

NUMÉRO SPÉCIAL : POUSSIÈRES PÊLE-MÊLE

Poussières Minérales et Santé

Bulletin d'information documentaire destiné
aux professionnels des poussières minérales
et de la santé



INERIS

Numéro spécial : poussières pêle-mêle

SOMMAIRE

■ Analyses

- Exposition aux poussières : surveillance de l'air
- Convention de prélèvement des particules
- Métrologie : essais inter laboratoires (EIL) dosage de silice cristalline
- Métrologie : essais inter laboratoires dosage de silice cristalline
- Valeurs limites d'exposition professionnelle : divergences selon les pays
- Exposition à la silice et risque de silicose
- Exposition à la silice et risque de silicose : Tanzanie
- Autres professions exposées à la silice : examens radiologiques
- Apoptose et silice

■ Références

■ Sélection d'articles récents

■ Congrès, colloques

Vous serez peut-être surpris, chers lecteurs, par la présentation de ce numéro qui, sur les conseils des membres du comité de suivi, dont je tiens à souligner et remercier par une voie qui ne m'est pas coutumière le dynamisme et la passion qui les animent en permanence, se veut être un peu moins spécialisé.

Nous avons choisi de revenir sur certains des thèmes abordés dans les précédents numéros (parfois succinctement au cours d'une simple analyse d'article), en y apportant une vision plus globale, parfois sous forme de schéma, alimentée par les articles récents de ces dernières années.

C'est volontairement que vous retrouverez également dans ce numéro les poussières actrices à la fois en milieu industriel et environnemental. Les poussières, d'où qu'elles proviennent, se déposent en fonction de leur diamètre aérodynamique dans l'arbre respiratoire au niveau des voies aériennes supérieures (de 100 à 30 μm), du larynx jusqu'aux bronches (de 30 à 5 μm) ou atteignent les bronchioles et zones alvéolaires ($< 5 \mu\text{m}$). La distribution en taille d'un aérosol est donc déterminante vis-à-vis de l'impact qu'il aura sur l'appareil respiratoire. On comprend pourquoi en milieu urbain les poussières très fines ($\text{PM}_{2,5}$) susceptibles de pénétrer dans le poumon profond, au même titre que les poussières alvéolaires déjà contrôlées en hygiène industrielle, vont rapidement venir compléter la réglementation sur la surveillance de la qualité de l'air qui aujourd'hui concerne uniquement les particules de plus grosse taille (PM_{10} qui ont un diamètre aérodynamique moyen de 10 μm). Nous avons souhaité à ce sujet revenir sur les différentes étapes qui conduisent à élaborer une valeur réglementaire, en prenant ici l'exemple des silices en milieu professionnel. Cet exercice, difficile et complexe, peu conduire à des valeurs avec des écarts parfois énormes. L'Allemagne, par exemple, est l'un des seuls pays à refuser de définir une valeur limite pour la cristobalite en raison de son caractère potentiellement cancérigène...

Par contre, les études épidémiologiques conduisent invariablement les auteurs à insister sur le respect à la lettre de ces valeurs réglementaires, qui dans un contexte de guérison thérapeutique inexistante, demeurent le seul moyen de protection des travailleurs contre la silicose. Une vigilance stricte s'impose tout particulièrement afin d'éviter les expositions à fortes doses, qui sont, même pour un temps bref, très vites synonyme de silicose. Même si les pays en voie de développement détiennent les tristes records en terme de fréquence et de gravité, la silicose demeure également bien présente en Europe où elle touche des professions aussi variées qu'un ouvrier du BTP ou un jardinier d'une serre ! Vous verrez d'ailleurs, au cours d'une brève incursion dans le domaine de la recherche, que les équipes s'attèlent plus que jamais à décrypter les mécanismes qui permettront demain de trouver les armes pour combattre efficacement la silicose.

Un grand merci à celles et ceux qui ont répondu au questionnaire de satisfaction. Continuez à nous faire part de vos précieuses remarques, le dialogue étant toujours source de progrès !

Dominique OBERSON-GENESTE

Exposition aux poussières : surveillance de l'air



Les poussières présentes dans l'atmosphère des lieux de travail font depuis de très nombreuses années l'objet d'une réglementation française en hygiène industriel, brièvement et non exhaustivement présentée sur la partie droite de ce schéma ci-contre. Ces "mêmes" poussières ont été plus récemment intégrées dans un décret réglementant la qualité de l'air ambiant (air extérieur de la troposphère à l'exclusion des lieux de travail), traduisant l'inquiétude qu'elles suscitent en terme d'effet sur la santé au travers de publications et rapports scientifiques de plus en plus nombreux et sur lesquels nous reviendrons.

La surveillance des concentrations en poussières dans l'environnement (tout le territoire à l'exception des lieux de travail) est régie par la directive européenne 199/30/CE du 22 avril 1999, ayant pour principaux objectifs concernant ce polluant :

- d'établir des valeurs seuils d'alerte afin de prévenir ou de réduire les effets nocifs pour la santé humaine et pour l'environnement dans son ensemble,
- d'évaluer leurs concentrations dans l'air ambiant sur la base de méthodes et de critères communs.

Ainsi les associations de surveillance de la qualité de l'air en France (320 points de mesures) enregistrent les concentrations des PM_{10} pour vérifier l'objectif de qualité fixé en 2005 à $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle et 35 dépassements annuels de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (décret français n°202-213 du 15 février 2002).

Les États-Unis disposent d'une norme américaine de la qualité de l'air (1997) (NAAQS : National Ambient Air Quality Standards) qui réglemente à la fois les PM_{10}

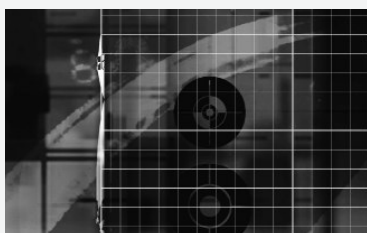
et les $PM_{2.5}$. La volonté d'inclure les $PM_{2.5}$ dans la norme américaine a été consécutive aux résultats d'études épidémiologiques mettant spécifiquement en cause l'implication des $PM_{2.5}$ dans l'augmentation du risque de mortalité et morbidité. La norme européenne prévoit également d'inclure très rapidement ce paramètre parmi les indicateurs de la qualité de l'air (des débats subsistent sur la valeur de 15 ou $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à adopter), mais et il faut signaler que la France dispose déjà de nombreux points de mesures des $PM_{2.5}$.

A titre d'information, soulignons que l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) n'a pas défini dans sa seconde édition (2000) des "Directives de qualité pour l'air" de valeurs guides pour les PM_{10} et $PM_{2.5}$, contrairement à la précédente édition. L'OMS justifie sa position en indiquant que les études à court ou à long terme ne permettent pas de définir de seuil en dessous duquel aucun effet néfaste pour la santé ne soit perceptible. L'OMS considère les PM_{10} et $PM_{2.5}$, comme étant des substances « sans seuil », pour lesquelles un effet peut apparaître quelle que soit la dose d'exposition.

En milieu industriel, l'exposition des travailleurs aux poussières sans effet spécifique est réglementée par une valeur limite de moyenne d'exposition (VME), déterminée en principe sur 8 heures de travail de $10 \text{ mg}/\text{m}^3$ pour la fraction inhalable et de $5 \text{ mg}/\text{m}^3$ pour la fraction alvéolaire. Ces valeurs s'appliquent, à titre d'exemple au silicium, dioxyde de titane, poussières d'oxyde de Zinc et fumées d'oxyde de Zinc (fraction alvéolaire).

