les jardins de riverains (identiques à la 1^{ère} campagne), une autre à l'entrée du chemin menant au Tennis Club et une dernière éloignée de l'influence du Tennis Club pour servir de témoin (identique à la 1^{ère} campagne). Les distances entre les stations de mesure et le Tennis Club étaient de 550 m (témoin), 40 m (jardins), et 30 m (entrée du chemin). La silice cristalline a été prélevée au niveau de la station à l'entrée du chemin menant au Tennis Club uniquement, où un laboratoire mobile a été placé. Un filtre d'un préleveur bas volume type Leckel a été utilisé pour le prélèvement dans la fraction PM_{2,5} de la matière particulaire en suspension. Les auteurs indiquent qu'il a été choisi de mesurer les PM_{2,5}, plus petites que les PM₁₀, qui correspondent à la fraction « alvéolaire » sur laquelle porte la VELP. Le prélèvement a duré une semaine répété 4 fois.

En air intérieur, deux stations de mesure ont été choisies chez deux riverains volontaires. L'appareil de prélèvement a été placé dans le salon/cuisine à 45m de distance du Tennis Club. Un préleveur actif bas volume de type Microvol a été utilisé. Le prélèvement a duré une semaine répété 2 fois. La silice cristalline a ensuite été analysée par DRX (NF X 43-296).

D'autres données ont été collectées durant la période de mesure dont la direction et la vitesse des vents ainsi que la précipitation, au niveau de la station Météo-France proche du site. Durant la campagne, les habitations ont été exposées à des vents en provenance du Tennis Club (vent O-N-O, 87% des vents étaient faible à modéré (2 à 8 m/s) et 9% étaient des vents forts (<8 m/s)). Des précipitations ont eu lieu pendant la campagne.

En termes de résultats, en air ambiant, parmi les 3 polymorphes de silice cristalline, seul le quartz a été détecté. Les concentrations en quartz sur les 4 semaines de mesure allaient de 0,03 µg/m³ à 0,1 µg/m³. Les concentrations en cristobalite étaient toutes inférieures à la limite de quantification (< 0,03 µg/m³), tandis la tridymite n'était pas détectée. En air intérieur, sur l'ensemble des mesures, les concentrations en quartz et en cristobalite étaient toutes inférieures à la limite de quantification (0,15 µg/m³ et 0,26 µg/m³ respectivement).

L'étude de ATMO Nouvelle-Aquitaine renseigne des données d'exposition à la silice cristalline de riverains à proximité de terrains de tennis en terre battue avec des niveaux de concentrations relativement faibles.

4.2.3 Etudes menées par les fédérations professionnelles MIF et UNPG sur l'évaluation de la silice cristalline alvéolaire autour de carrières

Comme indiqué dans l'objet de la saisine (cf paragraphe 1.2), un rapport de l'étude commanditée par les fédérations professionnelles des industries de carrières en France (EVADIES, MIF et UNPG 2022a, 2022b, 2022c) a été transmis à l'Anses. Une audition des représentants des fédérations professionnelles a été menée afin d'avoir des précisions sur les éléments rapportés dans le rapport d'étude.

Des campagnes de mesures de silice cristalline alvéolaire autour de cinq carrières ont été réalisées en 2022. L'objectif était d'apporter des éléments de réponse aux questions suivantes :

- Quels sont les niveaux en silice attendus dans des conditions pénalisantes en limite de périmètre et au niveau des zones habitées proches ?
- Quelle est la part de l'activité des carrières dans les poussières de silice ?
- Quelle est la proportion de silice dans les différentes fractions granulométriques ?
- Quelle est la fraction granulométrique à retenir dans le cadre du suivi de la silice ?
- Quelle est la durée des prélèvements à utiliser pour permettre la représentativité de la mesure ?
- Peut-on identifier et valider des alternatives métrologiques (stratégies de mesures et de prélèvements, équipements de mesures et de prélèvements) reconductibles dans le cadre des dossiers d'autorisation ?

Les paragraphes ci-dessous présentent une synthèse de ce rapport d'étude incluant le plan d'échantillonnage et les résultats de mesures de la silice cristalline obtenus sur chaque site ainsi qu'une discussion des limites par rapport à l'interprétation des résultats de l'étude.

4.2.3.1.1 Organisation des campagnes de mesures de silice cristalline dans les carrières

Trois des cinq sites investigués sont des producteurs de granulats (2 d'extraction de roches massives et 1 site alluvionnaire) et les deux autres sont des producteurs de minéraux industriels (1 de sables, kaolin, mica et granite/quartz et 1 de sables et quartzite). Ces deux derniers sites ont été intégrés à l'étude car ils disposaient de données de mesure de concentration en silice cristalline dans les PM₁₀ obtenues dans le cadre de leur demande d'autorisation d'extension de l'exploitation (réglementation relative aux ICPE), tandis que les trois autres ont été instrumentés spécifiquement pour l'étude.

A propos de la sélection des sites investigués, plusieurs éléments sont rapportés dans le rapport d'étude qui ont été complétés au cours des auditions ainsi que par une note transmise par l'UNPG et MIF. Les sites sélectionnés devaient présenter une exposition avérée à la silice cristalline pour le personnel mais également une configuration topographique (ex : proximité, exposition aux vents dominants) et une influence climatique qui engendraient des risques pour les populations riveraines de ces sites. Par ailleurs, la taille et la production des sites devaient correspondre à la moyenne des sites français. Pour les minéraux industriels, les deux sites

ont été volontaires et présentaient également une exposition avérée à la silice cristalline pour le personnel en raison de la nature des minéraux exploités (sables et quartzite (575Kt/an) et granite associé à des argiles, des micas et des sables de quartz (500 Kt/an).

Pour les granulats spécifiquement, trois sites ont été sélectionnés sur la base des réponses à un questionnaire administré à 328 carrières (représentant 1/3 de la production totale). Cette sélection a été réalisée après tri des données, discussions avec les professionnels et accord des services du ministère de la transition écologique.

Les critères suivants étaient renseignés dans le questionnaire :

- Caractéristiques des sites : localisation, production annuelle, type d'extraction, typologie des installations de traitement
- Typologie des gisements : nature des roches exploitées
- Exposition du personnel : nombre de groupes d'exposition homogènes (GEH) à risque non faible, % de risque, GEH le plus exposant
- Surveillance environnementale : identification des dépassements dans les jauges, distance du premier riverain par rapport à la limite de la carrière.

Le Tableau 7 ci-dessous présente les caractéristiques principales des trois sites sélectionnés ainsi que sur l'ensemble des 328 carrières incluses dans l'enquête.

Tableau 7 : Caractéristiques des trois sites producteurs de granulats sélectionnés

Carrière	Production annuelle (tonnes/an)	Nature de roche exploitée	Distance du 1 ^{er} riverain en limite de la carrière (mètre)	Comparateur*
Site n°1 - granulats	400 000	Mylonite	280 (sous les vents dominants)	2 sites de mylonite (dont le site n°1) Production entre 200 000 et 400 000 t/an Distance : 280 et 509 m
Site n°2 - granulats	400 000	Alluvions	20 (sous les vents dominants)	154 sites d'alluvions (dont le site n°2) Production entre 3 400 et 1 800 000 t/an (moyenne = 276 895 et médiane = 180 000) Distance : entre 5 et 3 500 m
Site n°3 - granulats	250 000	Quartzite	65 (sous les vents dominants)	5 sites de quartzite (dont le site n°3) Production entre 100 000 et 1 800 000 t/an (moyenne = 614 000 et médiane = 250 000) Distance : entre 50 et 150 m
Ensemble des 328 carrières de l'enquête	Entre 1 400 et 2 000 000 (production totale : 98 millions ; production médiane : 200 000 ; production moyenne : 304 724 ; 2 sites renseignent 0t de production)	Mylonite (2 sites) Alluvions (154 sites) Quartzite (5 sites) Autres natures (le reste des sites)	Entre 5 et > 3 500 (localisation sous vent dominant non précisée)	

*Comparateur : nombre de sites avec nature de roche exploitée similaire au site concerné, gamme de production annuelle associée en tonnes/an et gamme de distances du 1^{er} riverains.

Sur chaque site, une zone d'influence potentielle de la carrière a été définie sur un rayon de 2 km centré sur la carrière, avec 3 stations de mesure représentant 3 situations :

- 1) Station en limite d'autorisation sous les vents dominants
- 2) Station à proximité des riverains les plus proches (environnement humain) sous les vents dominants
- 3) Station représentative de l'Environnement Local Témoin à l'abri des vents dominants.

Cette disposition des prélèvements est illustrée en Figure 2, reprise et adaptée depuis le rapport d'étude des fédérations professionnelles.

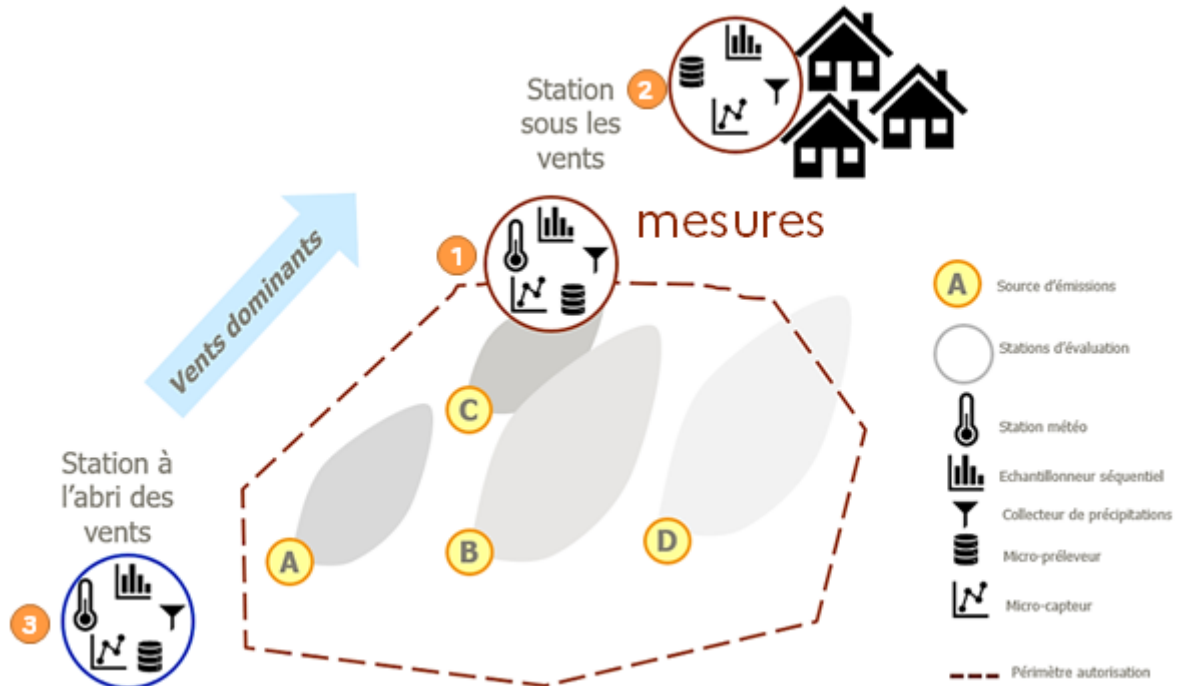


Figure 2 : Stratégie spatiale de mesures (source : (EVADIES, MIF et UNPG 2022a))

De multiples paramètres ont été suivis sur deux saisons différentes pendant 2 à 10 semaines en fonction des sites entre 2018 et 2021. Ces informations sont synthétisées dans le Tableau 8, repris et adapté du rapport d'étude. De multiples préleveurs ont été mis en place pour mesurer les poussières (PM_{10}) et les poussières fines ($PM_{2,5}$). Après prélèvement, les $PM_{2,5}$ et PM_{10} ont notamment été évaluées par mesurage gravimétrique en respectant la norme NF EN 12341 (2014)¹⁸ et les différents polymorphes (quartz, cristobalite et tridymite) de la silice cristalline analysés par DRX à partir des filtres PVC. Les limites de quantification sont précisées pour l'analyse de la silice cristalline dans les PM_{10} et les $PM_{2,5}$: 4 μg pour le quartz et 7 μg pour la cristobalite. L'analyse de la silice cristalline a été réalisée sur l'ensemble des prélèvements hebdomadaires mais uniquement sur une sélection de certains prélèvements journaliers en raison des coûts analytiques. La sélection a été effectuée en tenant compte des taux d'exposition journaliers des stations, des concentrations journalières mesurées et de l'activité de la carrière (incluant les jours où des tirs de mine étaient réalisés).

