

**Lignes directrices de surveillance médicale et
Protocole de surveillance environnementale
des travailleurs exposés aux poussières respirables
de silice cristalline**

**Unité de santé au travail et santé environnementale
Santé publique Montréal-Centre**



**RÉGIE RÉGIONALE
DE LA SANTÉ ET DES
SERVICES SOCIAUX
DE MONTRÉAL-CENTRE
Direction de la santé publique**

WA
465
B753
1995

INSPQ - Montréal



3 5567 00004 0334

INSTITUT NATIONAL DE SANTÉ PUBLIQUE DU QUÉBEC
CENTRE DE DOCUMENTATION
MONTREAL

**Lignes directrices de surveillance médicale
des travailleurs exposés aux poussières respirables
contenant de la silice cristalline.**

Suzanne Boucher md, MSc(A).

**Unité de santé au travail et santé environnementale
Santé publique Montréal-Centre**

Mars 1995

**RÉGIE RÉGIONALE
DE LA SANTÉ ET DES
SERVICES SOCIAUX
DE MONTRÉAL-CENTRE
Direction de la santé publique**

**Santé au travail
Santé environnementale
Hôpital Maisonneuve-Rosemont, mandataire**

COMITÉ CONSULTIF EN SANTÉ PUBLIQUE
RÉGION DE MONTRÉAL
MONTRÉAL

Direction de la santé publique
Régie régionale de la santé et des services sociaux
de Montréal-Centre

Dépôt légal - 1^{er} trimestre 1995
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada

ISBN : 2-921740-59-1

TABLE DES MATIÈRES

Table des matières	i
Liste des tableaux	iv
Liste des annexes	iv
Préambule	v
Résumé	vii
Recommandations	xii
Résumé des recommandations	xvi

1. INTRODUCTION 1

2. LA SILICE 3

2.1 Généralités 3

2.2 Industries et opérations à risque potentiel d'exposition à la silice cristalline 6

2.3 Silicose 112.3.1 Définition de la silicose 112.3.2 Critères diagnostiques de la silicose 122.3.3 Courbes dose-réponse pour la silicose; estimation du risque . . . 132.3.4 Importance du problème 142.3.5 Pathogénèse 172.3.6 Classification de la silicose 202.3.6.1 Silicose chronique simple et silicose chronique
conglomérée 202.3.6.1.1 Histopathologie 212.3.6.1.2 Clinique 23

2.3.6.2 Silicose accélérée 25

2.3.6.2.1 Histopathologie 252.3.6.2.2 Clinique 262.3.6.3 Silicose aiguë (ou silico-lipoprotéinose alvéolaire) 262.3.6.3.1 Histopathologie 272.3.6.3.2 Clinique 27

2.3.7	Diagnostic différentiel	30
2.3.8	Cancer et autres complications	31
2.3.9	Pronostic	34
2.3.10	Outils diagnostiques	36
2.3.10.1	Radiographie pulmonaire	36
2.3.10.2	Biopsies	39
2.3.10.3	Fonction pulmonaire	40
2.3.10.4	Autres tests	44
2.3.11	Traitement	45
2.3.11.1	Traitement prophylactique	45
2.3.11.2	Traitement des complications	45
2.4	Autre réaction histopathologique à l'exposition aux poussières de silice cristalline	47
2.5	Bronchite chronique industrielle et maladies pulmonaires obstructives chroniques	47
2.5.1	Généralités	47
2.5.2	Définitions	48
2.5.3	Bronchite chronique industrielle	48
2.5.4	Maladies pulmonaires obstructives chroniques	50
3.	DÉPISTAGE	52
3.1	Rappel des cinq règles d'un bon programme de dépistage	52
3.2	Objectifs du programme de dépistage et détermination de la population cible	53
3.3	Outils de dépistage	58
3.3.1	Méthodologie utilisée pour le choix des tests de dépistage	58
3.3.2	Radiographie pulmonaire	58
3.3.2.1	Utilité	58
3.3.2.2	Validité et suivi des cas dépistés	59
3.3.2.3	Coûts-bénéfices	62