En parallèle, les poussières connues pour avoir un effet autre que celui d'une simple surcharge pulmonaire sont alors soumises à des valeurs spécifiques que nous avons déjà eu l'occasion de citer pour les silices

Air ambiant



Milieu professionnel



Valeurs limites

UE (traduit en droit français) 2002

PM 10 : 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ moy. An. (2005)
50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (sur 24 h, 35 j./an)

US EPA (États-Unis) 1997 (en cours de révision)

PM 10 : 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ moy. An.
150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (sur 24 h, 1 j./an)

PM 2.5 : 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ moy. An.
65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (sur 24 h, 1 j./an)

OMS aucune valeur réglementaire (2000)

Poussières sans effet spécifiques :

VME : 10 mg/m^3 (fraction inhalable)
VME : 5 mg/m^3 (fraction alvéolaire)

Poussières à VLEP particulières :

silices cristallines, amiantes, plomb, aérosols très fins (fumées de soudure, décapage)

VME : 0,1 mg/m^3 quartz
VME : 0,05 mg/m^3 cristobalite et tridymite

RGIE 1994

Poussières inhalables, pour surveiller la réduction des émissions de poussières par autocontrôle

Poussières alvéolaires siliceuses, pour surveiller l'exposition des travailleurs

cristallines, mais qui concernent également l'amiante, les poussières de plomb, les aérosols très fins, ou encore les poussières de bois dont la VME est récemment passée de 5 à 1 mg/m^3 depuis le 1^{er} janvier 2005. Autre particularité, les poussières contenant plusieurs variétés de silice doivent également répondre à une VME formulée en fonction des différents pourcentages de quartz, cristobalite et de tridymite présents dans les poussières.

Sans s'attarder plus sur ces nombreuses réglementations, rappelons également que dans le cas particulier des mines et des carrières, la surveillance du taux d'empoussièrement est régie par le Règlement Général des Industries Extractives (RGIE : décret du 2 septembre 1994 complétant le RGIE institué le 7 mai 1980/1994) ayant pour objet la maîtrise de l'inhalation de poussières minérales essentiellement pour prévenir la silicose. Les poussières alvéolaires siliceuses, qui correspondent à la fraction de poussière inhalable susceptible de se déposer dans les alvéoles lorsque la teneur en quartz excède 1 %, sont réglementées par une valeur qui

sera elle aussi déterminée en fonction du pourcentage de quartz mesuré par prélèvement (et non des autres formes de silice cristalline).

En dressant ce rapide tableau non exhaustif des valeurs réglementaires concernant l'exposition aux poussières, on voit que ces deux secteurs font appel à une terminologie spécifique. En effet, les conventions de prélèvement utilisées en hygiène professionnelle font référence aux fractions inhalable ("inspirable" en anglais), thoracique et alvéolaire ("respirable" en anglais) décrites dans la norme NF ISO 7708 (1996), alors qu'en matière d'environnement les poussières sont réglementées par l'intermédiaire des PM_{10} (cf. norme NF EN 12341 de 1999), et sans doute bientôt les $\text{PM}_{2,5}$.

Les courbes théoriques de prélèvements des particules, normalisées dans les deux secteurs, permettent de visualiser entre autre la fraction conventionnelle inhalable représentative (sauf exception) de l'exposition en milieu professionnel. Celle-ci correspond à la fraction des aérosols de

diamètre inférieur à 100 μm qui pénètrent et se déposent dans les voies respiratoires, soit par la bouche ou le nez. La superposition des courbes fait apparaître une forte similitude entre la fraction thoracique définie pour l'air des lieux de travail et la convention environnementale des PM_{10} , dont le diamètre aérodynamique de coupure est dans les 2 cas de 10.0 μm . Ces deux fractions correspondent physiologiquement à la fraction des aérosols qui pénètrent et se déposent au-delà du larynx. Enfin, la plus fine (seuil de coupure à 4 μm) correspond à la fraction des aérosols qui pénètrent et se déposent dans la région alvéolaire. Cette fraction alvéolaire réglemente notamment les expositions aux différentes formes de silice cristalline présente dans l'air des lieux de travail.

Convention de prélèvement des particules

L

e graphique ci-dessous montre assez simplement que les PM_{10} (souvent à tort assimilées à une fraction alvéolaire) ne sont certainement pas les meilleurs indicateurs de la pollution particulaire, surtout si l'on tient compte du fait que 90 % des particules de l'aérosol atmosphérique ont un diamètre inférieur à $0,1 \mu m$. Si l'Union Européenne tarde à réglementer les $PM_{2,5}$ (prélèvements non encore normalisés), la France et d'autres pays européens se sont déjà attelés à suivre l'évolution des $PM_{2,5}$ soit par mesure directe, où le plus souvent par des estimations à partir des PM_{10} . Le danger réel que représentent ces poussières fines et ultra-fines pour la santé s'étend progressivement de l'environnement au milieu professionnel, en raison notamment de l'apparition récente des nanotechnologies. La notion de particules dites "inertes", comme la silice amorphe ou les particules de TiO_2 fortement sollicitées dans ces nouvelles technologies, est progressivement supplantée par les interrogations que suscite la toxicité de ces particules de taille inférieure au micron. Finalement, les milieux professionnels ou environnementaux sont parfois confrontés à des problèmes qui soulèvent des questions de fond bien similaires.

Insistons sur la notion d'exposition qui revêt un caractère essentiel dans la caractérisation du risque. En effet, une substance aussi

dangereuse soit-elle ne constituera jamais un risque pour une personne qui ne la respire pas. À l'inverse, une mauvaise évaluation de l'exposition d'un individu ou d'une population à une substance nocive conduira à une appréciation erronée du risque pour la ou les personnes exposées. De la

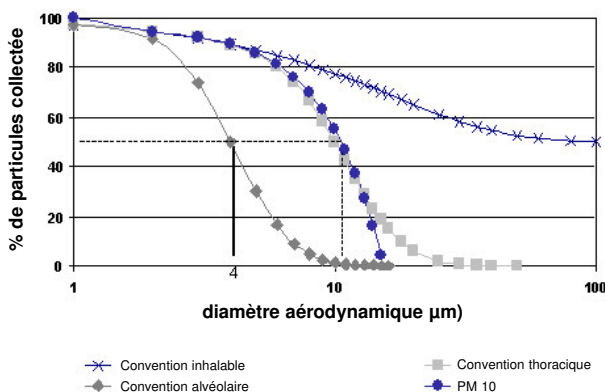
précision de l'évaluation de l'exposition découlera l'ensemble des mesures prises pour limiter les risques.

Or, la métrologie des particules est soumise, entre autre, à l'efficacité des échantillonneurs proposés par les constructeurs qui ne respectent jamais parfaitement la spécification cible (courbes théoriques présentées précédemment). De plus, certains facteurs (la vitesse du vent, l'humidité, la température, etc.) influent sur le comportement des échantillonneurs. La masse de matière particulaire en suspension recueillie sera donc différente de celle qu'un échantillonneur idéal collecterait. L'incertitude de la mesure des particules n'est pas sans conséquence sur de nombreux points :

- difficulté de l'évaluation de l'exposition réelle des travailleurs aux particules (respect des VME)
- la validité « contestée » des études épidémiologiques, mais aussi des études expérimentales, pour lesquelles la notion d'exposition est essentielle ; elle intervient notamment dans la détermination des VLEP (valeurs limites d'exposition professionnelle ou valeur concernant la qualité de l'air)
- cibler la bonne fraction de poussières présentant un risque sanitaire (ex : pollution atmosphérique, PM_{10} , $PM_{2,5}$, fumée noires...). En effet, la méthode de mesure dite des « fumées noires » qui favorisait la captation sur filtre des particules fines inférieures à environ $5 \mu m$ (suies et imbrûlés émis par les unités de combustion fixes et mobiles), est aujourd'hui quasiment abandonnée (peut-être y reviendra-t-on ?).