A noter une exception pour les sites de minéraux industriels pour lesquels il n'y a pas eu de station en limite d'autorisation ni de mesure des $PM_{2,5}$, mais par contre une seconde station à proximité des riverains. Ces différences sont contextuelles liées aux demandes d'extension pour ces sites.

¹⁸ (NF EN 12341 (Juin 2014) : Air ambiant - Méthode normalisée de mesurage gravimétrique pour la détermination de la concentration massique PM_{10} ou $PM_{2,5}$ de matière particulaire en suspension)

Tableau 8 : Synthèse de la stratégie de mesure de la silice cristalline dans les 5 sites de carrières

Sites	Paramètres mesurés			Stations de mesure		
	PM ₁₀	PM _{2,5}	Silice cristalline	Périmètre d'autorisation	Riverains	Témoin
Site n°1 - granulats	X	X	X	1	1	1
Site n°2 - granulats	X	X	X	1	1	1
Site n°3 - granulats	X	X	X	1	1	1
Site n°4 - minéraux	X		X		2	1
Site n°5 - minéraux	X		X		2	1

4.2.3.1.2 Synthèse des résultats de mesure de la silice cristalline sur les cinq sites de carrières et conclusion

Le Tableau 9 ci-dessous présente les concentrations moyennes en silice cristalline sur les deux campagnes de mesure dans les PM₁₀ et dans les PM_{2,5}. Dans les PM₁₀, sur les stations en limite d'autorisation dans les trois sites de granulats, les concentrations moyennes en silice cristalline vont de 16,59 µg/m³ à 1,67 µg/m³ avec une teneur en quartz de 23 % à 10 %. Sur les stations à proximité des riverains des cinq sites, les concentrations vont de 1,11 µg/m³ à 0,34 µg/m³ avec une teneur en quartz de 8 % à 2 %. Un gradient de concentration est observé entre les stations en limite d'autorisation et les stations à proximité des riverains et témoins, sur ces deux dernières les niveaux de concentration sont proches. Sur les stations témoins des cinq sites, les concentrations vont de 0,65 µg/m³ à 0,32 µg/m³ avec une teneur en quartz de 4 % à 3 %. Dans les PM_{2,5}, où seuls les trois sites producteurs de granulats disposaient de mesure de la silice cristalline, les concentrations moyennes vont de 11,34 µg/m³ à 0,25 µg/m³ sur les stations en limite d'autorisation avec une teneur en quartz de 28 % à 7 % ; de 0,22 µg/m³ à 0,11 µg/m³ sur les stations à proximité des riverains avec une teneur en quartz de 1 % à 4 % ; et de 0,15 µg/m³ à 0,06 µg/m³ sur les stations témoins avec une teneur en quartz de 1 % à 3 %.

Tableau 9 : Résultats de mesures de la silice cristalline en moyenne sur les deux campagnes de mesures dans les PM₁₀ et PM_{2,5} sur les 5 sites de carrières

site	Site n°1 - granulats			Site n°2 - granulats			Site n°3 - granulats			Site n°4 - minéraux			Site n°5 - minéraux				
localisation	LA	R	T	LA	R	T	LA	R	T	LA	R	T	LA	R	T		
N jours de mesure	53			38			38			26			13				
Distance au site (m)	0	280	480	0	250	600	0	400	1300		800	1000	2300		500	190	1100
Taux d'exposition des capteurs sous le vent (v > 1,5 m/s) (% de temps)	33,5	27,8	11,8	31,1	2,2	5,9	19,6	14,3	2		10,7	36,2	4		19,1	10,5	12,9
Concentration moyenne en silice cristalline dans les PM ₁₀ (µg/m ³)	16,59	1,11	0,46	1,67	0,5	0,32	5,08	0,47	0,41		0,34	0,63	0,60		0,57	0,83	0,65
Concentration moyenne en silice cristalline dans les PM _{2,5} (µg/m ³)	11,34	0,22	0,13	0,25	0,11	0,06	0,62	0,11	0,15								
Teneur en quartz dans les PM ₁₀ (%)	23	8	4	10	4	3	21	4	3		1,8	2,9	3,7		3,1	3,8	2,8
Teneur en quartz dans les PM _{2,5} (%)	28	4	3	11	2	1	7	1	2								
LA : Limite d'autorisation ; R : Riverains ; T : témoins Les valeurs inférieures à la limite de quantification ont été considérées comme étant égales à la limite de quantification divisée par 2.																	

Une évaluation des risques sanitaires a également été réalisée dans le cadre de cette étude où un quotient de danger (QD) a été estimé pour chacun des sites en utilisant la valeur toxicologique de référence (VTR) dérivée par l'OEHHA (2005) de $3\mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM_{10} (effet critique silicose) et les concentrations moyennes inhalées en silice cristalline dans les PM_{10} et dans les $\text{PM}_{2,5}$. L'estimation du risque a été réalisée en considérant les hypothèses majorantes suivantes :

- les individus sont exposés 100 % du temps aux seules concentrations (fraction de temps $T_i = 1$) ;
- l'ensemble des individus exposés aux émissions de la carrière restent à proximité de leur domicile tout au long de l'année ($F = 1$) ;
- en l'absence de données sur le taux de pénétration de la silice, il est supposé que leur concentration dans l'air (paramètre C_i) des milieux est la même que celle obtenue à l'extérieur.

La formule pour estimer le QD est la suivante :

$$QD = \frac{CI}{VTR} \text{ où } CI = \frac{\sum (C_i \times T_i) \times Ef}{24 \times 365}$$

Sur chaque site, les QD estimés à partir des concentrations moyennes inhalées mesurées dans les stations au niveau des habitations et dans les stations témoins sont tous inférieurs à 1.

Ainsi, les auteurs du rapport concluent que : « sur l'ensemble des mesures, les concentrations en silice mesurées au niveau des habitations les plus proches ne contribuent pas à l'apparition d'un risque pour la santé des populations, le quotient de danger étant inférieur à 1. Ce constat est valable pour les mesures effectuées sur PM_{10} comme sur les $\text{PM}_{2,5}$. Il y a une décroissance importante et rapide des concentrations en silice cristalline entre les limites des sites et les riverains. La décroissance est généralement beaucoup plus rapide que celle observée pour le paramètre PM_{10} . La comparaison des valeurs observées sur les stations 2 et 3 [NDLR : station 2 correspond à la station au niveau des habitations et station 3 à la station témoin] montre que les concentrations sont relativement proches les unes des autres tant sur les concentrations que sur la composition des particules. Le quartz est mieux représenté dans les PM_{10} que dans les $\text{PM}_{2,5}$ dans l'environnement des sites. En limite d'autorisation (station 1), cela peut s'inverser mais les écarts ne sont pas significatifs. Ainsi, la mesure de silice cristalline alvéolaire semble plus appropriée sur la fraction granulométrique PM_{10} ».

4.2.3.1.3 Discussion

Cette étude remplit la majorité des critères de qualité méthodologiques définis dans la grille de lecture, notamment la stratégie spatiale (description détaillée de chaque site, distance par rapport au site et au cible, critères météorologiques dont vitesse des vents, nombre de prélèvements) et la métrologie (stratégie de prélèvements et de mesures ainsi que la limite de quantification et le traitement des données en dessous de la limite de quantification).

La principale limite est la représentativité des cinq carrières investiguées dans cette étude par rapport à l'ensemble des carrières en France : en 2015¹⁹, environ 3200 carrières de granulats en activités et environ 496 carrières de minéraux industriels en activités (Anses 2019). Selon

¹⁹ Informations issues de l'étude filière réalisée dans le cadre de l'expertise Anses de 2019 sur la silice cristalline (source : Mineralinfo.fr, chiffres de l'année 2015). La consultation du site MineralInfo en 2024 renseigne : 2300 carrières de granulats (UNICEM 2018), 485 carrières de roches ornementales et de construction et 511 roches et minéraux industriels (CARMA 2021).

le rapport d'étude et l'audition complémentaire, les cinq sites ont été choisis pour majorer l'exposition à la silice cristalline du personnel et des riverains. Cette sélection a été faite après une enquête des adhérents de l'UNPG permettant de recueillir des informations de 328 carrières sur les caractéristiques des sites, la typologie des gisements, l'exposition du personnel, la surveillance environnementale. Le Tableau 7 ci-dessus montre que les 3 sites de granulats ont une production supérieure à la production médiane mais inférieure à la plus élevée parmi les 328 sites. De même, en terme de type de roche exploitée, les 3 sites ne sont pas non plus représentatifs. Concernant les carrières de minéraux industriels, l'audition a permis de préciser que les minéraux extraits avaient des teneurs en silice cristalline de plus de 90%. De plus, les 1^{ers} riverains en limite de 2 des 3 sites de granulats ne sont pas les plus proches de la source en comparaison des 328 carrières. Toutefois, l'information de la localisation des riverains les plus proches des carrières non retenues dans l'étude par rapport aux vents dominants n'est pas disponible. Ne disposant pas de ces informations pour l'ensemble des carrières en France, il est difficile de faire une comparaison et de juger de la représentativité de ces sites ni de s'assurer du caractère majorant de l'exposition à la silice cristalline allégué par les auteurs. Par ailleurs, le pourcentage de temps de mesure où les capteurs ont été sous le vent de la source lors de la campagne est renseigné (varie de 2 à 36% pour les riverains et 2 à 13% pour les témoins) mais il ne peut pas être comparé à la moyenne annuelle en l'absence de cette information.

D'autres limites méthodologiques ont également été soulevées dont la différence selon les sites de : la stratégie de prélèvement (deux fractions (PM₁₀ et PM_{2,5}) dans les sites de granulats vs une fraction (PM₁₀) dans les sites de minéraux en raison du contexte différent de demande d'autorisation d'extension de l'exploitation), la typologie des points de prélèvements (pas de mesure en limite d'autorisation dans les sites de minéraux), et le nombre de prélèvements (absence de mesures hebdomadaires sur les sites de minéraux, nombre de jours de mesures variant de 13 à 53).

Enfin, concernant l'évaluation des risques réalisée, elle est basée sur des hypothèses majorant le temps d'exposition et la concentration inhalée. Cependant, compte tenu des limites de représentativité indiquées précédemment, il est difficile de confirmer cette affirmation et d'apprécier l'interprétation du résultat de l'évaluation. Une autre limite réside dans le choix de la VTR prise en compte pour l'estimation du risque. A l'heure actuelle, il n'existe pas de consensus sur une valeur de référence environnementale. Deux organismes (OEHHA et TCEQ) ont établi des VTR pour la silice cristalline en air ambiant. L'estimation du risque est basée sur la VTR chronique de l'OEHHA, de 3 µg/m³ en PM₄ (effet critique silicose), valeur couramment citée dans la littérature scientifique. Or la TCEQ a dérivé une VTR dix fois plus faible à 0,27 µg/m³ en PM₄ en prenant en compte l'effet cancérigène de la silice cristalline. Par ailleurs, ces VTR sont établies pour une fraction granulométrique correspondant aux PM₄ et s'approchant de la fraction alvéolaire utilisée en milieu professionnel. Or les concentrations en silice cristalline ont été mesurées dans des fractions granulométriques différentes (PM₁₀ et PM_{2,5}).