3.3.2.4	Périodicité	62
3.3.3	Spirométrie	63
3.3.3.1	Utilité	63
3.3.3.2	Validité du test	64
3.3.3.3	Coûts-bénéfices	66
3.3.3.4	Périodicité	66
3.3.4	Questionnaire respiratoire de l'American Thoracic Society (ATS) ..	66
3.3.4.1	Utilité et suivi des cas	66
3.3.4.2	Validité	67
3.3.4.3	Coûts-bénéfices	69
3.3.4.4	Périodicité	69
3.3.5	Examen objectif	69
3.3.5.1	Utilité	69
3.3.5.2	Périodicité	70
4.	INTERVENTIONS	70
4.1	Interventions de prévention primaire	70
4.1.1	Identification des sites potentiellement à risque	71
4.1.2	Identification des sites non-conformes aux normes	71
4.2	Information	72
5.	BIBLIOGRAPHIE	73

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Principales sources d'exposition à la silice cristalline	7
Tableau 2	Caractéristiques des nouveaux cas de silicose au Québec de 1988 à 1990	16
Tableau 3	Résumé des signes et symptômes de silicose	29
Tableau 4	Résumé de la fonction respiratoire selon le type de silicose	43

LISTE DES ANNEXES

Annexe I	Classification internationale des pneumoconioses BIT-1980
Annexe II	Fiche de lecture de la radiographie pulmonaire
Annexe III	Règles assurant la qualité d'un programme de dépistage (Extrait des pages 18 à 24 du document intitulé: "Lignes directrices de surveillance médicale des travailleurs exposés à l'amiante").
Annexe IV	Formulaire de pré-sélection des travailleurs en vue de l'administration d'un questionnaire d'histoire professionnelle, ou liste d'industries et de sources d'exposition à risque (Formulaire H.P.2)
Annexe V	Formulaire d'histoire professionnelle
Annexe VI	Guidelines for use of ILO international classification of radiographs of pneumoconioses, Revised edition 1980, Occupational safety and health Series, no 22, International Labor Office, Geneva, 1980.
Annexe VII	Table des valeurs prédites de Knudson
Annexe VIII	Questionnaire ATS abrégé
Annexe IX	Questionnaire sur les habitudes tabagiques

PRÉAMBULE

L'Unité de santé au travail/santé environnementale (SATE) de la Direction régionale de la santé publique de Montréal-Centre vise comme objectif de santé, à l'instar du Ministère de la santé et des services sociaux du Québec, la réduction de l'incidence des maladies pulmonaires professionnelles, plus spécifiquement l'amiantose, la silicose, la bronchite chronique industrielle et l'asthme professionnel.

À cet effet, un premier document sur la surveillance médicale des travailleurs exposés à l'amiante a déjà été produit. Le présent document décrit l'approche préconisée pour la surveillance médicale des travailleurs exposés à la poussière respirable contenant de la silice cristalline. Le protocole de surveillance environnementale suit la présentation des lignes directrices de surveillance médicale.

Les activités de surveillance médicale et environnementale visent comme objectif la protection efficace de la santé des travailleurs par le biais d'un dépistage précoce des altérations à la santé associées à l'exposition au contaminant, d'une évaluation des conditions de travail et de l'assainissement du milieu, et enfin, d'une évaluation des effets des programmes de santé publique mis en oeuvre dans l'établissement grâce à un suivi épidémiologique des populations à risque.

Ces activités de surveillance doivent néanmoins, pour être utiles, suivre des lignes directrices standardisées, établies en fonction de critères scientifiques reconnus.

Les lignes directrices de surveillance médicale des travailleurs exposés aux poussières de silice cristalline résultent de la collaboration de toute l'équipe responsable des risques physico-chimiques, de même que du support administratif de l'Unité-SATE de Montréal-Centre.

Ce document se veut à la fois un outil de facilitation pour la surveillance médicale et un

document de référence à des fins de formation et/ou d'information. Il fait état de la littérature la plus récente et les recommandations tiennent compte des ressources actuellement disponibles et des contraintes présentes dans le réseau public de la santé au travail.

Finalement, nous tenons à remercier les docteurs Pierre Ernst, Jean-Jacques Gauthier, Louis Drouin, Louise De Guire et France Labrèche pour leur collaboration à la réalisation de ce projet.