La qualité des mesures réalisées aussi bien dans le domaine de la qualité de l'air que celui de la sécurité au travail préoccupe de nombreux organismes nationaux en France ou à l'étranger. C'est dans ce contexte que le Conseil de la sécurité et de la Santé du Travail Britannique « Health and Safety Executive » a mis en place depuis 1988, des essais comparatifs entre laboratoires ayant pour objectif de garantir la qualité analytique des substances mesurées, indépendamment des laboratoires (Stacey et al. 2003). En France, l'INRS est notifié par les Ministères chargés du Travail et de la Santé pour organiser des essais inter laboratoires (EIL) par des laboratoires agréés ou sollicitant l'agrément.

Convention de prélèvement des particules



FRACTION THORACIQUE # FRACTION PM 10

Métrologie : essais inter laboratoires (EIL) dosage de silice cristalline

P

our le quartz, l'étude de Stacey rappelle que ces essais ont été normalisés à partir de 1998, en laissant néanmoins libre choix aux laboratoires des méthodes utilisées parmi lesquelles : méthodes directes (analyses aux IR ou RX), méthode indirecte (préparation au bromure de potassium suivie d'une analyse IR). Les résultats d'analyses des échantillons, contenant de la silice cristalline et distribués au début de l'essai dans 23 laboratoires, puis

réduit à 14 (6 anglais, 7 réparties dans l'UE et 1 aux États-Unis), avaient pour objectif de comparer l'aptitude d'analyse entre les laboratoires, de comparer les performances analytiques des différentes méthodes employées et juger de la qualité de l'analyse selon le type d'échantillon.

Étude (GB) : EIL

(Conseil de la sécurité et de la Santé du travail)

Participation de 23 à 14 laboratoires en fin d'essai



- quartz pur
- quartz + calcite
- dalles de revêtement



- Aptitude des laboratoires
- Comparaison des méthodes d'analyse

Méthodes d'analyses (directe)

Infra rouge

Analyse des fréquences de vibration des liaisons inter-atomiques dynamique de chaque minéral

Rayon X

Méthode basée sur la loi de Bragg utilisant les distances inter-atomiques de chaque minéral

Méthodes d'analyses (indirecte)

Transfert sur filtre à membrane d'argent ou Bromure de potassium avant analyse RX ou IR

Métrologie : essais inter laboratoires dosage de silice cristalline



Les répliques de filtres chargés à l'identique entre 60 et 640 µg en poussières de silice ont été contrôlées par analyse IR avant d'être transmises aux différents laboratoires (particules de quartz d'un diamètre aérodynamique moyen de 2,8 µm). Au total 680 données ont été comptabilisées.

Les résultats des différents laboratoires ont permis de calculer un coefficient de variation (écart-type/moyenne) de 11,5 %, lourdement affecté par les mauvais résultats d'un petit nombre de laboratoires. Un réexamen des données, excluant celles des laboratoires utilisant une méthode d'analyse indirecte, a réduit cette valeur à 8,5 %.

Par ailleurs, parmi les données recueillies uniquement par les 2 méthodes d'analyse directe des filtres, les auteurs ont observé une augmentation des valeurs de coefficient de variation qui sont passées de 4 % pour les répliques fortement chargées en poussières (> à 400 µg) à 10 et 15 % pour les filtres les plus faiblement chargés (<à 100 µg). Cette observation est d'autant plus importante, qu'elle met l'accent sur la difficulté des méthodes de mesures des faibles doses d'exposition.

Concernant les méthodes d'analyse IR ou RX, les données recueillies à partir des échantillons d' α -quartz pur n'ont pas mis en évidence de performance analytique plus importante d'une méthode par rapport à l'autre. Par ailleurs, des échantillons contenant des poussières mixtes (considérées comme plus réalistes vis-à-vis

l'exposition des travailleurs) ont été inclus dans les essais : des mélanges de calcite pure et de quartz ; des poussières issues du sciage par une machine-outil de dalles de revêtement (1 échantillon contenant du $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaCO_3 , quartz et des traces de feldspath). Dans ce dernier cas uniquement, les analyses aux IR (interférence avec les silicates) se sont révélées moins précises que celles aux RX.

A noter, sur ces deux derniers points, que l'INRS vient de terminer en 2004 (résultats encore non publiés) une étude dont les objectifs étaient de déterminer si l'une ou l'autre de ces méthodes étaient exemptes de biais, et de rechercher les interférences possibles pour l'une ou l'autre des méthodes en fonction du secteur d'activité étudié. Ces recherches montrent bien que l'outil analytique reste un point fondamental dans l'aboutissement de la recherche d'une meilleure protection de l'homme vis-à-vis de son environnement.

En milieu professionnel, la protection des travailleurs passent en effet par le respect des VME et l'étude de Stacey, que nous venons de citer, s'inscrit dans un travail plus global et ambitieux de révision de la VME actuellement en application en Grande Bretagne pour la silice cristalline (VME de 0,3 mg/m³ sur 8 h. et surveillance des travailleurs exposés à plus de 0,1 mg/m³ ; 2002). Toutes les difficultés qui résident dans la détermination des VLEP, parfois bien disparates pour une même substance d'un pays à l'autre (comme en témoigne le tableau récapitulatif ci-après, volontairement limité à différentes formes de silice) sont rappelées dans la publication de Haber et al. ; 2002.

RÉSULTATS

- ✓ coefficient de variation (écart-type/moyenne) de 11,5 % tous laboratoires confondus, et réduit à 8,5 % en excluant les analyses par méthodes indirectes.
- ✓ coefficient de variation passe de 4 à plus de 10 % selon que le filtre est fortement (400 µg) ou faiblement (100 µg) chargé : **pose le problème de l'analyse dans le cadre des faibles doses d'exposition.**
- ✓ les techniques d'analyses directes IR ou RX ont des performances équivalentes vis-à-vis d'échantillons de quartz pur.
- ✓ l'analyse aux RX est plus performante dans le cas d'échantillons de poussières mixtes contenant du quartz (interférence des silicates par la méthode IR).

Valeurs limites d'exposition professionnelle : divergences selon les pays



La terre de diatomée naturelle (silice amorphe) est rarement rencontrée à l'état pur. Selon la source, elle peut contenir un bas pourcentage de quartz, rarement supérieur à 2 %. Le traitement de la silice amorphe par calcination à hautes températures, avec ou sans l'utilisation concomitante de fondants, change la silice de la forme amorphe à la forme cristalline (cristobalite). La diatomite calcinée peut contenir de 20 à 60 % de cristobalite.

En ce qui concerne la terre à diatomée non calcinée, les États-Unis ont déterminé une valeur par défaut faisant référence aux poussières dites inertes. En Allemagne, la valeur de 4 mg/m³ est basée sur une valeur de DMENO (Dose Minimale pour laquelle un Effet Nocif est Observé : LOAEL en anglais) de 6 mg/m³, dont l'aspect significatif des effets observés (chez le rat) reste discutable. En France, la silice amorphe n'est pas soumise à une réglementation particulière et doit répondre à une VME de 5 mg/m³ qui fait référence aux poussières alvéolaires sans effets spécifiques.