De plus, les auteurs ont conclu que « la mesure de silice cristalline alvéolaire semble plus appropriée sur la fraction granulométrique PM₁₀ » du fait d'une teneur en quartz plus importante dans les PM₁₀ que dans les PM_{2,5}. En milieu professionnel, la silice cristalline est prélevée dans la fraction alvéolaire. La fraction PM₄ se rapproche le plus de la fraction alvéolaire en termes de diamètre de coupure, bien qu'elle ne corresponde pas strictement à la fraction alvéolaire qui est définie avec une courbe d'efficacité d'échantillonnage pour différentes tailles de particules. Ainsi, mesurer la silice cristalline dans la fraction PM₁₀ pour évaluer les risques de la population riveraine à la silice cristalline alvéolaire tel que proposé

par les auteurs ne semble pas appropriée. En effet, d'une part, les effets sanitaires de la silice cristalline sont liés à la pénétration et au dépôt des particules de silice cristalline dans les voies aériennes et le poumon qui dépendent notamment du diamètre aérodynamique des particules. D'autre part, les relations dose-réponse ne sont pas basées sur des données d'exposition caractérisées dans la fraction PM₁₀ mais dans la fraction alvéolaire.

Compte tenu de ces limites, les résultats de l'étude commanditée par les fédérations professionnelles ne sont pas suffisants pour réaliser une évaluation des risques pour les riverains de sites d'activité émettrices de silice cristalline. Des éléments supplémentaires de discussions en lien avec cette étude sont rapportées en Annexe 6 à titre informatif.

5 Discussion et conclusion

La mise à jour bibliographique a permis d'identifier quelques nouvelles données de concentration en silice cristalline dans l'air ambiant à proximité d'activités émettrices de silice, en France ou à l'international. Les concentrations observées sont majoritairement inférieures à 20 µg/m³. Les nouvelles études confirment les résultats rapportés dans l'expertise Anses 2019 (cf paragraphe 2.4) avec des concentrations du même ordre de grandeur. La majorité des évaluations de risques sanitaires recensées conclut à une absence de risque pour la population riveraine, mais ces études présentent des limites méthodologiques importantes.

La majorité des études porte sur le secteur des mines et carrières, et très peu sur les autres secteurs d'activités émettrices de silice cristalline (chantiers BTP, axe routier), notamment en France. Aucune donnée sur le secteur agricole, autre secteur d'activités potentiellement émettrices de silice cristalline (Anses 2019), n'a été identifiée dans le cadre de cette expertise.

Le constat émis en 2019, à savoir l'absence de méthode de mesure normalisée de la silice cristalline dans l'air ambiant extérieur est toujours d'actualité (cf paragraphe 2.2). Selon les études, la silice cristalline est mesurée dans les fractions conventionnelles environnementales PM₁₀, PM_{2,5} ou bien dans la fraction PM₄ pour pouvoir prélever une fraction granulométrique proche de la fraction alvéolaire prise en compte en milieu professionnel. L'analyse est réalisée généralement par DRX ou IRTF.

Il est difficile de comparer et d'interpréter les résultats de ces études par rapport aux objectifs de la présente expertise en raison :

- du manque d'informations sur les critères méthodologiques dans certaines publications scientifiques et dans certaines études financées par les exploitants : distance de l'échantillonneur par rapport au site et aux cibles, limites de détection et de quantification et prise en compte des valeurs en dessous de ces limites ; situations choisies comme étant les plus exposantes pour les riverains ;
- du faible nombre de sites investigués et faible nombre d'échantillons prélevés dans la majorité des études ;
- du manque d'informations pour juger de la représentativité des sites étudiés par rapport à l'ensemble des sites en France ;
- de l'hétérogénéité des stratégies de prélèvements, des fractions prélevées et des méthodes d'analyse de la silice cristalline, hétérogénéité liée à l'absence de méthode standardisée pour le prélèvement et l'analyse de la silice cristalline dans l'air ambiant.

Concernant les valeurs sanitaires de référence, il n'y a toujours pas de consensus sur la valeur à considérer pour évaluer les risques sanitaires liés à l'exposition de la population générale à la silice cristalline. Les valeurs guides et les valeurs sanitaires de référence recensées sont élaborées pour des fractions granulométriques différentes (PM₄ ou PM₁₀) et sont pour certaines différentes des fractions dans laquelle la silice cristalline a été mesurée. Pour une exposition chronique, ces valeurs sont de différents ordres de grandeur allant de 0,06 à 3 µg/m³. La méthode de construction de certaines valeurs n'est pas suffisamment documentée. Seules les valeurs dérivées par l'OEHHA de 3 µg/m³ (long terme) ou par la TCEQ de 47 µg/m³ (court-terme (1h)), 24 µg/m³ (court-terme (24h)) et 0,27 µg/m³ (long terme – exposition vie entière associée à un excès de risque de cancer de 10⁻⁵), toutes définies dans la fraction PM₄, peuvent être assimilées à des VTR. L'effet critique pris en compte pour dériver la valeur long terme de l'OEHHA est la silicose, tandis que pour la valeur long terme de la

TCEQ, c'est l'effet cancérigène. L'effet critique pour la valeur court-terme est l'inflammation et la cytotoxicité dans les voies respiratoires. En conséquence, l'interprétation des résultats d'évaluations de risque sanitaire réalisées dans les études identifiées est difficile.

En conclusion, les données ne permettent pas de renseigner quelle serait la fraction granulométrique la plus pertinente à prélever pour évaluer l'exposition de la population générale. Aucune de ces données de mesure ne comporte d'analyse morphologique permettant de distinguer les différentes formes de silice cristalline et de quantifier le nombre de particules fines et ultrafines de silice cristalline. Enfin, une évaluation des risques sanitaires n'est pas réalisable en raison du peu de données sur les niveaux d'exposition à la silice cristalline de la population générale incluant les populations riveraines des sites d'activités émettrices de silice cristalline.

6 Recommandations

Les recommandations de l'expertise de l'Anses publiée en 2019 concernant la prévention en population générale incluant les riverains de sites d'activités émettrices de silice cristalline et la métrologie de la silice cristalline restent valables et ont été complétées au regard des conclusions de cette expertise.

Ainsi, pour mieux évaluer les risques sanitaires des riverains de sites d'activités émettrices de silice cristalline, il est recommandé :

- De déterminer la ou les fractions granulométriques les plus pertinentes en fonction des effets sanitaires de la silice cristalline ;
- De normaliser une méthode de mesure de la silice cristalline dans l'air ambiant, adaptée aux fractions granulométriques pertinentes ;
- D'établir une valeur toxicologique de référence pour l'inhalation de silice cristalline ;
- De caractériser et le cas échéant de surveiller les émissions de silice cristalline et les concentrations résultantes au niveau des riverains, dans le cadre de la réglementation relative aux Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), notamment dans des conditions défavorables en termes d'émission et de dispersion ;
- De rendre accessible et de centraliser les données issues de cette surveillance ;
- De documenter les concentrations environnementales en silice cristalline dans l'air extérieur, au travers d'études réalisées aussi bien en station de fond qu'à proximité de sites susceptibles de générer des aérosols contenant de la silice cristalline, tels que les axes routiers, chantiers BTP et activités agricoles. Selon les résultats, l'intérêt d'inclure la silice cristalline dans le cadre de dispositifs de surveillance existants pourra être évalué.

Pour l'amélioration des connaissances relatives aux concentrations dans l'air et à l'exposition de la population générale à la silice cristalline, il est recommandé :

- D'étudier la distribution granulométrique de la silice à différentes distances de l'émission en considérant les particules ultrafines ;
- En fonction des données d'exposition recueillies, de conduire une évaluation des risques sanitaires en population générale.

Bien que cette saisine porte sur l'exposition des riverains de sites d'activités émettrices de silice cristalline, le CES tient à rappeler, dans un objectif de protection de la population générale, les recommandations émises en 2019 suivantes :

- sensibiliser les particuliers utilisant des matériaux contenant de la silice cristalline ou réalisant des opérations de bricolage telles que découpe de carrelage ou de béton, ponçage de mortier, etc. aux risques liés à une exposition par inhalation à la silice cristalline. Cela peut supposer de développer de nouveaux moyens de communication et d'information sur les risques dans les points de vente et à destination des particuliers.
- acquérir des données d'exposition en population générale *via* la réalisation de mesures dans le cadre des activités de bricolage par exemple.

Date de validation du rapport d'expertise collective par le comité d'experts spécialisé :
25 avril 2024.

7 Bibliographie

- Andraos, C., W. Utembe et M. Gulumian. 2018. "Exceedance of environmental exposure limits to crystalline silica in communities surrounding gold mine tailings storage facilities in South Africa." *Sci Total Environ* 619-620: 504-516.
- Anses. 2019. *Dangers, expositions et risques relatifs à la silice cristalline (saisine 2015-SA-0236)*. Anses (Maisons-Alfort), 418 p.
- Anses. 2023. *Analyse des fractions granulométriques utilisées pour l'évaluation des expositions par inhalation d'aérosols. Pertinence et comparaison des fractions environnementales - PM10, PM2,5 - et professionnelles - inhalable, thoracique, alvéolaire - (saisine 2018-SA-0076)*. Anses (Maisons-Alfort), 177 p.
- AQMD. 2008. *Sampling and Analysis of Samples Collect in the Cities of Duarte and Azusa, Follow-Up #4. Report MA-2008-03*. . South Coast Air Quality Management District (AQMD) (California (USA)). <http://www.azusarock.com/docs/AQMD2008FollowUp.pdf>.
- ATMO NA. 2020. *Impact du ré-emploi des poussières de terre battue – Campagne 2. Terrains de tennis du Tennis Club de La Rochelle*. ATMO Nouvelle-Aquitaine (France), 30 p.
- Bhagia, L. J. 2009. "Non-occupational exposure to silica dust in vicinity of slate pencil industry, India." *Environ Monit Assess* 151 (1-4): 477-82.
- Bhagia, L. J. 2012. "Non-occupational exposure to silica dust." *Indian J Occup Environ Med* 16 (3): 95-100.
- Blondet, I., E. Schreck, J. Viers, S. Casas, I. Jubany, N. Bahí, C. Zouiten, G. Dufréchou, R. Freydier, C. Galy-Lacaux, S. Martínez-Martínez, A. Faz, M. Soriano-Disla, J. A. Acosta et J. Darrozes. 2019. "Atmospheric dust characterisation in the mining district of Cartagena-La Unión, Spain: Air quality and health risks assessment." *Sci Total Environ* 693: 133496.
- Chen, W., Z. Zhuang, M. D. Atfield, B. T. Chen, P. Gao, J. C. Harrison, C. Fu, J. Q. Chen et W. E. Wallace. 2001. "Exposure to silica and silicosis among tin miners in China: exposure-response analyses and risk assessment." *Occup Environ Med* 58 (1): 31-7.
- Churchyard, G. J., R. Ehrlich, J. M. teWaterNaude, L. Pemba, K. Dekker, M. Vermeijs, N. White et J. Myers. 2004. "Silicosis prevalence and exposure-response relations in South African goldminers." *Occup Environ Med* 61 (10): 811-6.
- Dash, T. R., D. P. Tripathy et J. K. Pandey. 2020. "Chemical characterization of PM10 and evaluation of health risk for the people residing around a highly mechanized opencast coal mine using FTIR spectroscopy." *Arabian Journal of Geosciences* 13 (4).
- Davis, B. L., L. R. Johnson, R. K. Stevens, W. J. Courtney et D. W. Safriet. 1984. "The quartz content and elemental composition of aerosols from selected sites of the EPA inhalable particulate network." *Atmospheric Environment (1967)* 18 (4): 771-782.
- De Berardis, B., E. Incocciati, S. Massera, G. Gargaro et L. Paoletti. 2007. "Airborne silica levels in an urban area." *Sci Total Environ* 382 (2-3): 251-8.
- Deng, Y. Y., T. N. Zhao, Y. Zhang, C. Q. Shi, L. L. Yue, T. Chen, H. X. Wu et P. Hu. 2021. "Characterization and the source appointment of atmospheric dustfall based on SEM-EDS-a case of well working coal mining base in desert grassland area." *Zhongguo Huanjing Kexue/China Environmental Science* 41 (12): 5512-5521.
- Ehrlich, C., G. Noll, E. Wusterhausen, W. D. Kalkoff, R. Remus et C. Lehmann. 2013. "Respirable Crystalline Silica (RCS) emissions from industrial plants - Results from measurement programmes in Germany." *Atmospheric Environment* 68: 278-285.
- EVADIES, MIF et UNPG. 2022a. *Evaluation de la silice cristalline alvéolaire autour de carrières. Partie 1 : présentation du plan d'échantillonnage*. EVADIES (Bouillonville), 117 p.