RÉSUMÉ

Les poussières aéroportées, respirables, d'un diamètre aérodynamique inférieur à $10\mu\text{m}$, peuvent pénétrer profondément dans la zone respiratoire des poumons. Toutes les poussières respirables ne sont pas nécessairement nocives, mais certaines, comme celles de silice cristalline libre, peuvent être fibrogènes et/ou contribuer au développement d'atteintes obstructives des voies respiratoires. Le pouvoir fibrogène de la silice cristalline libre est reconnu depuis longtemps et les polymorphes responsables sont, par ordre croissant de fibrogénicité, le quartz, la cristobalite et la tridymite. La silice amorphe, non-fibrogène, lorsque chauffée à plus de 1000°C peut se transformer en cristobalite et tridymite, elles-mêmes fibrogènes.

L'exposition aux poussières respirables de silice cristalline est souvent méconnue. Il s'agit d'un composé ubiquitaire, qu'on retrouve dans beaucoup de procédés industriels. Un des procédés les plus à risque, responsable de cas de silicose accélérée, est le décapage au jet de sable.

La norme actuelle pour le quartz respirable (0.1 mg/m^3) protégerait relativement bien les travailleurs contre l'apparition de silicose ou d'atteintes obstructives des voies respiratoires.

La fibrose pulmonaire causée par les poussières de silice cristalline libre est appelée silicose. C'est la pneumoconiose la plus fréquente et même si son incidence a diminué considérablement au cours des dernières décennies, on a tout de même indemnisé au Québec 112 nouveaux cas entre 1988 et 1990. La silicose peut se présenter sous trois formes: chronique, accélérée ou aiguë. La latence de la silicose dépend de la forme de la maladie. Pour la silicose chronique, elle s'étend de 10 à 40 ans, pour la forme accélérée de 4 à 8 ans et pour la forme aiguë, la maladie peut apparaître après seulement quelques mois d'exposition. La maladie est irréversible, non-traitable et non-décelable précocement. La forme chronique, lorsque simple, peut rester stable dans

certaines conditions, particulièrement avec le retrait de l'exposition. C'est la forme accélérée qui est le plus souvent responsable de la morbidité et de la mortalité liée à cette maladie. Elle se retrouve chez les sujets relativement jeunes ayant été exposés à des niveaux d'empoussièrement élevés. La détérioration est plus rapide que dans la forme chronique et la maladie se complique fréquemment de tuberculose; le décès est le plus souvent causé par une insuffisance respiratoire qui s'est développée progressivement. La forme aiguë est très rare.

Le diagnostic s'effectue au moyen d'une radiographie présentant une image d'infiltrat nodulaire "piqueté" de catégorie ≥ 1 , selon la classification du BIT-1980, associée à une histoire d'exposition suffisante et compatible avec la maladie.

La cancérogénicité de la silice cristalline est controversée. Bien qu'il soit reconnu que le risque de développer un cancer pulmonaire est trois fois plus élevé chez les silicotiques que chez les gens non-atteints, les scientifiques ne s'entendent pas sur le pouvoir cancérogène de l'exposition à la silice cristalline en soi en l'absence de silicose.

Les atteintes obstructives des voies respiratoires (bronchite chronique simple, maladies pulmonaires obstructives chroniques (MPOC)) pourraient se manifester même en l'absence de signes radiographiques de silicose bien qu'une controverse persiste à ce sujet. Cependant la bronchite chronique simple serait reconnue comme pouvant être liée à une exposition professionnelle aux poussières respirables. De plus en plus d'études tendent à confirmer l'association entre l'exposition professionnelle à des poussières respirables et les MPOC. Notons cependant que ces atteintes sont cliniquement importantes surtout chez le fumeur. La bronchite chronique pourrait avoir une latence minimale d'environ 10 ans, selon les niveaux d'empoussièrement, et le diagnostic se fait à l'histoire; elle pourrait être réversible. Mentionnons que les atteintes obstructives des voies respiratoires comme les MPOC sont multifactorielles et l'attribution à l'exposition professionnelle est difficile.