La Terre à diatomée calcinée n'est pas soumise à une VLPE aux États-Unis, car l'ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) recommande de se rapporter aux valeurs limites d'exposition des 3 principales formes de silice cristalline formées au cours de ce procédé de chauffage à haute température. En Allemagne, la terre à diatomée calcinée, de même que la fumée de silice (décrite ultérieurement), sont reconnues comme étant des formes susceptibles d'entraîner des effets fibrosants, bien qu'en règle générale à un degré moins important que la silice cristalline. Ces remarques ont conduit l'Allemagne à établir une valeur MAK (assimilable à une VME) de 0,3 mg/m³.

En France, les poussières alvéolaires contenant une ou plusieurs formes de silice cristalline et d'autres poussières non silicogènes, doivent répondre aux conditions suivantes : $Cns/Vns + Cq/0,1 + Cc/0,05 + Ct/0,05 \leq 1$ (Cns représente la valeur limite de moyenne d'exposition pour les poussières alvéolaires non silicogènes, Vns la valeur limite de moyenne d'exposition pour les poussières alvéolaires sans effet spécifique (5 mg/m³), Cq, Cc et Ct les concentrations respectives en quartz, cristobalite et tridymite).

Par ailleurs, la fumée de silice, émanant de certains procédés métallurgiques et utilisée comme sous-produit de l'industrie en tant qu'adjuvant minéral dans le béton, fait également l'objet d'une valeur réglementaire aux États-Unis (TLV-TWA, à rapprocher d'une VME française) de 2 mg/m³. Cette valeur a été déterminée à partir de l'observation d'anomalies radiologiques de travailleurs exposés à de fortes concentrations de fumée de silice. Les auteurs ont rapportés ces anomalies chez moins d'1 % des travailleurs exposés moins de 5 ans et 14 % parmi ceux exposés plus de 10 ans. Les mesures d'exposition réalisées au cours de cette étude n'ont pas permis de déterminer une valeur seuil sans effet sur la santé. Finalement, l'exposition à la silice (fraction alvéolaire) a été estimée à 1,6 mg/m³ à partir de la teneur pulmonaire en silice.

En ce qui concerne les différentes formes de silice cristalline, les VLEP (lorsqu'elles existent) sont nettement inférieures à celles déterminées pour la silice amorphe. L'ACGIH a, en 2000, procédé à une diminution de TLV-TWA pour le quartz en passant de 0,1 à 0,05 mg/m³ (poussières alvéolaires), en raison de plusieurs études récentes ayant mis en évidence l'incidence de silicose chez des travailleurs exposés à des concentrations proches de la précédente valeur. Les États-Unis ont alors adopté une valeur commune aux 3 formes de silice cristalline, alors qu'initialement le quartz était considéré comme potentiellement moins dangereux que la cristobalite et la tridymite (position de la France aujourd'hui).

Les Pays-Bas ont adopté une valeur intermédiaire de 0,075 mg/m³, commune aux 3 substances, en 1992. En 1998, une nouvelle évaluation a conduit ce pays à classer le quartz et la cristobalite parmi les substances cancérogènes chez l'homme. Dans ce contexte, il est probable que ces valeurs vont être révisées et pourraient, comme en Allemagne (2001), aboutir à un retrait de ces valeurs.

VLEP pour différentes formes de silice en mg/m³

	États-Unis	Pays-Bas	Allemagne	Justification pour VLEP	
FORMES DE SILICE AMORPHE					
Terre à diatomée non calcinée	10 (inhal.) 3 (alv.)	- -	4 (inhal.) -	- valeur déterminée par défaut (États-Unis ; 1996) - fait référence à une DMENO de 6 mg/m ³ chez le rat (Allemagne ; 1991)	Silice amorphe Pas de valeur spécifique 5 mg/m ³ (alv.)
Terre à diatomée calcinée	-	-	0.3 (alv.)	- pas de valeur aux États-Unis (se reporter à la nature cristalline des formes produites ; 1996) - considérée comme dangereuse, mais à un moindre degré que la silice cristalline (Allemagne ; 1991)	
Fumée de silice	2 (alv.) (DMENO)	-	0.3 (alv.)	- estimée à partir d'une DMENO de 1,6 mg/m ³ chez l'homme (États-Unis) - considérée comme dangereuse, mais à un moindre degré que la silice cristalline (Allemagne ; 1991)	
FORMES DE SILICE CRISTALLINE					
Cristobalite	0.05	0.075	- (cancérogène)	- valeurs révisées en 2000 sur la base des résultats d'une étude épidémiologique (États-Unis)	Cristobalite 0,05
Quartz	0.05	0.075	- (cancérogène)	- valeur ancienne 1992 (Pays-Bas), révision probable ?	Quartz 0,1
Trydimite	0.05	0.075	- (cancérogène)	- considérée comme cancérogène sans valeur seuil (Allemagne, 2001)	Trydimite 0,05

Finalement, les écarts parfois énormes rencontrés d'un pays à l'autre résultent de la complexité qui consiste à intégrer de très nombreux paramètres :

- ✓ difficultés pour définir ce qui peut être considéré comme un effet inacceptable d'une substance,
- ✓ difficultés de rapporter à l'homme une donnée toxicologique observée chez l'animal (sensibilité différente, spécificité physiologique, conditions d'expérimentation différentes des situations réelles, sensibilité différente d'un homme à l'autre pour une même nuisance, etc.),
- ✓ pas d'intégration de la pénibilité de certains travaux dans l'établissement des VLEP (ambiance chaude, charge physique) modifiant parfois les caractéristiques de pénétration ou de métabolisation de certains produits,
- ✓ les données scientifiques concernant les produits se rapportent le plus souvent à des produits purs, mais non aux mélanges complexes généralement retrouvés sur les lieux de travail,
- ✓ les valeurs limites sont fixées en tenant compte généralement de la pénétration par la voie pulmonaire, sans tenir compte des possibles voies percutanée ou orale (notamment pertinent dans le cadre des poussières mixtes contenant des métaux),
- ✓ une valeur limite intègre de nombreux critères (scientifiques, techniques, sociaux, économiques voire psychologiques) tous évolutifs ; les VLEP le sont donc également,
- ✓ les pays utilisent des processus d'évaluation et des critères

d'appréciation différents, d'où des disparités des VLEP proposées selon les différents pays,

- ✓ en ce qui concerne les substances cancérogènes, il est actuellement souvent impossible de déterminer formellement un seuil de concentration au-dessous duquel le risque est inexistant.

La recherche en matière d'effet et de protection sur la santé a donc l'obligation de ne négliger aucune de ces approches.

L'une d'elle consiste à s'interroger sur l'importance que peut revêtir l'intensité de l'exposition dans la relation exposition au quartz et risque de silicose. La British Coal Industry's Pneumoconiosis Field Research (PFR) a pendant plus de 30 ans (1953-1991) réalisé des mesures de poussières respirables et de concentration en quartz dans de nombreuses mines (25 mines de charbon au début de l'étude). La fréquence des mesures pouvait varier de 3 par mois pour les travailleurs en surface, à plus de 50 annuelles dans les groupes les plus exposés. Ces données ont été confrontées aux radiographies pulmonaires de 547 mineurs réalisées dans le cadre de leur suivi médical au cours de cette même période.

Les nombreuses analyses des données réalisées successivement par Buchanan (2003) et Soutar (2004) s'attachent à démontrer que l'important en terme de risque de silicose se situe bien par rapport aux doses d'exposition, et non simplement à l'exposition cumulée (concentration x durée d'exposition), tout particulièrement dans les cohortes où les mineurs ont été exposés à

des concentrations anormalement élevées en quartz à un moment de leur vie professionnelle.