- EVADIES, MIF et UNPG. 2022b. *Evaluation de la silice cristalline alvéolaire autour de carrières. Partie 2 : présentation des résultats*. EVADIES (Bouillonville), 186 p.
- EVADIES, MIF et UNPG. 2022c. *Evaluation de la silice cristalline alvéolaire autour de carrières. Partie 3 : bordereaux des résultats*. EVADIES (Bouillonville), 406 p.
- Ghaedrahmat, Z., H. Almasi, R. Akhbarizadeh et M. Ahmadi. 2022. "Assessment of Heavy Metals in Road Dust of Behbahan City, Iran: Distribution, Sources and Health Risks." *Journal of Environmental Health and Sustainable Development* 7 (2): 1632-1646.
- Goldsmith, D.F. 1991. *Quail Hollow Special Investigation for the Monterey Bay Unified Air Pollution Control District*. University of California Davis (Davis, California).
- Gustafsson, Å, A. M. Kraus, A. Gorzsás, T. Lundh et P. Gerde. 2018. "Isolation and characterization of a respirable particle fraction from residential house-dust." *Environmental Research* 161: 284-290.
- Hnizdo, E. et G. K. Sluis-Cremer. 1993. "Risk of silicosis in a cohort of white South African gold miners." *Am J Ind Med* 24 (4): 447-57.
- Hughes, J. M., H. Weill, H. Checkoway, R. N. Jones, M. M. Henry, N. J. Heyer, N. S. Seixas et P. A. Demers. 1998. "Radiographic evidence of silicosis risk in the diatomaceous earth industry." *Am J Respir Crit Care Med* 158 (3): 807-14.
- Kwata, M. G., S. J. Moja et G. M. Chadi. 2018. "A physico-chemical study of dust samples from the derelict and ownerless asbestos mine dumps in Mpumalanga province, Republic of South Africa." *WIT Transactions on Ecology and the Environment* 230: 331-342.
- MPCA. 2015a. *Shakopee Sand (previously Great Plains Sand) ambient air monitoring Jordan, Minnesota July 2012–June 2015. g-70-03*. MPCA (Minnesota). <https://www.pca.state.mn.us/sites/default/files/g-70-03.pdf>.
- MPCA. 2015b. *Titan Lansing Transload ambient air monitoring data report North Branch, Minnesota November 2012–September 2015. g-13-03*. MPCA (Minnesota). <https://www.pca.state.mn.us/sites/default/files/g-13-03.pdf>.
- MPCA. 2015c. *Winona -Community ambient air monitoring Winona, Minnesota January 2014– December 2014. g-85-03*. MPCA (Minnesota). <https://www.pca.state.mn.us/sites/default/files/g-85-03.pdf>.
- Najmeddin, A., F. Moore, B. Keshavarzi et Z. Sadegh. 2018. "Pollution, source apportionment and health risk of potentially toxic elements (PTEs) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in urban street dust of Mashhad, the second largest city of Iran." *Journal of Geochemical Exploration* 190: 154-169.
- NANOCONSULT. 2023. *Beroepsmatige en omgevingsblootstelling aan inhaleerbaar en respirabel stof en inhoudsstoffen bij en rondom EMO (Exposition professionnelle et environnementale aux poussières inhalables et alvéolaires sur le site de l'OMU et dans ses environs)*. Nanoconsult (Pays-Bas), 26 p.
- Oliveira, M. L. S., S. A. Akinyemi, B. B. Nyakuma et G. L. Dotto. 2022. "Environmental Impacts of Coal Nanoparticles from Rehabilitated Mine Areas in Colombia." *Sustainability (Switzerland)* 14 (8).
- Pal, M., M. Gope, A. Basu, T. Laha, R. E. Masto, R. Labar, T. K. Kundu, R. R. Hoque, P. S. Khillare et S. Balachandran. 2021. "Indoor Quality of Residential Homes and Schools of an Industrial Area in Asansol: Characterization, Bioaccessibility and Health Risk Assessment of Potentially Toxic Elements." *Nature Environment and Pollution Technology* 20 (1): 13-28.
- Peters, T. M., P. T. O'Shaughnessy, R. Grant, R. Altmaier, E. Swanton, J. Falk, D. Osterberg, E. Parker, N. G. Wyland, S. Sousan, A. L. Stark et P. S. Thorne. 2017. "Community airborne particulate matter from mining for sand used as hydraulic fracturing proppant." *Sci Total Environ* 609: 1475-1482.

- Pierce, C., E. Fuhrman, P. Xiong-Yang, J. Kentnich, P. Husnik, J. Dahlen, R. Liang et J. Awad. 2019. "Monitoring of airborne particulates near industrial silica sand mining and processing facilities." *Archives of Environmental and Occupational Health* 74 (4): 185-196.
- PreventPartner. 2021. *Gezondheidsrisico's van blootstelling aan respirabel kwarts door derden i.v.m. ballastroerende werkzaamheden aan het spoor (Risques pour la santé liés à l'exposition au quartz alvéolaire dans le cadre de travaux de brassage du ballast sur la voie)*. Coöperatie PreventPartner (Pays-Bas), 46 p.
- Puleda, S., L. Paoletti et M. Ferdinandi. 1999. "Airborne quartz concentration in an urban site." *Environmental Pollution* 104 (3): 441-448.
- Richards, J. et T. Brozell. 2015. "Assessment of Community Exposure to Ambient Respirable Crystalline Silica near Frac Sand Processing Facilities." *Atmosphere* 6 (8): 960-982.
- Richards, J. et T. Brozell. 2021. "Compilation and evaluation of ambient respirable crystalline silica air quality data near sand quarries and processing facilities." *Atmosphere* 12 (7).
- Richards, J. R., T. T. Brozell, C. Rea, G. Boraston et J. Hayden. 2009. "PM4 crystalline silica emission factors and ambient concentrations at aggregate-producing sources in California." *J Air Waste Manag Assoc* 59 (11): 1287-95. <https://doi.org/10.3155/1047-3289.59.11.1287>.
- RPS. 2019. *Onderzoek fijnstof en respirabel kwarts (Recherche sur les particules et le quartz alvéolaire)*. RPS (Pays-Bas), 27 p.
- Shaaban, F., A. Othman, T. Habeebullah et M. Metwaly. 2021. "Geo-environmental impact assessment of rock-cutting activities on the mountainous urban areas, western Saudi Arabia." *Arabian Journal of Geosciences* 14 (8).
- Shiraki, R. et B. A. Holmén. 2002. "Airborne respirable silica near a sand and gravel facility in central California: XRD and elemental analysis to distinguish source and background quartz." *Environ Sci Technol* 36 (23): 4956-61.
- Singh, S. K., R. K. Singh, K. K. Singh et S. Singh. 2022. "Concentration, sources and health effects of silica in ambient respirable dust of Jharia Coalfields Region, India." *Environmental Sciences Europe* 34 (1).
- Stacey, P., A. Thorpe et P. Roberts. 2011. *Levels of respirable dust and respirable crystalline silica at construction sites. Research Report 878*. Health and Safety Executive (HSE) (Royaume-Uni).
- Stacey, P., A. Thorpe, P. Roberts et O. Butler. 2018. "Determination of respirable-sized crystalline silica in different ambient environments in the United Kingdom with a mobile high flow rate sampler utilising porous foams to achieve the required particle size selection." *Atmospheric Environment* 182: 51-57.
- Steenland, K. et D. Brown. 1995. "Silicosis among gold miners: exposure--response analyses and risk assessment." *Am J Public Health* 85 (10): 1372-7.
- Steenland, K., A. Mannelje, P. Boffetta, L. Stayner, M. Attfield, J. Chen, M. Dosemeci, N. DeKlerk, E. Hnizdo, R. Koskela et H. Checkoway. 2001. "Pooled exposure-response analyses and risk assessment for lung cancer in 10 cohorts of silica-exposed workers: an IARC multicentre study." *Cancer Causes Control* 12 (9): 773-84.
- TCEQ. 2009. *Silica, Crystalline Forms. Development Support Document Final*. Texas Commission on Environmental Quality (Texas, USA), 77 p.
- TCEQ. 2020a. *Silica, Crystalline Forms. 24-h ReV Development Support Document*. Texas Commission on Environmental Quality (Texas, USA), 19 p.
- TCEQ. 2020b. *Crystalline silica: ambient air monitoring and evaluation of community health impacts near aggregate production operations*. Texas Commission on Environmental Quality (Texas, USA), 24 p.

TCEQ. 2023. *Ambient Monitoring of Particulates, Including Crystalline Silica, Near APO Facilities, Interim Report*. Texas Commission on Environmental Quality (Texas, USA), 17 p.

Wang, J., Y. Huang, T. Li, M. He, X. Cheng, T. Su, S. Ni et C. Zhang. 2020. "Contamination, morphological status and sources of atmospheric dust in different land-using areas of a steel-industry city, China." *Atmospheric Pollution Research* 11 (2): 283-289.

Warheit, D. B., T. A. McHugh et M. A. Hartsy. 1995. "Differential pulmonary responses in rats inhaling crystalline, colloidal or amorphous silica dusts." *Scand J Work Environ Health* 21 Suppl 2: 19-21.

Wisconsin DNR. 2011. *Report to the Natural Resources Board: Silica Study. AM-407 2011*. Wisconsin Department of Natural Resources (Wisconsin, USA), 59 p.

ANNEXES

Annexe 1 : Lettre de saisine

	2023-SA-0052	
MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET DE LA COHÉSION DES TERRITOIRES	Direction générale de la prévention des risques	
<i>Liberté Égalité Fraternité</i>	La Défense, le 01 SEP. 2022	
<i>Service des risques technologiques Sous-direction des risques chroniques et du pilotage Bureau du soi et du sous-soi</i>	Le Directeur général	
	à	
	Monsieur le Directeur général de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'Alimentation, l'Environnement et du Travail	
<i>Nos réf. : BSSS/2022-095 Affaire suivie par : Guillaume BAILLY florence.bouchet@developpement-durable.gouv.fr Tél. : 01 40 81 92 25</i>		
Objet : Travaux sur l'évaluation des risques liés à la silice cristalline		
Par courrier du 25 avril 2019, vous avez porté à notre connaissance un avis ainsi qu'un rapport d'expertise relatifs à la mise à jour des connaissances, concernant les dangers, l'exposition et les risques associés à la silice cristalline.		
Concernant la réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), le rapport souligné que, pour les installations d'extraction et de premier traitement de minéraux naturels, une surveillance des émissions de poussières est imposée mais que cette dernière n'intègre pas spécifiquement la silice cristalline. Le rapport note également que des mesures de concentrations en silice cristalline devraient être réalisées dans le cadre des études d'impact mais que les données de ces dernières n'ont pas pu être exploitées dans le cadre de l'étude, faute de matérialisation et de centralisation. Ce défaut d'accès aux données a empêché les auteurs du rapport d'évaluer le potentiel risque sanitaire des riverains de sites d'extraction.		
L'avis conclut sur la pertinence de surveiller, dans le cadre de la réglementation des ICPE, pour les carrières, les émissions de silice cristalline, notamment à l'attention des riverains de ce type d'installation, de centraliser et rendre accessibles les données issues de cette surveillance.		
À la suite de cet avis, le service des risques technologiques de la Direction générale de la prévention des risques a sollicité les deux principales fédérations professionnelles de ce type d'installations: l'union nationale des industries de carrières et des matériaux de construction (UNICEM) et la fédération Minéraux Industriels-France (MIF). Elle leur a demandé d'évaluer les suites possibles à donner aux recommandations de l'étude. Ces dernières se sont donc engagées à mettre en œuvre des mesures		

d'exposition sur un échantillon pertinent de carrières afin de préciser la typologie des carrières qu'il conviendrait de surveiller au regard de cette problématique.