Précisons d'emblée que les cancers ne font pas partie des effets recherchés au dépistage et que le programme de dépistage ne s'applique que dans les établissements où il y a présence potentielle de silice cristalline respirable dans l'air ambiant. Les effets recherchés chez les travailleurs exposés à la silice cristalline respirable seront fonction de leurs expositions antérieure et actuelle. Le type de tests, le moment d'administration de ceux-ci et leur périodicité seront fonction de l'effet recherché, de sa latence et du niveau actuel d'exposition. La détermination des niveaux d'exposition servira autant à documenter le type de risque (silicose chronique, accélérée ou aiguë, bronchite chronique) qu'à identifier les postes ou les fonctions nécessitant des mesures de réduction à la source. La stratégie d'échantillonnage est décrite dans le protocole à cet effet.¹

Tous les individus exposés dans le passé aux poussières respirables contenant de la silice cristalline mais actuellement non-exposés seront recherchés par un questionnaire auto-administré. Les travailleurs ainsi identifiés se verront administrer un questionnaire d'histoire professionnelle. Les travailleurs actuellement exposés subiront aussi une histoire professionnelle en plus de voir évaluer leur exposition actuelle, selon la stratégie d'exposition maximale ("Worst-case scenario").²

Les outils de dépistage disponibles sont: la radiographie pulmonaire, le questionnaire respiratoire (incluant une histoire tabagique), la spirométrie simple et l'examen objectif. Chacun de ces tests, avant d'être retenu ou rejeté, a été évalué en révisant les principes de dépistage sur lesquels un programme de surveillance médicale devrait être basé.

Pour la recherche de la silicose, la radiographie pulmonaire, prise en postéro-antérieur, avec la technique recommandée par le Bureau international du travail (BIT) et classée

¹ Voir Protocole de surveillance environnementale, deuxième partie du présent document.

² *ibid*

selon les critères du BIT-1980 par un lecteur compétent, constitue le test essentiel. C'est le RX qui présentera le plus précocement des anomalies. De plus, il possède une bonne sensibilité et une bonne spécificité lorsque relié à une histoire d'exposition à la silice cristalline et lorsque la latence est appropriée. Le seuil d'anormalité retenu pour la fibrose pulmonaire est le score de profusion $\geq 1/0$ (BIT-1980). Pour la bronchite chronique, le test est inutile. Pour les travailleurs actuellement exposés, la radiographie pulmonaire sera répétée annuellement ou aux trois ans selon le niveau d'exposition actuel. Pour les travailleurs actuellement non-exposés mais exposés dans le passé et dont la première radiographie de dépistage est négative, la radiographie pulmonaire sera répétée aux cinq ans jusqu'à 40 ans après la fin de l'exposition ou jusqu'au virage de la radiographie.

La spirométrie simple (VEMS, CVF, VEMS/CVF), effectuée de façon standardisée selon les critères de l'American Thoracic Society (ATS), est un instrument relativement sensible au dépistage. Cependant, dans la silicose, aucune mesure ou ensemble de mesures n'est spécifique et l'apparition d'anomalies est moins précoce que celles de la radiographie pulmonaire. Chez les travailleurs dépistés positifs à la radiographie, la spirométrie sera faite pour confirmer et apprécier la gravité de l'atteinte, par les pneumologues du Comité des maladies pulmonaires professionnelles (CMPP). Quant aux atteintes obstructives des voies respiratoires non reliées à une silicose mais reliées à un empoussièrement supérieur aux normes, la spirométrie pourrait en objectiver certaines (comme les MPOC). Toutefois, ces MPOC étant d'étiologie multifactorielle, cet examen n'est pas indiqué dans un contexte de surveillance des effets reliés à l'exposition à la silice cristalline. En effet, chez le travailleur fumeur il sera impossible de distinguer entre les effets du tabagisme et ceux de la poussière. De plus, il n'existerait qu'une faible possibilité de déficit pulmonaire important en l'absence de tabagisme. Par ailleurs, en termes coûts-bénéfices, les effets néfastes du tabagisme sont tellement importants et nombreux que des programmes anti-tabac seraient peut-être plus efficaces pour la prévention primaire que le dépistage des sujets atteints de MPOC. La spirométrie n'est donc pas indiquée comme outil de dépistage.