Les auteurs ont en effet construit, à partir des données médicales et d'exposition recueillies pour chaque individu, un modèle permettant de définir le risque de silicose chez un travailleur exposé sur une période de 15 ans tout en intégrant des durées plus ou moins longues de fortes expositions (> à 2 mg/m³). Ainsi le risque de développer une silicose passera de 2,5 à 10,6 % chez un individu exposé en moyenne à 0,1 mg/m³ si sur une période de 15 ans, il a été exposé 4 mois à une forte concentration. Le risque augmente de manière vertigineuse si cette exposition se prolonge même de quelques mois (35 % pour 8 mois, 72 % pour 12 mois, etc.), alors que l'exposition cumulée équivalente diffère très peu selon ces cas de figure et reste dans la fourchette d'une relativement faible exposition voisine de 2,60 g/h/m³. A titre de comparaison, le risque ne sera « que » de 20 % pour un homme exposé 15 ans en moyenne à 0,3 mg/m³ avec néanmoins une exposition cumulée importante de 7,83 g.h.m³. On comprend aisément que la concentration sur une courte période n'ait que peu d'influence sur le risque, en contribuant uniquement à une faible augmentation de la valeur de l'exposition cumulée. Néanmoins, le rôle prépondérant joué par la clearance pulmonaire (élimination biologique naturelle de la silice) qui sera fortement ralentie par un apport massif de poussières sur une période courte, alors que l'inflammation sera mieux contrôlée dans le cas d'une exposition plus faible sur une période plus longue.

Exposition à la silice et risque de silicose

E

Enfin, ces analyses viennent également alimenter le débat sur le choix des valeurs limites d'exposition au quartz avec notamment un risque de développer une silicose estimé, dans le cadre réglementaire actuellement en application en France, à 2,5 %. Cette question est également soulevée par Churchyard (Churchyard et al., 2004) qui a mis en évidence dans une cohorte de 520 mineurs exposés en moyenne 22 ans [6,3 à 34,5] à une concentration moyenne de poussières alvéolaires de 0,37 mg/m³ et de 0,053 mg/m³ (0 à 0,095) de quartz une prévalence de la silicose de 18 à 19 %. Même si d'éventuels écarts de concentration ne peuvent totalement être écartés, notamment dans le cas où les expositions dans ces mines d'or d'Afrique du sud remontent à plus de vingt ans (fiabilité des systèmes de contrôle des mesures), les auteurs considèrent la valeur limite de 0,1 mg/m³ de silice cristalline comme étant non acceptable. L'écart entre l'estimation d'un risque de silicose de 2,5 % et la prévalence de 18 % observée pour une exposition censée être dans ces deux études identique illustre combien la maîtrise de tous les paramètres d'exposition est complexe. La priorité, en terme de prévention des risques pour la santé, est sans aucun doute le contrôle des faibles doses d'exposition. Les expositions à de fortes doses, mêmes brèves, doivent strictement être évitées.

Ce n'est malheureusement pas le cas dans de nombreux pays en voie de développement, où les mines de petites échelles, faiblement mécanisées, emploient en général une main d'œuvre importante (13 millions dans le monde) dans des conditions de travail souvent très éloignées

des standards internationaux. C'est en République de Tanzanie que ces mineurs sont les plus nombreux, estimés en 1999 à 600 000. Une étude pilote a été réalisée dans les collines de Mererani, au nord du pays, près de la ville d'Arusha où est exploitée la Tanzanite, silicate de calcium et d'aluminium que l'on trouve à environ 500 mètres de profondeur (Bratveit et al., 2003).

Des prélèvements individuels de poussières alvéolaires (n=15) et poussières « totales » (n=5) ont été réalisés au cours des différentes phases d'exploitation pendant 3 jours consécutifs sur 21 des 50 travailleurs employés dans la mine. Les prélèvements ont débuté immédiatement avant l'entrée dans le puits, et ont duré jusqu'au moment de la sortie du puits (soit 5 à 8 heures plus tard). Les fractions de poussières alvéolaires contenaient un fort pourcentage de quartz (14 %). Les mesures d'exposition réalisées au cours des travaux de forage, dynamitage et travail à la pelle ont révélé des concentrations élevées de poussières alvéolaires 15,5 mg/m³ (2,4 mg/m³ de silice cristalline et 1,5 mg/m³ poussières combustibles respirables) et poussières totales (28,4 mg/m³). Lorsque seul le travail à la pelle et chargement des sacs ont été pris en compte, les valeurs moyennes d'exposition aux poussières alvéolaires étaient de 4,3 mg/m³ et de 1,1 mg/m³ pour la silice cristalline.

ENQUÊTE

British Coal Industry's :
programme de recherche sur 35 ans
(1953-1991)
547 mineurs



RÉSULTATS

- ✓ risque important de silicose pour des expositions brèves (quelques mois sur une période de 15 ans) à des concentrations élevées de quartz (> 2 mg/m³), même lorsque l'exposition cumulée est relativement faible.
- ✓ exposition cumulée de 1 g/m³/h à des conc. > 2 mg/m³ équivaut en terme de risque à une valeur de 3 g/m³/h si conc. < 2 mg/m³.
- ✓ risque estimé à 1 % pour une exposition moyenne à 0,02 mg/m³ sur 15 ans et à 2,5 % pour 0,1 mg/m³ (VME française).

**ÉVITER LES EXPOSITIONS À
FORTES DOSES, MÊME BRÈVES**

Exposition à la silice et risque de silicose : Tanzanie

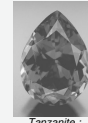
C

ette étude pilote, bien que réalisée sur un nombre limité de participants, montre combien les concentrations d'exposition à la silice sont alarmantes dans ces petites mines, pourvues d'une faible mécanisation, d'une ventilation insuffisante, d'absence de dossiers médicaux, les auteurs n'ont pu quantifier le risque de silicose, mais ont cependant pu le qualifier à très haut risque. Il est probable que l'exploitation de la Tanzanite, site unique au monde, expose les 15 000 mineurs employés sur une surface de 2 à 3 km² à des concentrations de silice cristalline 50 fois supérieures aux valeurs guides recommandées par l'organisation mondiale du travail !

La silicose peut frapper également bien d'autres milieux professionnels, certains très

ÉTUDE PILOTE

prélèvements individuels de poussières respirables (n=15) pendant 3 jours consécutifs (de 5 à 8 h) dans une mine employant 50 mineurs.



Tanzanite : silicate de calcium et d'aluminium



La Tanzanie

RÉSULTATS

- ✓ 14,2 % de quartz et 5,5 % matière combustible dans les poussières respirables.
- ✓ Forage, dynamitage et travail à la pelle : poussières alvéolaires étaient de 15,5 mg/m³, **silice cristalline 2,4 mg/m³**, poussières combustibles de 1,5 mg/m³ et poussières totales de 28,4 mg/m³.

LES MINEURS ONT UN RISQUE ÉLEVÉ DE DÉVELOPPER UNE SILICOSE

connus, comme le secteur du bâtiment et des travaux public, d'autres étant plus anecdotiques comme le travail sur les végétaux (serre, fabrication de natte de jonc).

Autres professions exposées à la silice : examens radiologiques

E

n ce qui concerne la silicose, le diagnostic repose, en plus des aspects cliniques et de l'exploration fonctionnelle, sur la classification radiologique du Bureau International du Travail (Directive de 1980). Les radiographies pulmonaires permettent de rechercher des opacités pulmonaires qui sont classées selon leur densité (« profusion » en anglais) en quatre catégories. La catégorie 0 correspond à l'absence d'opacité ou de petites opacités moins abondantes

que la limite de la catégorie 1, les catégories 1,2,3 étant associées à de petites opacités de densité croissante. La silicose est diagnostiquée, selon le type d'opacité, à partir de la classification 1/0 qui signifie qu'au cours de la lecture du cliché classé 1, on a envisagé la catégorie 0. Cette classification comprend donc 12 subdivisions allant de la plus faible 0/. à la plus forte 3/4 (1/0 étant la 4^{ème} subdivision).