Je vous prie de bien vouloir trouver les résultats de l'étude menée par les fédérations professionnelles en suivant les liens suivants :

- https://evadies-my.sharepoint.com/:b:/g/personal/laptop01_evadies_onmicrosoft.com/EX_D98DjtQVHj3u32KbUSSoB014qOpIwQGkz8qwhGRgUfQ?e=wIhz5i
- https://evadies-my.sharepoint.com/:b:/g/personal/laptop01_evadies_onmicrosoft.com/EehmhWYinBZIn8-1mVctVxABcCYnr5BPnN-Vt0GzIEWsGQ?e=3Xd2zS
- https://evadies-my.sharepoint.com/:b:/g/personal/laptop01_evadies_onmicrosoft.com/ERK1wCH5GnFPk1Dvcag6TuUBP66r4soFOEvX4FgIIM4gHQ?e=ccNlrM

Au regard des résultats de cette étude, il est demandé à l'ANSES si les conclusions de l'évaluation réalisée par les fédérations professionnelles peuvent être confirmées ou, dans le cas contraire, de réévaluer les risques sanitaires pour les riverains de sites d'extraction.

Une réponse de votre part est attendue sous 18 mois.



Le Directeur général de la prévention
des risques

L'adjoint au directeur général
de la prévention des risques



Patrick SOULÉ

Cédric BOURILLET

Annexe 2 : Stratégie de recherche bibliographique

Equations de recherche bibliographique

Equations de recherche pour rechercher les publications documentant des niveaux de concentrations en silice cristalline dans l'air ambiant sur la période 2018-2023 (2018 étant la fin de la période de recherche dans l'expertise Anses de 2019) :

- Pubmed : ("ambient exposure"[Title/Abstract] OR "ambient concentration*" [Title/Abstract] OR "ambient sampl*" [Title/Abstract] OR "ambient measur*" [Title/Abstract] OR "resident*" [Title/Abstract] OR "non-occupational exposure" [Title/Abstract] OR "environmental exposure" [Title/Abstract] OR "environment exposure" [Title/Abstract] OR "atmospheric exposure" [Title/Abstract] OR "airborne exposure" [Title/Abstract]) AND ((silica [Title/Abstract] OR quartz [Title/Abstract] OR tridymite [Title/Abstract] OR cristobalite [Title/Abstract] OR "silicon dioxide" [Title/Abstract])) Filters: from 2018 – 2023
- Scopus : TITLE-ABS (("ambient exposure" OR "ambient concentration*" OR "ambient sampl*" OR "ambient measur*") OR ("resident*" OR "non-occupational " OR "environmental exposure" OR "environment exposure" OR "atmospheric exposure" OR "airborne exposure")) AND (TITLE-ABS ((silica OR quartz OR tridymite OR cristobalite OR "silicon dioxide"))) AND PUBYEAR > 2017 AND PUBYEAR < 2024
- Web of Science : TS = ("ambient exposure" OR "ambient concentration*" OR "ambient sampl*" OR "ambient measur*" OR "resident*" OR "non-occupational exposure" OR "environmental exposure" OR "environment exposure" OR "atmospheric exposure" OR "airborne exposure") AND TS = (silica OR quartz OR tridymite OR cristobalite OR "silicon dioxide")

Dates de lancement des requêtes : 20/07/2023 (Pubmed et Scopus) et 28/09/2023 (Web of Science).

Critères d'inclusion pour la phase de sélection (tri sur titre et résumé)

Tout article étudiant l'exposition environnementale à la silice cristalline avec potentiellement une mesure de l'exposition.

Critères d'exclusion pour la phase de sélection (tri sur titre et résumé)

- Études sur des expositions professionnelles
- Études expérimentale (*in vitro* ou *in vivo*)
- Études épidémiologique sans évaluation de l'exposition (i.e. questionnaire, cartographie) ou n'incluant pas des mesures de concentration en silice cristalline
- Études sur l'exposition environnementale à la silice cristalline sur des matrices autre que l'air ambiant (ex : sol, eau)
- Études hors du champ de l'expertise (ex : étude mentionnant des termes tels que « filtre quartz », « silice aérogel » dans le résumé ou étude sur l'archéologie).

Raisons d'exclusion lors de la phase d'éligibilité (tri sur lecture du texte intégral)

- Références déjà identifiées dans rapport Anses 2019
- Absence de données de concentration

- Modélisation de la concentration en silice cristalline (interprétation complexe)
- Publications dans une langue autre que le français et l'anglais
- Publications dont les concentrations renseignées sont des données d'exposition professionnelle.

Annexe 3 : Grille de lecture pour analyser les publications sélectionnées à l'issue de la phase d'éligibilité

Identification	Nom du lecteur/relecteur
	Date de lecture
	Auteur(s)
	Date
	Référence complète
	DOI
	Objectifs de l'étude
	Demandeur de l'étude
Populations étudiées (générale normalement et non professionnelle)	
Secteurs / milieux analysés (sol, poussières, air intérieur, air extérieur, mines, carrières, tunnels, etc.)	
Type de silice cristalline (forme, granulométrie)	
Stratégie d'échantillonnage	Stratégie spatiale (distance par rapport au site, aux cibles, nombre de prélèvements, témoins, critères météo (vents dominants, sous le vent ou à l'abri, pluies, etc.)
	Stratégie temporelle (période, saison, durée de la campagne)
	Activités du site à proximité ? (en général et au moment des mesures, activités en cours ou passées)
	Commentaire sur l'échantillonnage : que nous apporte ces mesures ? (i.e. exposition chronique ou ponctuelle ?)
Données métrologiques	Référence méthode
	Dispositif de prélèvement
	Durée de prélèvement
	Traitement de l'échantillon
	Technique analytique
	Données complémentaires (conditions extérieures : T, P, humidité...)
	Co-polluants
Limite de détection / de quantification	
Données complémentaires	
Résultats	Détail des résultats (moyenne, médiane, percentiles, distributions etc.)
	Traitement des données (censurées i.e. <LD)
	Formes de silice cristalline (quartz plutôt en environnement et pas trydimite et cristobalite a priori)
Discussion	Représentation statistique (dimension de la campagne - nationale, régionale, d'un secteur d'activité ou plus petite échelle (quelques matrices))
	Discussion et conclusion des auteurs
	Commentaires relecteur(s)
	Références bibliographiques à récupérer
Conclusion	Sources de financement / Liens d'intérêts potentiels

	Classement de l'étude (Critère qualité méthodologique : bonne qualité, limites méthodologiques non majeures, limites méthodologiques majeure)
	Etude à retenir pour l'expertise (oui / non) et motif d'exclusion le cas échéant
	Commentaires

Annexe 4 : Consultation internationale et nationale

Liste des organismes ou réseaux contactés

Pays ou continent	Organismes ou réseaux consultés	Réponses	Commentaires
USA	MSHA	Non	
	US-EPA	Non	
	NIEHS	Oui	Réponse au questionnaire et transmission de références scientifiques. Une synthèse des données transmises est présentée en Annexe 5.
	CARB	Oui	Transmission de documents. Une synthèse des données transmises est présentée en Annexe 5.
	OEHHA	Message non transmis	
	MDH-MPCA	Oui	Réponse au questionnaire. Une synthèse est présentée en Annexe 5.
	NIOSH	Oui	Réponse au questionnaire. Une synthèse est présentée en Annexe 5.
Canada	TCEQ	Oui	Réponse au questionnaire et transmission de rapports d'étude. Une synthèse des données transmises est présentée en Annexe 5.
	INSPQ	Non	
Europe	IRSST	(Oui)	Pas de transmission de données car l'exposition environnementale n'est pas leur sujet d'étude.
	CEN TC/264 - CENELEC	Oui	Réponse au questionnaire et transmission d'une publication scientifique (Ehlich et al. 2013) et d'un rapport du Wisconsin Department of Natural Resources (2011). Une synthèse des données transmises est présentée en Annexe 5.
	ERA-ENVHEALTH	(Oui)	Pas de transmission de données car ne dispose pas de données sur la silice cristalline.
Allemagne	IC4HEALTH	Non	
	BAuA	(Oui)	Pas de transmission de données car exposition environnementale n'est pas leur sujet d'étude.
Italie	BfR	(Oui)	Pas de transmission de données car ne dispose pas de données sur la silice cristalline.
	ARPA	Message non transmis	
Pays-Bas	ISS	(Oui)	Pas de transmission de données car ne dispose pas de données sur la silice cristalline.
	RIVM	Oui	Transmission de trois rapports d'étude. Une synthèse des données transmises est présentée en Annexe 5.
France	AFNOR - Commission X 43D (qualité air ambiant)	(Oui)	Pas de transmission de données.
	AFNOR - Commission X 43I (qualité air intérieur)	(Oui)	Pas de transmission de données car exposition air ambiant n'est pas leur domaine d'intérêt. Transmission à la Commission qualité air ambiant.
	ATMO France	Oui	Transmission de documents ou rapports d'étude. Une synthèse du rapport d'étude jugé d'intérêt par rapport à l'objectif de cette expertise est faite en paragraphe 4.2.2 dans le rapport.

Pays ou continent	Organismes ou réseaux consultés	Réponses	Commentaires
	OPPBTB	(Oui)	Pas de transmission de données car ne dispose pas de données sur la silice cristalline dans l'environnement, uniquement en milieu professionnel.
<p>MSHA : Mine Safety and Health Administration (en français, Administration de la sécurité et de la santé dans les mines) US-EPA: U.S. Environmental Protection Agency (en français, Agence de protection de l'environnement des États-Unis) NIEHS : National Institute of Environmental Health Sciences (en français, Institut national des sciences de la santé environnementale) CARB : California Air resources board (en français, Conseil des ressources atmosphériques de Californie) OEHHA : California Office of Environmental Health Hazard Assessment (en français, Bureau californien de l'évaluation des risques pour la santé environnementale) MDH : Minnesota department of health (en français, Ministère de la Santé du Minnesota) MPCA : Minnesota Pollution Control Agency NIOSH : National Institute for Occupational Safety and Health (en français, Institut national pour la sécurité et la santé au travail) TCEQ : Texas Commission on Environmental Quality (en français, Commission texane sur la qualité environnementale) INSPQ : Institut national de santé publique du Québec IRSST : Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail CEN : Comité européen de normalisation CENELEC : European Committee for Electrotechnical Standardization (en français Comité européen de normalisation électrotechnique) ERA-ENVHEALTH network : European Research Area for Environment and Health network (en français, Réseau européen pour la recherche dans le domaine de l'environnement et de la santé) IC4HEALTH network : International Cooperation for Health network (en français, Réseau international de coopération pour la santé) BAuA : Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (en français, Institut fédéral allemand pour la sécurité et la santé au travail) BfR : Bundesinstitut für Risikobewertung (en français, Institut fédéral allemand d'évaluation des risques) ARPA : Agenzie Regionali per la Protezione Ambientale (en français, Agence régionale pour la protection de l'environnement) ISS : Istituto Superiore di Sanità (en français, Institut national de santé) RIVM : Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (en français, Institut national de la santé publique et de l'environnement) AFNOR : Association française de normalisation OPPBTB : Organisme Professionnel Prévention Bâtiment Travaux Publics</p>			

En gras : Organismes/Laboratoires ayant fourni des informations

(Oui) : réponse mais pas d'éléments transmis.