Le questionnaire respiratoire est un outil intéressant dans la mesure où il est standardisé. En effet, plusieurs biais importants liés à l'outil lui-même ou à la façon de l'utiliser peuvent amener une distorsion non négligeable des effets mesurés et en diminuer ainsi la validité. Le questionnaire ATS abrégé est un des questionnaires les plus reconnus pour la surveillance d'une population définie. Il ne dépiste qu'un symptôme de la silicose, la dyspnée d'effort qui est presque toujours associée à des signes radiologiques de silicose compliquée. L'utilité principale du questionnaire ATS est de mesurer la prévalence des symptômes de bronchite chronique simple et l'importance du tabagisme. Si on accepte l'hypothèse que la bronchite chronique simple est un marqueur de l'exposition à la poussière de silice cristalline et qu'elle est liée à une prévalence plus élevée de MPOC, il pourrait être utile d'identifier les travailleurs bronchitiques actuellement exposés à des niveaux égaux ou supérieurs aux normes, particulièrement les non-fumeurs, afin de les référer à une ressource spécialisée pour évaluation complémentaire et de les informer du risque et des moyens de se protéger. Le questionnaire devrait être répété, chez ces travailleurs, à l'occasion de chaque radiographie. Pour les travailleurs non-exposés actuellement, seule l'histoire tabagique est importante parce qu'on suppose que les symptômes de bronchite chronique simple seraient réversibles après arrêt de l'exposition.

L'examen objectif constitué principalement de l'auscultation pulmonaire est longtemps normal en phase asymptomatique d'une silicose. Aucun signe physique particulier ne peut permettre de détecter précocement une silicose. Pour la bronchite chronique simple, le diagnostic est relatif à la présence de symptômes et les MPOC s'apprécient sur la présence d'un déficit de la fonction pulmonaire à la spirométrie indépendamment de la présence ou non de signes cliniques, ceux-ci étant non-spécifiques. L'examen objectif est donc inutile et non-recommandé.

RECOMMANDATIONS

1. Population cible

1. Parce qu'il y a différents effets recherchés (silicose chronique ou accélérée, bronchite chronique simple) et qu'il y a différentes latences selon l'effet (de quelques mois à plus de 10 ans), la population cible sera répartie en 2 sous-groupes différents, soit les travailleurs actuellement exposés et les travailleurs exposés dans le passé mais non exposés actuellement.

1.1 Silicose

a) Les travailleurs actuellement exposés à des niveaux inférieur ou égal à la norme et pour lesquels on a pu identifier à l'aide de l'histoire professionnelle, un niveau d'empoussièrement inférieur ou équivalent antérieurement, feront l'objet d'un premier dépistage pour la silicose chronique si au moins 10 ans se sont passés depuis la première exposition ou au moment où ces 10 ans se seront écoulés.

b) Les travailleurs actuellement exposés à des niveaux équivalents à 3 fois la norme effectuant ou ayant effectué une opération à risque (sablage au jet de sable, ensachage de farine de silice, forage de tunnel dans la roche à haute teneur en silice cristalline) feront immédiatement l'objet d'un dépistage pour la silicose.

c) Les travailleurs actuellement exposés entre 1 fois et 3 fois la norme peuvent faire l'objet d'un premier dépistage pour la silicose si 5 ans se sont écoulés depuis le début de l'exposition.

d) Les travailleurs non exposés actuellement, mais exposés antérieurement d'après le questionnaire d'histoire professionnelle feront l'objet d'un premier dépistage pour la silicose peu importe l'ancienneté de l'exposition.

1.2 Bronchite chronique simple

a) Parce qu'on se base sur l'hypothèse que la bronchite chronique est un marqueur de l'exposition et est associé à une prévalence plus élevée de MPOC, que les symptômes pourraient être réversibles après arrêt de l'exposition et qu'une exposition en deçà de la norme est considérée sans risque, seuls les travailleurs actuellement exposés à un niveau égal ou supérieur à la norme seront ciblés. Les travailleurs exposés en deçà de la norme ou non-exposés actuellement ne feront pas l'objet du dépistage pour la bronchite chronique simple.