La radiographie pulmonaire standard (par référence au BIT) joue un rôle essentiel dans la surveillance et le dépistage précoce de la silicose. De ce fait, elle peut être en épidémiologie l'outil de base précieux pour permettre d'évaluer l'importance du risque de développer les signes précoces de la

maladie au sein d'une profession potentiellement exposée à des poussières contenant de la silice. Dans l'étude de Nij (Nij et al., 2003), les auteurs ont observé, à partir des lectures radiologiques de 1331 ouvriers du bâtiment dans les Pays-Bas, que 10,2 % des clichés correspondaient à une pneumoconiose déclarée (catégorie 1/0) et 2,9 % à un stade plus avancé de la maladie (1/1). Seul 0,8 % des radiographies ont révélé les premiers signes de nodules silicotiques (petites opacités arrondies), alors qu'en général les lésions correspondaient davantage à des pneumoconioses à poussières mixtes. Malgré les facteurs confondants et biais qui ne peuvent être exclus dans cette étude, le risque de développer une pathologie demeure trop important dans la catégorie des travailleurs du bâtiment employés plus spécifiquement dans la construction. Ce type d'étude, rendue difficile du fait de la diversité des travaux et donc des expositions potentielles à différents types de poussière, doit néanmoins conduire à une réduction de l'exposition aux poussières dans un secteur où l'on manque de recul sur la nature des effets, l'évolution et sur l'amplitude de la relation doses-réponses.

Dans un autre secteur qu'est celui de la fabrication des nattes de jonc, une étude rétrospective met également en évidence une relation entre opacités radiologiques (radiographies complétées par la tomодensitométrie qui souvent permet de confirmer la présence d'un faible nombre de petits nodules) et exposition à de la poussière d'argile utilisée pour prévenir la décoloration des tapis et augmenter leur robustesse. Ces poussières qui contiennent 20 à 30 % de silice cristalline entraînent néanmoins une forme particulière de pneumoconiose marquée par l'absence de nodules supérieurs à 3 mm caractéristiques de la silicose, mais la présence de petites opacités nodulaires inférieures à 3µm distribuées principalement dans la région centrolobulaire des poumons.

Enfin, plus anecdotique, une silicose a été décelée par une radiographie de routine chez un jardinier de 53 ans travaillant le plus souvent dans une serre. La biopsie des nodules pulmonaires, initialement diagnostiqués comme étant des métastases, a finalement révélé la présence de particules biréfringentes. Les résidus minéralogiques étaient composés de 31 % de silice cristalline !

La silicose demeure une pathologie grave qui frappe des secteurs professionnels très différents, et que l'on ne sait toujours pas guérir. La recherche scientifique décortique actuellement le mécanisme de l'apoptose (ou mort programmée de la cellule) et son rôle éventuel dans l'évolution de la silicose ou du cancer du poumon (PMS 8). La protéine P53 est le régulateur majeur de ce mécanisme qui a pour but de vérifier l'intégrité de la transmission du DNA de la cellule mère vers les cellules filles. Elle autorise ou non la poursuite de la duplication du DNA entre la phase de croissance (G1) et la phase de synthèse de l'ADN (S).

ENQUÊTE

Travailleurs dans la fabrication de natte de jonc (exposition moy 30 ans) : étude clinique (7 patients au Japon)

Jardinier de 53 ans



Travailleurs BTP : étude transversale à partir de lectures radiologiques de 1331 sujets (3 lecteurs) (broyage, battage, forage, déblaiement, sciage, polissage)

RÉSULTATS

- ✓ opacités nodulaires < 3 mm chez tous les patients (TDM haute résolution)
- ✓ anomalies bronches et bronchioles
- ✓ déposition de particules en forme d'aiguille de 1 à 20 µm biréfringentes

(Fujimoto et al., 2004)

- ✓ nodules bilatéraux pulmonaires
- ✓ biopsie révèle des nodules avec la présence de particules de silice
- ✓ analyse minéralogique sur site : 31 % SiO₂

(Rottoli et al., 2003)

- ✓ 10,2 % classification ILO 1/0 et +
- ✓ 2,9 % classification ILO 1/1 et plus (exposition moy de 19 ans, âge moyen de 42 ans)
- ✓ anomalies élevées de signes radiologiques avec suspicion d'une forte exposition

(Nij et al., 2003)

Apoptose et silice

A

u cours du processus de cancérisation, il existe probablement des défauts de mise en route de l'apoptose lorsque surviennent des anomalies de l'ADN qui devraient mettre en route l'apoptose. Le gène p53, gène suppresseur de tumeur, est notamment le gène le plus fréquemment muté au cours des cancers, en particulier au cours du cancer bronchique, avec pour conséquence une surexpression de protéine p53 dans les cellules tumorales. L'apparition des lésions du gène p53 semble être un événement précoce du cancer bronchique.

Précédemment l'équipe de Y. Ishihara (Y. Ishihara et al., 2002) avait mis en évidence une baisse de l'expression des ARNm codant pour la protéine p53 chez des souris C57BL/6N ayant reçu une injection intra-trachéale de silice cristalline. Ces premiers résultats sont contredits par les résultats de l'étude de Wang (Wang et al., 2005) qui ont montré aussi bien *in vitro* qu'*in vivo* que la silice induisait l'apoptose des cellules via l'activation de la p53. En effet, les premiers essais *in vitro* réalisés sur une lignée de cellules de l'épiderme de souris (JB6) (particulièrement sensibles à l'apoptose) transfectées par un plasmide porteur du gène de la p53, ont mis en évidence l'augmentation dose-dépendante de l'activation de la transcription de la protéine p53, l'augmentation de l'expression et de la phosphorylation de la protéine. La phosphorylation de la protéine p53 (Ser392) favorise sa stabilité (augmente son temps d'action) et contribue également à augmenter sa propre transcription.

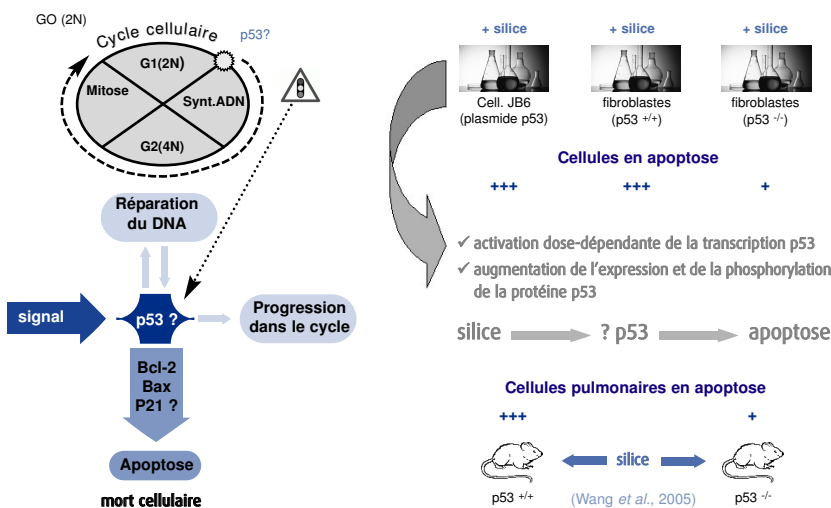
En parallèle, l'apoptose induite par la silice a été démontrée à la fois sur les cellules JB6 et sur une lignée de fibroblastes porteurs du gène de la protéine p53 (p53^{+/+}). Cette même lignée dépourvue du gène de la protéine p53 (p53^{-/-}) s'est révélée bien moins sensible à l'apoptose induite par la silice (70 % plus faible).