Questionnaire de la consultation internationale (versions en anglais)

ANSES international consultation
Environmental exposure to crystalline silica

Maisons-Alfort (France), 28th September 2023

International consultation to update data on environmental exposure to crystalline silica

The French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety (ANSES) is a public organisation of an administrative nature accountable to the French Ministries of Health, Agriculture, Environment, Labour and Consumer Affairs. ANSES undertakes monitoring, expert appraisal, research and reference missions in a broad field of competence that encompasses human health, animal health and welfare, and plant health.

Following the publication in 2019 of a report on a review of the hazards, exposures and risks related to crystalline silica (<https://www.anses.fr/en/content/exposure-crystalline-silica-poses-high-risks-worker-health>), particularly in the working population, ANSES is now working on updating data on exposure to crystalline silica in the general population to assess the relevance of including crystalline silica in outdoor air quality monitoring. To date, French regulations do not include an environmental exposure limit value for crystalline silica.

This scientific expertise, implemented with the support of multi-disciplinary experts, seeks to answer the following points:

- Update the literature on environmental exposure to crystalline silica in outdoor air (particularly in populations living near silica-emitting sites, such as mines and quarries, construction sites, roads, etc.).
- Assess whether these new data are relevant and sufficient to assess the health risks for the general population, particularly people living near silica-emitting sites.

In this context, ANSES is undertaking an international consultation to gather information on environmental exposure to crystalline silica, on (inter)national health risk assessment in the general population, and on existing recommendations for preventive measures for the general population.

Given your institution's work in this domain, we are contacting you today to ask for any information you may be able to share regarding one or more of the following issues:

Crystalline silica exposure

- Do you have data on crystalline silica exposure in the general population?
- If yes, are there any emerging and/or particularly important exposure situations?
- More specifically, do you have data on exposure to crystalline silica among populations living near silica-emitting sites, such as mines and quarries, construction sites, roads, etc.?

French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety,
14 rue Pierre et Marie Curie, F94701 Maisons-Alfort Cedex - Tel + 33 (0)1 49 77 13 50 - www.anses.fr



ANSES international consultation
Environmental exposure to crystalline silica

- Are you aware of studies, in your institute or country, on measurements of exposure to crystalline silica in the form of ultrafine particles (particle size < 100 nm)?

Crystalline silica measurement method

- Are you aware of any reference methods for sampling and analyzing crystalline silica in the environment?

Health risk assessment for population exposed to crystalline silica:

- Are you aware of studies, in your institute or country, on health risk assessment for general population exposed to crystalline silica and particularly for populations living near silica-emitting sites, such as mines and quarries, construction sites, roads, etc.?

Preventive measures for general population exposed to crystalline silica:

- Are you aware of any recommendation for preventive measures to reduce the risks for populations exposed to crystalline silica? The recommendations may come from a risk assessment report, regulation, any institutional report or guidance...
- Are there any current or intended regulations on environmental exposure to crystalline silica in your country?
- Are there any thresholds for exposure to crystalline silica in ambient air defined in your country?

The resulting output, including the international consultation, will be made publically available on our website. This consultation covers Europe and North America (USA and Canada). If you are interested, we could share with you the results collected during this consultation.

One institution may not be able to provide answers to all questions, so we would welcome responses to those questions that are within your scope, and, when relevant, suggestions for other contacts.

A response at your earliest convenience and, if possible, by **3 November, 2023** would be greatly appreciated. Please send your responses to Ms. Miora Andrianjafimasy and M. Jérémie Achille, miora.andrianjafimasy@anses.fr; jeremie.achille@anses.fr.

Please do not hesitate to contact us with any questions for further clarification.

Questionnaire de la consultation internationale (versions en français)

Anses : Consultation internationale
Exposition environnementale à la silice cristalline

Maisons-Alfort (France), 28 Septembre 2023

Consultation internationale sur la mise à jour des données sur l'exposition environnementale à la silice cristalline

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) est un organisme public à caractère administratif relevant des ministères français de la santé, de l'agriculture, de l'environnement, du travail et de la consommation. L'ANSES assure des missions de suivi, d'expertise, de recherche et de référence dans un large domaine de compétence qui englobe la santé humaine, la santé et le bien-être des animaux et la santé des plantes.

Suite à la publication en 2019 d'un rapport d'expertise sur les dangers, les expositions et les risques liés à la silice cristalline (<https://www.anses.fr/fr/content/exposition-%C3%A0-la-silice-cristalline-des-risques-%C3%A9lev%C3%A9s-pour-la-sant%C3%A9-des-travailleurs>), en particulier chez les travailleurs, l'ANSES travaille actuellement sur la mise à jour des données sur l'exposition à la silice cristalline chez la population générale en vue d'évaluer la pertinence d'inclure la silice cristalline dans la surveillance de l'air extérieur. En effet, à ce jour, la réglementation française ne prévoit pas de valeur limite d'exposition environnementale pour la silice cristalline.

Cette expertise scientifique, mise en œuvre avec le soutien d'experts pluridisciplinaires, vise à répondre aux points suivants :

- Réaliser une mise à jour de la littérature sur l'exposition environnementale à la silice cristalline dans l'air extérieur (en particulier chez les populations riveraines de sites émetteurs de silice tels que les mines et carrières, les chantiers et sites de construction, les axes routiers)
- Evaluer si ces nouvelles données sont pertinentes et suffisantes pour réaliser une évaluation de risque sanitaire chez la population générale et en particulier chez les populations riveraines de sites émetteurs de silice cristalline.

Dans ce contexte, l'ANSES entreprend une consultation internationale pour recueillir des informations sur l'exposition environnementale à la silice cristalline, sur l'évaluation des risques sanitaires (inter)nationaux en population générale, ainsi que sur les recommandations existantes concernant les mesures de prévention pour la population générale.

Étant donné les travaux de votre institution dans ce domaine, nous vous contactons aujourd'hui pour vous demander toute information que vous pourriez avoir sur une ou plusieurs des questions suivantes :

Exposition à la silice cristalline

- **Disposez-vous de données d'exposition à la silice cristalline chez la population générale ?**
- **Si oui, des situations d'exposition sont-elles émergentes ou bien particulièrement importantes ?**

Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail,
14 rue Pierre et Marie Curie, F94701 Maisons-Alfort Cedex - Tel + 33 (0)1 49 77 13 50 - www.anses.fr



Anses : Consultation internationale
Exposition environnementale à la silice cristalline

- Plus particulièrement, disposez-vous de données d'exposition au sein de populations riveraines de sites émetteurs de silice cristalline tels que les mines et carrières, les chantiers et sites de construction, les axes routiers ?
- Avez-vous connaissance au sein de votre organisme ou pays, d'études relatives à la mesure d'exposition à la silice cristalline sous la forme de particules ultrafines (diamètre des particules < 100 nm) ?

Méthode de mesure de la silice cristalline

- Avez-vous connaissance de méthodes de référence pour l'échantillonnage et l'analyse de la silice cristalline dans l'environnement ?

Evaluation des risques sanitaires pour la population exposée à la silice cristalline

- Avez-vous connaissance, dans votre organisme ou pays, d'études relatives à des évaluations de risques sanitaires pour la population générale exposée à la silice cristalline, et en particulier pour les populations riveraines de sites émetteurs de silice cristalline tels que les mines et carrières, les chantiers et sites de construction, les axes routiers ?

Mesures de prévention pour la population générale exposée à la silice cristalline

- Avez-vous connaissance de recommandations concernant des mesures de prévention particulières visant à réduire les risques pour la population générale exposée à la silice cristalline, et en particulier les populations riveraines de sites émetteurs de silice cristalline ? Ces recommandations peuvent provenir de rapports d'évaluation de risque, de réglementations, de guides ou rapport institutionnels, etc.
- Existe-t-il une réglementation, actuelle ou prévue, sur l'exposition environnementale à la silice cristalline dans votre pays ?
- Existe-t-il des seuils d'exposition à la silice cristalline dans l'air ambiant définis dans votre pays ?

Les résultats, y compris la consultation internationale, seront rendus publics sur notre site Web. Cette consultation couvre l'Europe et l'Amérique du Nord (Etats-Unis et Canada). Si vous êtes intéressés, nous pourrions partager avec vous les résultats recueillis lors de cette consultation.

Il se peut qu'une institution ne soit pas en mesure de répondre à toutes les questions ; nous serions donc heureux de recevoir des réponses aux questions qui relèvent de votre compétence et, le cas échéant, des suggestions pour d'autres contacts.

Une réponse dans les meilleurs délais et, si possible, d'ici le **3 Novembre 2023** serait grandement appréciée. Veuillez envoyer vos réponses à Mme Miora Andrianjafimasy et M. Jérémie Achille (miora.andrianjafimasy@anses.fr; jeremie.achille@anses.fr).

N'hésitez pas à nous contacter pour de plus amples informations.

Annexe 5 : Synthèse des données fournies par les organismes ayant répondu à la consultation internationale

Les réponses des organismes consultés ont été traduites et sont reprises dans cette section en détaillant systématiquement les données fournies. Les propos rapportés ne représentent en aucun cas une prise de position ou un avis de l'Anses. Il est recommandé de consulter directement les sources originales pour obtenir des informations plus complètes.

Données fournies par l'Institut national pour la sécurité et la santé au travail (NIOSH – National Institute for Occupational Safety and Health, Etats-Unis)

Le NIOSH a répondu uniquement sur les questions relatives aux méthodes de référence. En effet, le NIOSH indique qu'il existe plusieurs méthodes de référence pour l'analyse de la silice cristalline dans l'air des lieux de travail, développées par le NIOSH ou d'autres organismes comme l'OSHA (Occupational Safety and Health Administration) ou l'ASTM (American Society for Testing and Materials) : NIOSH 7500, NIOSH 7602, NIOSH 7601, OSHA ID-142 et ASTM D7948-20²⁰. L'ensemble de ces protocoles mettent en œuvre un prélèvement individuel de la fraction alvéolaire et une caractérisation de la silice cristalline par DRX ou IR ; excepté le protocole NIOSH 7601 qui met en œuvre une analyse par spectroscopie visible recommandée pour un usage de recherche uniquement car présente de moindre performance. Bien que ces méthodes soient applicables pour des mesures en milieu professionnel, il a été précisé à l'Anses que des adaptations mineures étaient possibles afin de caractériser des faibles niveaux ou des concentrations à l'état de traces, typiquement pour les concentrations atmosphériques. Par ailleurs, de nombreuses méthodes sont développées toujours dans l'objectif d'améliorer les performances (sensibilité, spécificité, analyse *in situ*), comme par exemple l'absorption infrarouge basée sur les lasers à cascade quantique, la spectroscopie Raman ou la spectroscopie photoacoustique.

Données fournies par l'Institut national des sciences de la santé environnementale (NIEHS – National Institute of Environmental Health Sciences, Etats-Unis)

Le NIEHS a répondu à plusieurs points au sujet de la silice cristalline en fournissant également des références scientifiques listées plus bas. Le NIEHS finance ou a financé des travaux qui renseignent des niveaux d'exposition et peuvent être publiés dans la littérature. Cependant, aucune des données transmises en réponse à cette consultation ne renseigne de données de concentration en silice cristalline dans l'environnement. Concernant les méthodes de prélèvement, le NIEHS indique qu'il existe plusieurs approches, et cite le préleveur d'aérosol individuel en continu TSI SidePak [AM510]. Pour ce qui est de l'analyse, le NIEHS indique qu'il est possible d'utiliser l'IRTF comme l'a montré une étude pour des opérations minières (Cauda et al., 2018), ou bien de la DRX par une autre étude (Hart et al., 2018). Le NIEHS a indiqué qu'étant un institut de recherche, il n'établit donc pas de valeurs guides, de lignes directrices ni de politiques publiques. Le NIEHS a indiqué également que l'ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) liste l'ensemble des ressources concernant la toxicité de la silice cristalline sur le lien suivant : <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp211-c7.pdf>²¹.

²⁰ L'ensemble de ces protocoles mettent en œuvre un prélèvement de la fraction alvéolaire et une caractérisation de la silice cristalline par DRX ou IR.

²¹ Après vérification par l'Anses, aucune valeur pour l'air ambiant n'est disponible pour la silice cristalline.