b) Parce que chez les fumeurs la présence de la bronchite chronique simple ne peut être utilisée comme anomalie sentinelle permettant de déceler une exposition importante à la poussière, seuls les travailleurs non-fumeurs ou ex-fumeurs, actuellement exposés à un niveau égal ou supérieur à la norme seront dépistés.

c) Parce qu'on assume une dose cumulative minimale nécessaire au développement de la bronchite chronique équivalente à environ 10 ans d'exposition à un niveau égal à la norme, seuls les travailleurs ayant 10 ans d'ancienneté d'exposition à ce niveau seront ciblés. Les travailleurs exposés à un niveau équivalent à 3 fois la norme seront ciblés immédiatement. Pour ceux entre la norme et 3 fois la norme, on devrait attendre environ 5 ans depuis le début de l'exposition.

2. Radiographie pulmonaire

a) Parce que la radiographie pulmonaire détecte les lésions de silicose avant qu'il y ait atteinte décelable à la spirométrie ou au questionnaire, elle devrait être privilégiée. La radiographie devra être prise en postérieur-antérieur selon la technique du Bureau international du travail (BIT). Elle devrait être lue par un radiologue ou un pneumologue ayant une expérience en pneumoconioses, et qui effectue plus de 50 lectures par année en utilisant les critères du BIT (score de profusion $\geq 1/0$).

b) Parce que les changements radiographiques pour la silicose chronique dans les études populationnelles prennent plus de cinq ans à se manifester, que le virement d'une radiographie individuelle de négative à positive nécessite 3 à 4 ans et qu'un délai de 3 à 5 ans existe entre l'apparition d'une anomalie au lavage broncho-alvéolaire ou à la captation du gallium 67 et l'apparition de changements à la radiographie, les radiographies ultérieures ne devraient être effectuées qu'aux 3 ans. Dans les cas d'une mesure d'exposition actuelle équivalente à 3 fois la norme (risque de silicose accélérée) la radiographie périodique sera annuelle. Dans le cas des travailleurs non exposés actuellement, dont la première radiographie de dépistage est positive aucune radiographie ultérieure n'est recommandée, le travailleur étant suivi par le comité des maladies pulmonaires professionnelles auquel il aurait été référé. Pour ceux dont la première radiographie est négative, la périodicité est de 5 ans jusqu'à 40 ans après la fin de l'exposition.

3. Spirométrie

a) Parce que les anomalies obstructives et/ou restrictives de la fonction pulmonaire accompagnant la silicose sont non spécifiques et n'apparaissent qu'après l'apparition d'anomalies à la radiographie pulmonaire, la spirométrie n'est pas recommandée dans le dépistage de la silicose.

b) Parce que les maladies pulmonaires obstructives chroniques (MPOC) possiblement reliées à l'exposition aux poussières respirables contenant de la silice cristalline sont d'étiologie multifactorielle, que la variabilité de la spirométrie en dépistage est grande et que la fiabilité est faible, la spirométrie n'est pas recommandée.

4. Questionnaires

4.1 Parce que le questionnaire respiratoire (ATS abrégé) a été validé et qu'il dépiste

avec une certaine fiabilité la bronchite chronique, que cette dernière est possiblement réversible avec le contrôle de l'exposition au niveau de la norme et qu'elle est possiblement un précurseur de MPOC, l'administration d'un questionnaire ATS est recommandée pour tous les travailleurs non-fumeurs dont l'exposition actuelle est égale ou supérieure à la norme (voir ci-dessus). Le questionnaire ATS sera répété pour ces travailleurs à chaque fois qu'ils passeront une radiographie.

4.2 Tous les travailleurs ciblés pour la silicose se verront administrer un questionnaire d'histoire tabagique, qui sera mis à jour avec chaque radiographie.

5. Examen objectif

Parce que l'examen objectif, incluant l'auscultation pulmonaire, est longtemps normal en phase asymptomatique et qu'aucun signe physique particulier ne peut détecter précocement une silicose; parce que la bronchite chronique est un diagnostic relatif à la présence de symptômes et que les MPOC s'apprécient sur la présence d'un déficit de la fonction pulmonaire indépendamment de la présence ou non de signes cliniques et que ceux-ci sont non spécifiques, l'examen objectif n'est pas recommandé.