Enfin, *in vivo* les auteurs ont comparé la réponse apoptotique des cellules pulmonaires de deux souches de souris C57BL/6 de type sauvage (p53^{+/+}) ou non porteuse du gène de la protéine p53 (p53^{-/-}) soumises à une instillation intra-trachéale (1 mg/souris) de silice fraîchement broyée. Le nombre de cellules en apoptose, essentiellement des macrophages alvéolaires, était deux fois plus important chez les souris p53^{+/+}.

La silice cristalline, substance fibrosante et capable d'induire l'apoptose via la protéine p53, entraîne peut-être la stimulation d'un facteur de transcription capable à la fois de réguler l'apoptose et de jouer de manière concomitante un rôle dans le mécanisme de la fibrose. Si cette hypothèse se vérifiait, le contrôle de l'apoptose par des inhibiteurs de la caspase pourrait limiter la progression de la fibrose pulmonaire.

Enfin, revenons brièvement sur les métaux (PMS n°9) présents dans la quasi-totalité des poussières émises en milieu urbain, avec ici comme source de pollution le métro de New York (Chillrud et al., 2004).

Cette étude réalisée sur 38 jeunes (14 à 18 ans), élèves d'une école acceptant des enfants de différents quartiers de New York, avait pour objectif de rechercher la contribution du métro dans l'augmentation de l'exposition aux particules fines (PM_{2,5}) des adolescents. Des prélèvements (PM_{2,5}) ont été réalisés hiver comme été, sur période de 48 heures, à la fois dans l'air milieu intérieur (habitation), extérieur, métro par postes fixes, et également par des mesures individuelles d'adolescents empruntant ou non le métro, et vivant plus ou moins à proximité du métro. Les résultats de l'étude font apparaître que le métro new-yorkais constitue un microenvironnement déterminant vis-à-vis de l'exposition au Fer (Fe), Manganèse (Mn) et Chrome (Cr) des adolescents. Le temps passé dans le métro est déterminant pour apprécier les niveaux d'exposition à ces différents métaux (en dehors de toute exposition professionnelle).



Pollution atmosphérique urbaine : données métrologiques

Les auteurs font néanmoins remarquer que les valeurs de Mn et de Cr mesurées dans les PM_{2,5} sont de 2 à 3 fois inférieures aux valeurs d'exposition recommandées en milieu professionnel aux États-Unis. Néanmoins, se pose les questions d'exposition aux faibles doses sur une population dite sensible (enfants, adolescent), une durée qui peut être très longue (école, puis travail...), et de ce fait une accumulation possible des métaux dans l'organisme. A noter que les valeurs de Mn = 240 ng/m³ et Cr = 84 ng/m³ mesurées dans les fractions PM_{2,5} collectées dans le métro sont comprises dans les fourchettes des valeurs guides de qualité de l'air recommandées au Canada, États-Unis et Europe (50 à 200 ng/m³ pour le Mn ; 2 à 100 ng/m³ Cr total).

Source de pollution étudiée : Métro de N.Y.
Prélevements réalisés : particules PM_{2,5}

poste fixe	source mobile
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Air à proximité du Métro ✓ Air loin du Métro ✓ Habitation 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Individuel : 38 élèves (14-18 ans) empruntant ou non le métro

RÉSULTATS
Microenvironnement déterminant vis-à-vis de l'exposition des adolescents au Fe, Mn et Cr

Mn : 240 ng/m³ Cr : 84 ng/m³
 mesurés dans les fractions PM_{2,5} collectées dans le métro

- ✓ 2 fois supérieures aux valeurs de l'air extérieur
- ✓ 2 à 3 fois inférieures aux valeurs d'exposition recommandées en MP aux États-Unis

Métro de NY (Chillrud et al., 2004)

En France, la RATP a engagé des campagnes de mesure statiques et mobiles des particules dans le métro parisien. Les résultats des études épidémiologiques en cours devraient permettre de mieux appréhender le risque potentiel que représentent ces particules à la fois pour les agents d'exploitation, les employés des kiosques et boutiques souterrains, et enfin des usagers !

Pollution atmosphérique d'origine industrielle : données épidémiologiques

Par contre, dans le chapitre des risques consécutifs aux effets de la pollution atmosphérique d'origine industrielle, une étude rétrospective a mis en évidence une augmentation spécifique du nombre de naissances prématurées chez les mères vivants à proximité des cimenteries de Portland (à Taiwan), (Yang et al., 2003).

Ville de Kaohsiung (Taiwan)

(Yang et al., 2003)

Principale source de pollution industrielle : Usine de cimenterie de Portland
Étude de la population vivant à proximité de l'usine

Augmentation significative des naissances prématurées chez les femmes vivants de 0 à 2 Km de l'usine (OR 1,30 [1.09-1.54] après de nombreux ajustements

Sur 17 116 naissances enregistrées dans l'étude entre le 1^{er} janvier 1992 et le 31 décembre 1996, les auteurs ont observé une différence significative du pourcentage des naissances prématurées selon que les mères vivent à proximité des usines (0-2 km) (5,71 %) ou à une distance comprise entre 2 et 4 km (4,45 %). Même si il demeure des zones d'ombre dans ce type d'étude (déplacements des mères au cours de leur grossesse, exposition professionnelles, etc.), ces résultats sont suffisamment alarmants pour encourager la poursuite des investigations sur ce sujet, en tentant notamment de quantifier individuellement les différentes sources de polluants auxquels sont exposées les communautés urbaines.

Enfin, pour terminer sur une note plus optimiste, citons l'étude de Lorenzana (2003) qui s'est intéressée à plusieurs programmes de décontamination de sols pollués par le plomb et destinés à réduire l'intoxication chez les jeunes enfants qui se fait principalement par la voie sol main bouche.

Les enquêtes ont été réalisées sur 6 sites pollués localisés au Canada, Australie et États-Unis, où ont été réalisées des interventions de dépollution, et pour lesquelles des mesures de plombémie sanguines ont été réalisées chez les enfants avant et après les mesures de dépollution. Voici, une rapide description de 3 des 6 sites rapportés dans l'article :

- ✓ St Jean sur Richelieu, Québec, Canada : résidence proche d'une usine de recyclage des batteries.

Avant la décontamination des sols en 1989, la plombémie des enfants de la zone 1 (150 mètres de l'usine) était en moyenne de 9,2 µg/dl, et dans la zone 2 (entre 150 et 600 m) de 5,7 µg/dl. L'usine fermée en 89 a été couverte d'asphalte. Dans les zones résidentielles, toutes les surfaces de terre accessibles (mis à part l'herbe et les graviers) ont été remplacées (de 10 à 30 cm de profondeur). En 91, des baisses du taux de plombémie de 44 à 48 % selon les âges ont été observées. Par ailleurs, aucun des enfants de l'étude en 1991 n'avait une plombémie ≥ à 15 µg/dl, contrairement à 1989 (16 enfants).

- ✓ Rouyn-Noranda, Québec, Canada : ville située à 1 Km d'une des plus grandes fonderies du cuivre.

Avant la décontamination des sols en 1989, la plombémie des enfants (2 à 5 ans) était de 10 µg/dl. Entre 1988 et 1991, les émissions par l'usine sont passées de 850 à 300 tonnes/année. Un changement de terre (10 cm), ultérieurement recouverte d'herbe et graviers a été réalisé dans 80 % des habitations. Le taux de plombémie était en 1991 chez les enfants âgés de 2 à 5 ans de 7,3 µg/dl en moyenne, soit significativement plus faible qu'en 1989.