Le NIEHS a également transmis les références suivantes :

- Le Blond JS, Woskie S, Horwell CJ, Williamson BJ. Particulate matter produced during commercial sugarcane harvesting and processing: a respiratory health hazard? *Atmos Environ* 2017;149:34-46.
- Le Blond JS, Horwell CJ, Williamson BJ, Oppenheimer C. Generation of crystalline silica from sugarcane burning. *Journal of Environmental Monitoring*. 2010;12(7):1459-70. doi: 10.1039/c0em00020e.
- Mascarenhas S, Mutnuri S, Ganguly A. Silica - A trace geogenic element with emerging nephrotoxic potential. *Science of the Total Environment*. 2018;645:297-317. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.07.075.
- Cauda E, Chubb L, Reed R, Stepp R. Evaluating the use of a field-based silica monitoring approach with dust from copper mines. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2018;15(10):732-42. doi: 10.1080/15459624.2018.1495333.
- Hart JF, Autenrieth DA, Cauda E, Chubb L, Spear TM, Wock S, Rosenthal S. A comparison of respirable crystalline silica concentration measurements using a direct-on-filter Fourier transform infrared (FTIR) transmission method vs. a traditional laboratory X-ray diffraction method. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2018;15(10):743-54. doi: 10.1080/15459624.2018.1495334.

Cependant, ces références ne fournissent pas d'éléments pertinents par rapport à l'objectif de la présente expertise (données en milieu professionnel) et donc leur synthèse n'a pas été faite.

Données fournies par le Ministère de la Santé du Minnesota (MDH – Minnesota Department of Health, Etats-Unis) via l'Agence de contrôle de la pollution du Minnesota (MPCA – Minnesota Pollution Control Agency)

Concernant les données de concentrations en silice cristalline, le MPCA a répondu avoir contrôlé la silice cristalline il y a de nombreuses années à Winona, MN, pour voir si la ville était affectée par le transport de sable siliceux pour les opérations de fracturation. Les données issues de cette surveillance n'ont pas été transmises dans le cadre de cette consultation.

Concernant les méthodes de référence d'échantillonnage et d'analyse de la silice cristalline, le MPCA a répondu avoir contrôlé les PM₄ dans le passé en utilisant un échantillonneur BGI PQ100 (MesaLabs) pour collecter des échantillons sur des filtres qui seront envoyés à un laboratoire pour analyse. Les filtres étaient calcinés au cours du processus pour obtenir la concentration de PM₄. Le MPCA indique que ce contrôle a été réalisé il y a de nombreuses années mais depuis les PM₄ n'ont pas été contrôlées.

Concernant les mesures préventives pour la population générale exposée à la silice cristalline, le MDH a publié en Juillet 2013 une valeur sanitaire chronique de la qualité de l'air (*air quality chronic health-based value (HBV)*) de 3 µg/m³ après examen de données de surveillance de la qualité de l'air d'installations de sable siliceux dans le Minnesota. Des valeurs indicatives existent déjà pour les expositions professionnelles aux particules de silice alvéolaires sur le lieu de travail (MNOSHA, OSHA PEL, ACGIH). Ces valeurs indicatives sont basées sur des données d'expositions à la silice cristallines sur le lieu de travail pendant plusieurs décennies. Le MDH a utilisé ces études pour déterminer un niveau de silice cristalline dans l'air ambiant qui ne devrait pas nuire à la santé humaine sur la base des connaissances scientifiques actuelles. La HBV chronique de 3 µg/m³ est inférieure aux directives ou normes professionnelles en raison des ajustements pour l'exposition continue et de la prise en compte des facteurs d'incertitude pour protéger les populations sensibles.

Le MDH indique que « les données disponibles ne sont pas suffisantes pour élaborer des valeurs sanitaires pour les expositions de courte durée (1 à 30 jours) à la silice cristalline alvéolaire. Des niveaux extrêmement élevés de silice cristalline alvéolaire sont nécessaires pour provoquer des effets sanitaires à court terme chez les personnes exposées professionnellement, niveaux encore plus élevés que ce que la population générale est susceptible de rencontrer dans l'air ambiant. Les normes existantes relatives à l'air ambiant pour les particules (qui comprennent la silice cristalline) offrent une protection contre les effets sur la santé dans ces périodes d'exposition à court terme ».

Enfin, le MDH indique que « la concentration en silice cristalline alvéolaire dans l'air peut varier considérablement d'un jour à l'autre. La surveillance de l'air peut montrer que les valeurs sont parfois supérieures à $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Les valeurs quotidiennes ou hebdomadaires supérieures à $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ne sont pas préoccupantes. La valeur sanitaire est une concentration moyenne annuelle car l'exposition à long terme à la silice cristalline constitue le principal risque pour la santé ».

Données fournies par le Conseil des ressources atmosphériques de Californie (CARB – California Air Research Board, Etats-Unis)

Le CARB a répondu être en charge de l'inventaire complet des émissions de substances toxiques et de polluants atmosphériques encadré par la réglementation CARB AB2588 Air Toxics "Hot Spots". La silice cristalline est l'une des substances chimiques dont les installations doivent déclarer les émissions conformément à l'AB2588. Dans le cadre du programme Proposition 65 de la Californie, l'OEHHA a inscrit la silice cristalline en tant que substance chimique connue comme causant le cancer depuis le 1^{er} octobre 1988. L'OEHHA a évalué la toxicité chronique de la silice cristalline en 2005 et établi une valeur de référence pour l'exposition chronique par inhalation à $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les effets non cancéreux (cf partie 2.3). S'agissant des méthodes, le CARB indique qu'il y a un besoin de lignes directrices afin de mesurer et analyser de manière pertinente les niveaux en silice cristalline alvéolaire dans l'air ambiant afin de les confronter aux valeurs sanitaires. Il faut également que cela soit cohérent avec les émissions déclarées. A ce jour, il existe des méthodes validées par le NIOSH pour les analyses en milieu professionnel. Le CARB estime qu'il serait pertinent dans les émissions mesurées et les niveaux ambiants de prendre en compte la fraction « alvéolaire », qui considère la longueur. En effet, les dimensions des particules et notamment les rapports longueur/largeur influent sur les effets sanitaires de la silice cristalline. Le CARB n'a pas fourni de données de concentration en silice cristalline dans l'environnement.

Données fournies par la Commission texane sur la qualité environnementale (TCEQ – Texas Commission on Environmental Quality, Etats-Unis)

Le TCEQ a répondu qu'un de ses objectifs est de protéger la population générale à proximité des installations industrielles, incluant le secteur de la production de granulats (APO pour *aggregate production operations*), contre les émissions hors site pouvant entraîner des effets néfastes sur la santé. Différentes études ont été conduites afin de documenter les expositions environnementales à la silice cristalline pour la population générale vivant à proximité de ces installations. Les ressources suivantes ont été transmises :

- Document de soutien au développement pour les formes cristallines de silice (Development Support Document (DSD) for silica, crystalline forms) (TCEQ 2009) ;

- Document de soutien au développement pour les formes cristallines de silice, valeur de comparaison de surveillance de l'air de 24 heures (DSD for silica, crystalline forms 24-hour air monitoring comparison value AMCV) (TCEQ 2020a) ;
- Silice cristalline : surveillance de l'air ambiant et évaluation des impacts sur la santé communautaire près des opérations de production d'agrégats (Crystalline silica: ambient air monitoring and evaluation of community health impacts near aggregate production operations) (TCEQ 2020b) ;
- Rapport intérimaire sur la surveillance ambiante des particules, y compris de la silice cristalline, près des installations d'APO, (Ambient monitoring of particulates, including crystalline silica, near APO facilities, interim report) (TCEQ 2023) ;
- Présentation récente sur la surveillance de l'air ambiant de la silice cristalline et des particules près des opérations de production d'agrégats (Recent presentation on ambient air monitoring of crystalline silica and particulates near aggregate production operations).

A ce jour aucune situation d'exposition non professionnelle n'a été identifiée comme particulièrement préoccupante. Des données de surveillance de l'air ambiant pour la silice cristalline ont été collectées en particulier pour les APO. Un rapport intermédiaire (TCEQ 2023) a été publié à ce sujet et les données finales devraient être exploitées puis publiées au cours du premier trimestre 2024.

Il n'existe pas de méthode de référence aux États-Unis pour l'échantillonnage et l'analyse de la silice cristalline dans l'environnement. Dans le cadre de la surveillance de la silice cristalline dans l'air ambiant à proximité des APO, des échantillonneurs pour PM_{2,5} (Méthode de référence fédérale – FRM Federal Reference Method) ont été adaptés pour la collecte de PM₄. La teneur en silice cristalline dans la fraction PM₄ a été mesurée à l'aide de la DRX. Cette méthode a fait l'objet de publications scientifiques (J. Richards et Brozell (2021)) et est utilisée par d'autres institutions pour mesurer la silice cristalline dans l'air ambiant. A l'heure actuelle, il n'existe aucune réglementation fédérale concernant l'exposition environnementale à la silice cristalline aux États-Unis et il n'y a pas à leur connaissance de réglementations fédérales à venir. De la même manière, il n'existe aucune réglementation qui exige la mesure et aucun seuil fédéral à respecter pour la silice cristalline dans l'air ambiant aux États-Unis. Enfin, le TCEQ n'a pas connaissance d'études sur la mesure des particules ultrafines de silice cristalline ou les risques sanitaires liés à l'exposition environnementale à la silice cristalline pour la population générale.

Le TCEQ a dérivé des valeurs de référence en population générale (Reference Value « ReV ») pour la silice cristalline qui s'apparentent à des VTR et pour lesquelles il est précisé qu'elles s'appliquent à la fraction granulométrique PM₄. Ces valeurs sont de trois types : court-terme (1h) à 47 µg/m³, court-terme (24h) à 24 µg/m³ et long terme (vie entière) à 0,27 µg/m³, concentration associée à un niveau de risque de 10⁻⁵. La TCEQ développe également des valeurs de comparaison dans le cadre de surveillance de l'air ambiant, appelées AMCVs pour health-based Air Monitoring Comparison Values. Dans le cas de la silice cristalline, les AMCVs sont identiques aux ReV. La construction de ces valeurs est décrite dans deux rapports d'étude (TCEQ 2009, 2020a).

Pour construire la valeur court-terme 24h (TCEQ 2020a), l'étude clé retenue est celle de Warheit, McHugh et Hartsky (1995). Cette étude de toxicologie aiguë par inhalation a été conduite sur des rongeurs. L'effet critique de l'exposition aiguë à la silice cristalline est

l'inflammation et la cytotoxicité dans les voies respiratoires (augmentation des neutrophiles et de la lactate déshydrogénase dans le liquide de lavage broncho-alvéolaire chez des rats mâles, souche CrI:CD BR). Les rats étaient exposés à de la cristobalite dans l'étude clé mais les autres études identifiées, plutôt subaiguë, démontraient également une inflammation et une cytotoxicité après exposition à d'autres formes de silice cristalline. La LOAEL de Warheit, McHugh et Hartsky (1995) a été prise comme point de départ toxicologique (POD) puis, après extrapolation de la durée d'exposition à 24h et application des facteurs d'incertitude inter-espèces et intra-espèces, une valeur de référence aiguë de 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour 24h a été obtenue. Concernant la construction de la valeur long terme (TCEQ 2009), l'étude clé choisie pour élaborer cette valeur est l'étude de Steenland *et al.* (2001) qui évalue le risque de cancer du poumon et l'exposition à la silice cristalline dans une analyse dose-exposition poolée de 10 études de cohortes comprenant au total 65 980 travailleurs de différents secteurs (mines, poteries, sable industriel, granite, terre diatomée). Par une approche par table de survie, un excès de risque vie entière de cancer a été calculé sur la base de l'estimation par Steenland *et al.* d'un « cancer potency estimates (β) » de 0,0105 mg/m^3 – années sur un lag²² de 15 ans. Puis, à partir de ces paramètres, la concentration inhalée de silice cristalline de 0,27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour un excès de risque de cancer de 1 sur 100 000 a été calculée, correspondant à la valeur long terme.