RÉSUMÉ DES RECOMMANDATIONS

TESTS		Radiographie pulmonaire classification BIT-1980	Spirométrie VEMS CVF VEMS/CVF	Histoire tabagique	Questionnaire ATS abrégé	Examen objectif
POPULATION-CIBLE						
A C T U E L L E M E N T	Procédés à risque et/ou ≥ 3 fois la norme	Oui	Inutile	Oui	Oui si non-fumeur ou ex-fumeur	Inutile
	Périodicité	Annuelle *	Nil	Avec chaque RX- pulmonaire	Avec chaque RX- pulmonaire	Nil
	N < Exposition < 3 x N	Attendre latence de 5 ans.	Inutile	Oui	Oui si non-fumeur ou ex-fumeur	Inutile
	Exposition égale à la norme (Latence documentée par l'histoire professionnelle)	Attendre latence de 10 ans.	Inutile	Oui	Oui si non-fumeur ou ex-fumeur	Inutile
	Exposition inférieure à la norme (Latence documentée par l'histoire professionnelle)	Attendre latence de 10 ans.	Inutile	Oui	Inutile	Inutile
	Périodicité	Après 5 ou 10 ans de latence (si e l o n exposition), aux 3 ans.	Nil	Avec chaque RX- pulmonaire	Avec chaque RX- pulmonaire si $\geq$ norme et non- fumeur ou ex- fumeur	Nil
E X E X P O S É S	Peu importe le délai depuis la 1 ^{ère} exposition	Oui	Inutile	Oui	Inutile	Inutile
	Périodicité	Aux 5 ans ad 40 ans depuis la fin de l'exposition ou jusqu'au virage de la radiographie.	Nil	Avec chaque RX- pulmonaire	Nil	Nil

- * Cette population doit impérativement faire l'objet d'interventions de prévention primaire (contrôle, substitution, équipement de protection individuelle).

1. INTRODUCTION

Deux des **déterminants** permettant de prioriser l'action de santé publique en regard d'une maladie donnée sont 1) l'**importance** de la maladie, définie par sa prévalence et sa gravité et 2) le fait qu'on puisse la **prévenir**.

La **silicose** est une maladie importante. C'est la pneumoconiose la plus fréquente. Par exemple, au Québec entre 1988 et 1993, 221 cas ont été indemnisés. Le nombre de cas annuellement compensés pour cette même période a été de 25 à 45 (Statistiques du fichier des cas diagnostiqués par les Comités des maladies pulmonaires professionnelles (CMPP)). C'est la forme accélérée qui est la plus grave. En effet, c'est principalement cette dernière forme qui est responsable de la morbidité et de la mortalité reliées à la maladie. Elle se retrouve chez les sujets jeunes et amène plusieurs complications: détérioration rapide (quelques mois à quelques années) clinique et radiologique, tuberculose, insuffisance respiratoire importante aux stades avancés qui sera bien souvent la cause du décès.

Par ailleurs, la silicose est une maladie entièrement évitable, si on diminue ou on évite l'exposition professionnelle aux poussières respirables de silice cristalline.

Quant aux **maladies obstructives chroniques des voies respiratoires**, il s'agit d'un problème de santé qui va grandissant. Bien que ce problème soit principalement associé à l'usage du tabac, la contribution des expositions professionnelles (dont celle aux poussières respirables) semble possible. Au Canada, les maladies chroniques des voies respiratoires sont la cause de plus de consultations que les maladies coronariennes elles-mêmes. Aux États-Unis, ces maladies ont été la cause première de plus de 900 000 hospitalisations en 1986. La mortalité par maladies pulmonaires obstructives chroniques (MPOC) s'est stabilisée chez les hommes de race blanche depuis 1968 mais est en augmentation chez les femmes de race blanche et chez les non-blancs des deux sexes (1).

L'analyse de données agrégées de surveillance médicale et de données complémentaires de surveillance environnementale peut permettre d'identifier les "points chauds" ou établissements à risque nécessitant une action concertée en vue d'aider au contrôle (prévention primaire). En effet, une des utilités de la surveillance de l'état de santé d'une population est la reconnaissance d'événements sentinelles survenant pendant l'observation périodique continue de paramètres de l'état de santé de la population observée. On peut mesurer, par l'analyse de données agrégées collectées via un programme de dépistage et de déclaration systématisés des cas, les effets sur la santé produits par l'exposition à un agent toxique. L'identification d'un problème de santé publique permet d'en rechercher les causes et de tenter, par des mesures de contrôle, de le prévenir.