- ✓ Port Pirie, sud de l'Australie. Grande usine pyrometallurgique de plomb.

Intervention de décontamination : véhicules de nettoyage sur site afin de réduire le transport du plomb à l'extérieur, campagne d'information, plantation sur terrain vague, nettoyage intérieur et extérieur des maisons dont les enfants avaient des plombémies ≥ à 25 µg/dl, etc.). La baisse moyenne de 27 % du taux de plombémie observée entre 1984 (17,8 µg/dl) et 1991 (13 µg/dl) n'est vraisemblablement pas uniquement le fait du programme de décontamination.

Réhabilitation de sols pollués par le plomb

(Lorenzana et al., 2003)

Contamination des sols

- ✓ Fonderies au Plomb, cuivre, zinc
- ✓ Retraitement de batteries

6 sites examinés

- ✓ USA, Canada, Australie

Actions menées

- ✓ Remplacement de la terre
- ✓ Sites fermés recouvert d'asphalte
- ✓ Plantations
- ✓ Information de la population, etc...

Baisse significative du taux de Plombémie chez les enfants malgré de nombreux facteurs confondants

L'évaluation de l'efficacité des interventions (asphalte, changement d'une partie de la terre en surface, apport de végétation, information de la population, nettoyage des maisons, etc.) sur la variation du taux de plombémie chez les enfants est souvent rendue compliquée d'une part en raison de nombreux facteurs de confusion (âges des enfants, statut social, apport alimentaire de plomb, etc.) et limites statistiques. Néanmoins, l'analyse de ces différentes études citées dans cet article, suggère que les différentes approches d'interventions, seule ou combinées, destinées à réduire l'ingestion de poussières, contribuent à baisser les taux de plombémies des enfants vivants sur des sites fortement contaminés par le plomb.

RÉFÉRENCES :

- ✓ Bratveit M., Moen B.E., Mashalla Y.J.S. and Maalim H. Dust exposure during small-scale mining in Tanzania : a pilot study. *Ann. Occup. Hyg.* 2003. Vol. 47, N°3, 235-240.
- ✓ Buchanan D., Miller B.G., Soutar C.A. Quantitative relation between exposure to respirable quartz and risk of silicosis. *Occup. Envir. Med.* 2003; 60: 159-164.
- ✓ Chillrud S.N., Epstein D., Ross J.M., Sax S.N., Pedreson D., Spengler J.D., and Kinney P.L. Elevated airborne exposures of teenagers to Manganese, Chromium, and Iron from Steel Dust and New York City's Subway System. *Environ. Sci. Technol.* 2004, 38, 732-737.
- ✓ Churchyard G.H., Ehrlich R., WaterNaude J.M., Pemba L. et al. Silicosis prevalence and exposure-response relations in South African goldminers. *Occup. Envir. Med.* 2004, 61: 811-816.
- ✓ Fujimoto K., Müller N.L., Kato S., Terasaki H., et al. Pneumoconiosis in Rush Mat workers exposed to clay dye "Sendo" dust. *Chest.* 2004. 125: 737-743.
- ✓ Haber L.T. and Maier A. Scientific criteria used for the development of occupational exposure limits for metals and other mining-related chemicals. *Regulatory Toxicology and Pharmacology.* 2002, 36, E62-279.
- ✓ Ishihara Y., Iijima H., Matsunaga K., Fukushima T., Nishikawa T., Takenoshita S. Expression and mutation of p53 gene in the lung of mice intratracheal injected with crystalline silica, *Cancer Letters* 177 (2) (2002) pp. 125-128.
- ✓ Lorenzana R.M. Lead intervention and pediatric blood lead levels at hazardous waste sites. *J. of Toxicol. and Env.* 2003, Part A, (66): 871-893.
- ✓ Nij E.T., Burdri A., Parker J., Attfield M., van Duivenbooden C., Heederik D. Radiographic abnormalities among construction workers exposed to quartz containing dust. *Occup. Envir. Med.* 2003; 60:410-417.
- ✓ Rottoli P., Bargagli E., Perari M.G., Cintonio M., Romeo R. Gardening in greenhouses as a Risk Factor for silicosis. *Respiration.* 2003. 70: 221-223.
- ✓ Soutar C.A., Hurley J.F., Miller B.G., Cowwie HA. And Buchanan D. Dust concentrations and respiratory risks in coalminers: key risk estimates from the British Pneumoconiosis Field Research. *Occup. Envir. Med.* 2004; 61: 477-481.
- ✓ Stacey P., Tylee B., Bard D. and Atkinson R. The Performance of Laboratories Analysing α -quartz in the Workplace Analysis Scheme for Proficiency. *Ann. Occup. Hyg.* 2003.Vol. 47, pp 269-277.
- ✓ Wang L., Bowman L., Lu Y., Rojasasakul Y., Mercer R.M., Castranova V. and Ding Min. Essential role of p53 in silica-induced apoptosis. *Am. J. Physiol. : L.*
- ✓ Yang C.Y., Chang C.C., Tsai S.S., Chuang H.Y., Ho C.K., Wu T.N., and Sung F.C. Preterm delivery among people living around Portland cement plants. *Environ. Research.* 2003 (92) : 64-68.

SÉLECTION D'ARTICLES RÉCENTS

Articles en français

Hygiène et sécurité dans les travaux du bâtiment, travaux publics et tous autres travaux concernant les immeubles.
Edition INRS, le Point des connaissances sur. ED 535, janvier 2005, <http://www.inrs.fr>.

CONGRÈS, COLLOQUES

22-24 mars 2006 Salvador (Brésil).

XXVIIIe Colloque international du comité international de l'AISS pour la prévention des risques professionnels et des travaux publics.
e-mail : construction.issa@cramif.cnamts.fr

16-24 mai. San Diego, (Californie, États-Unis)

Congrès de l'ATS (American Thoracic Society) : la prévention, le contrôle et la prise en charge des maladies pulmonaires.
<http://www.thoracic.org/ic/ic2006/callabstracts.asp>

25-27 octobre 2006. Strasbourg (France).

Congrès international sur les poussières de bois. Wooddustconference2006@inrs.fr

Comité de suivi

C. Amoudru
J. Aubijoux (FIVA)
D. Decherf, Dr Hourtoule, M. Marquet (CANSSM)
P. Cattaert, E. Magro, A. Papon (MinEFI)
D. Choudat (Mal. prof. Hop.Cochin Paris)
M. Cocude
M.C. Jaurand (INSERM 9909)
F. Del-Gratta, C. Gillet, G. Lacroix (INERIS)
C. Lherm, Mme Rieubernet, O. Siruguet (Min. du Travail),
B. Mahieu
D. Oberson-Geneste (Toxibio-consultant)
F. Roos, D. Lafon (INRS)
R. Simand (CdF)
P. Wang

Ont collaboré à ce numéro :

D. OBERSON-GENESTE (Toxibio-consultant)

Poussières Minérales et Santé

Publication de l'INERIS sur financement du Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie.

La présente publication constitue une sélection et une présentation des articles et des travaux scientifiques publiés en la matière. Elle n'exprime pas nécessairement l'opinion des chercheurs ayant participé à la sélection. Le lecteur est invité à se reporter au texte intégral des articles présentés.

Directeur de Publication

Georges LABROYE

Rédacteur en chef

Dominique OBERSON-GENESTE

Maquette et diffusion

Blandine BERTHE

E-mail : Blandine.Berthe@ineris.fr

Directeur de la Rédaction

Ghislaine LACROIX

Coordination et contact

Françoise ROGERIEUX E-mail :

Francoise.Rogerieux@ineris.fr