Parmi les ressources fournies, le TCEQ a également réalisé une compilation des informations disponibles aux Etats-Unis au sujet de la surveillance de la silice cristalline dans l'air ambiant et l'évaluation des impacts sur la santé communautaire près des opérations de production d'agrégats (TCEQ 2020b). Les valeurs sanitaires AMCVs construites par le TCEQ sont recensées ainsi que celles existantes dans d'autres états. Ces informations sont reprises en l'état dans le Tableau 10.

Tableau 10 : Valeurs limites environnementales existantes dans différents états aux US (source : repris et traduit depuis TCEQ (2020b))

État	Organisme	Concentration en silice cristalline (pour les différentes formes quand précisé, en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Durée	Fraction mesurée
Californie	California Environmental Protection Agency's	3	Chronique	PM ₄
Idaho	Department of Environmental Quality	2,5 (cristobalite, tridymite) 5 (quartz, tripoli)	24 heures	Non précisée
Indiana	Indiana Department of Environmental Management	3,1 (valeur de qualité de l'air intérieur)	Chronique	PM ₄
Maryland	Maryland Department of the Environment	0,25	Chronique	PM ₄
Michigan	Department of Environment, Great Lakes, and Energy	3,0	Chronique	PM ₄
Minnesota	Pollution Control Agency	3,0	Chronique	PM ₄

²² Le lag correspond au nombre de jours de décalage entre l'exposition et la survenue de l'évènement de santé.

État	Organisme	Concentration en silice cristalline (pour les différentes formes quand précisé, en µg/m ³)	Durée	Fraction mesurée
New Hampshire	Department of Environmental Services	0,060	Chronique – cancérogène	PM ₄
New Jersey	Department of Environmental Protection	3,0	Chronique	PM ₄
New York	Department of Environmental Conservation	2,0	Chronique	PM ₄
North Dakota	Department of Environmental Quality	0,5 (valeur guide de concentration)	8 heures	PM ₄
Oregon	Department of Environmental Quality	3 (provisoire)	Chronique	PM ₄
Texas	Texas Commission on Environmental Quality	0,27	Chronique – cancérogène	PM ₄
Vermont	Department of Environmental Conservation	0,12	Chronique	Non précisée
Virginia	Department of Environmental Quality	3	Chronique – cancérogène	Alvéolaire
Washington	Department of Ecology	3	Chronique	Alvéolaire

Ce rapport (TCEQ 2020b) synthétise les concentrations retrouvées à proximité d'APO dans divers endroits des États-Unis, considérant un total de 11 études. Différentes fractions granulométriques (PM_{2,5}, PM₄, PM₁₀, PM_{2,5-15}) ont été prélevées et pour des durées généralement de 24 heures mais pouvant aller de quelques heures à 48 heures. Les concentrations maximales obtenues sont de 16,3 µg/m³ dans les PM₁₀ (quelques heures de prélèvement) dans une étude de 2002 et de 8 µg/m³ dans les PM_{2,5-15} dans une étude de 1984. Suite à l'analyse des données disponibles, le rapport conclut que la contribution de la silice cristalline provenant de ces installations aux particules de l'air ambiant est négligeable ou minimale et que les concentrations sont généralement inférieures aux valeurs seuils développées par le TCEQ. Ces résultats sont également comparés avec les concentrations en silice cristalline retrouvée en fond urbain aux Etats-Unis, allant pour les PM_{2,5} dans l'air ambiant de 0 à 1,9 µg/m³ et pour les PM₁₀ de 0,3 à 5,0 µg/m³.

Données fournies par le Comité européen de normalisation et le Comité européen de normalisation électrotechnique (CEN-CENELEC – European Committee for Standardization & European Committee for Electrotechnical Standardization, Allemagne)

Le CEN a transmis uniquement des données d'émissions canalisées. Concernant les données en silice cristalline, le CEN a transmis une publication (Ehrlich *et al.* 2013) qui décrit une méthode de mesure des émissions canalisées de silice cristalline alvéolaire et qui présente les résultats des programmes allemands de mesure des émissions de silice cristalline alvéolaire utilisés pour identifier les installations et les types d'industries présentant les niveaux de concentration les plus élevés de silice cristalline alvéolaire dans les gaz de cheminées. La

proportion et la concentration en silice cristalline dans les PM₄ mesurées dans les différentes industries investiguées sont documentées dans la publication mais il n'y a pas de mesures documentées au niveau des zones riveraines. Les auteurs concluent que les résultats des mesures montrent que la plupart des installations étudiées peuvent respecter la nouvelle valeur limite d'émission (VLE) allemande de 1 mg/m³. La VLE est exprimée en tant que concentration de silice cristalline alvéolaire dans les émissions de cheminée. Les auteurs concluent également que conformément au principe allemand de minimisation des émissions et au principe de précaution, on suppose qu'en respectant la VLE, il n'y a pas de risque pour la santé des personnes vivant autour de ces installations.

Concernant les méthodes de référence d'échantillonnage et d'analyse de la silice cristalline, le CEN a renseigné le manuel VDI/DIN sur la prévention de la pollution de l'air, volume 4 : méthodes d'analyse et de mesure, spécifiquement le VDI 2066 BLATT 11 sur la mesure des particules - Mesure des poussières dans les gaz en circulation - Mesure des émissions de dioxyde de silicium cristallin (quartz et cristobalite) dans la fraction PM₄.

Le CEN précise que : « la présente norme spécifie la méthode de référence normalisée pour la détermination des concentrations massiques de dioxyde de silicium cristallin sous forme de quartz et de cristobalite dans la fraction PM₄ des sources d'émission fixes. La méthode de mesure est basée sur l'échantillonnage selon le principe de l'impaction et la détermination de la masse de dioxyde de silicium cristallin dans une étape analytique ultérieure sur la base de la spectroscopie infrarouge ou de la diffraction des rayons X. Le comité pour les substances dangereuses (Ausschuss für Gefahrstoffe AGS) a déjà déclaré en 2002 que le dioxyde de silicium cristallin sous forme de quartz et de cristobalite (teneur en poussière alvéolaire) a un effet cancérigène sur les êtres humains. Par conséquent, les activités et les procédés au cours desquels les employés sont exposés aux poussières alvéolaires de ces substances ont été classés comme cancérigènes conformément au TRGS 906. Une expertise de l'Agence fédérale allemande pour l'environnement (UBA) sur la réévaluation des substances cancérigènes a conclu que le dioxyde de silicium cristallin sous forme de quartz et de cristobalite (teneur en poussières alvéolaires) doit être répertorié dans l'instruction technique sur la qualité de l'air (TA Luft) en tant que "substances cancérigènes". Par conséquent, les émissions de ces substances dans les gaz résiduels des sources fixes (émissions canalisées) ne doivent pas dépasser un certain débit massique ou une certaine concentration massique. La méthode de mesure spécifiée dans cette norme permet de quantifier les émissions de quartz sous forme de particules et de vérifier ainsi le respect des valeurs limites correspondantes. La présente norme ne s'applique pas aux gaz résiduels saturés de vapeur d'eau ni aux gaz résiduels dont la concentration totale en poussières est supérieure à 20 mg/m³, dont la température est supérieure à 130 °C et dont le taux d'humidité est supérieur à 100 g/m³. La détermination gravimétrique de la fraction de PM₄ ne fait pas partie de cette norme. La présente norme ne peut pas être utilisée pour déterminer la concentration massique totale de poussière. La présente norme s'adresse aux laboratoires d'essai qui effectuent des mesures des émissions de quartz sous forme de particules, aux fabricants des systèmes de mesure correspondants, aux autorités compétentes et aux centres de recherche actifs dans ce domaine ».

Concernant les mesures préventives pour la population générale exposée à la silice cristalline, le CEN a répondu que « des mesures préventives visant à réduire les risques pour les populations exposées à la silice cristalline sont disponibles en Allemagne en vertu d'une

réglementation (TA Luft 2021, Instruction technique Air) ». Une valeur limite d'émission de 1 mg/m³ est documentée dans la publication de Ehrlich *et al.* (2013) mentionnée précédemment.

Enfin, le CEN a également transmis un rapport du Wisconsin Department of Natural Resources publié en 2011 (Wisconsin DNR. 2011) dans lequel des concentrations en silice cristalline issues d'une sélection d'études de surveillance de sites d'activités émettrices de silice cristalline (ex : carrières, sites d'exploitation de sable et graviers, zone de trafic routier, zone agricole) sont documentées. Du fait de l'ancienneté de la date de publication du rapport, les concentrations ne sont pas rapportées ici. Néanmoins, la plupart des études rapportées ont été identifiées dans l'expertise Anses (2019).

Annexe 6 : Éléments complémentaires de discussion concernant l'étude menée par les fédérations professionnelles des industries de carrière sur l'évaluation de la silice cristalline alvéolaire autour de carrières

Ces éléments font suite à un courrier préparé par l'Anses et transmis à la DGPR en mai 2020 qui listait de manière non exhaustive différents critères de qualité pour une étude de ce type. Les critères ont été repris et discutés considérant le rapport d'étude.

Concernant les sites instrumentés, chacun fait bien l'objet d'une description détaillée. Des visites systématiques ont été réalisées préalablement aux mesures et le choix des points de mesures est argumenté dans des tableaux récapitulatifs avec une estimation de la distance par rapport à la carrière. Des clichés satellites sont également fournis permettant d'apprécier la distance des points par rapport à la carrière. Les zones d'extraction, de concassage ou les lieux de stockage sont localisés sur les clichés ou cartes, mais les zones de roulage des engins sont rarement documentées et aucune zone d'explosion n'est indiquée.

L'activité du site et les données relatives à la production du jour sont décrites. Par contre elles sont hétérogènes en fonction des sites et restent trop succinctes : les productions globales en tonnes ou les arrêts de production en heures sont parfois fournis sur plusieurs jours ; les tirs de mine (oui / non) ou l'arrosage des pistes (oui / non communiqué) sont binaires ; la sortie de matériaux n'est pas renseignée systématiquement ; l'activité de concassage n'est pas documentée. Ainsi, les informations communiquées ne permettent pas d'évaluer l'ensemble des processus émissifs pour chaque site. La durée des tâches et la répartition des tâches par opérateur auraient pu être renseignées. Même s'il n'était pas prévu de mesures individuelles, cela aurait permis d'apprécier le niveau d'activité de la carrière le jour des mesures.

De la même manière, les moyens de protection collective sont partiellement renseignés. Des éléments sont fournis sur la présence ou l'absence de moyens mis en œuvre pour limiter les émissions de poussières mais pas systématiquement pour l'ensemble des sites.

Concernant les prélèvements, des informations sur les préleveurs et les conditions opératoires sont bien fournies avec un relevé des données météorologiques et de vent. Par contre, l'humidité du sol n'est pas renseignée. De plus, la résolution temporelle des relevés n'est pas précisée. De plus, aucune mesure en bord de piste n'a été réalisée, ce qui aurait permis d'évaluer la remise en suspension des poussières par le passage des camions.

S'agissant de l'analyse de la silice cristalline, la méthode par DRX et les limites de quantification pour les différents polymorphes sont fournies (excepté pour la tridymite). Pour autant, les interférents ou les paramètres de fonctionnement ne sont pas communiqués. De plus, le tableau décrivant les limites de quantification pour chaque polymorphe de la silice cristalline mentionne les PM₁₀ uniquement.

Concernant les incertitudes, il est simplement écrit qu'elles se situent dans les limites prescrites pour la matière particulaire dans l'air ambiant.



anses

CONNAÎTRE, ÉVALUER, PROTÉGER

AGENCE NATIONALE DE SÉCURITÉ SANITAIRE
de l'alimentation, de l'environnement et du travail

14 rue Pierre et Marie Curie 94701 Maisons-Alfort Cedex
www.anses.fr — [@Anses_fr](https://twitter.com/Anses_fr)