Les données de surveillance des maladies pulmonaires professionnelles peuvent provenir de plusieurs sources, dont les fichiers d'indemnisation de la CSST, les bureaux de cliniciens intégrés dans des réseaux de médecins sentinelles (par la déclaration des cas comme pour les projets PROPULSE (2) au Québec, SENSOR (3,4) aux États-Unis ou SWORD (5) au Royaume-Uni) ou directement du réseau public de santé au travail par la collecte de données de dépistage médical.

Les instruments de mesure des paramètres observés doivent être valides (i.e. sensibles, spécifiques et avec une bonne valeur prédictive) et fiables afin que les paramètres mesurés puissent être comparables entre eux et dans le temps.

Vu l'importance de ces maladies, la possibilité de les prévenir et l'instauration d'un système de surveillance basé tant sur des données cliniques (PROPULSE) que populationnelles (SMEST), l'Unité santé au travail/santé environnementale de Montréal-Centre propose, avec l'objectif d'assurer la validité et la fiabilité des données recueillies, les présentes lignes directrices de surveillance médicale des travailleurs exposés aux poussières respirables contenant de la silice cristalline.

2. LA SILICE

2.1 Généralités

Une **poussière** est une particule solide dispersée dans l'air suite à la désintégration mécanique de matières minérales, organiques ou autres (6). Les poussières se déposent habituellement par gravité. Trois facteurs influencent la localisation de la poussière dans le poumon et sa déposition: 1) l'anatomie du système respiratoire, 2) la taille de la particule et 3) le rythme respiratoire (7). Lorsqu'on parle de la taille d'une particule, on l'exprimera en diamètre aérodynamique (Da).

Le terme **diamètre aérodynamique** (Da) d'une particule réfère au diamètre qu'aurait une sphère de densité unitaire lorsque celle-ci tombe, sous l'action de la gravité, à la même vitesse que la particule considérée (6).

La fraction **respirable** des poussières inhalées est celle qui peut pénétrer jusqu'à la zone des échanges gazeux, les acini. Cette fraction **respirable** présente un Da d'environ 0,5 μm à 5 μm . Elle peut se déposer dans les acini (7).

Les normes en poussières respirables pour l'exposition des travailleurs à la silice cristalline peuvent varier d'un pays à l'autre. Il faut savoir que ces normes ne sont pas nécessairement comparables car la définition de **poussières respirables** n'est pas forcément la même. En effet, la norme est basée sur le type de pré-collecteur utilisé pour l'évaluation environnementale. Au Québec, la poussière de silice cristalline **respirable** sera constituée de particules ayant un Da inférieur à 10 μm (8). Le risque lié à l'inhalation de silice cristalline a été associé à l'intensité de l'exposition aux poussières respirables (8).

La fraction **non-respirable** des poussières inhalées a un Da habituellement supérieur à 10 μm . Cette fraction se dépose par sédimentation au niveau du nez et des voies respiratoires supérieures (9).

Les poussières inhalées, après déposition, sont retenues dans le système respiratoire ou subissent une clairance vers l'extérieur via le tapis mucociliaire ou vers les ganglions lymphatiques via l'interstitium (6).

Une poussière **fibrogène** est une particule respirable dont l'action toxique s'exerce sur le tissu pulmonaire, son architecture, et sa fonction. Cela n'inclut pas les particules solubles dans les fluides du corps et celles qui sont d'abord des intoxicants chimiques à effets locaux ou systémiques (e.g. les poussières respirables de plomb).

Les pneumoconioses sont liées à l'accumulation de poussières minérales dans le poumon et à la réaction tissulaire qui en résulte (10,11). La poussière minérale qui ne cause pas de dommage tissulaire ou fonctionnel est classée comme "inerte" ou de nuisance. Elle peut produire une pneumoconiose bénigne ou de surcharge (ex. la sidérose, pneumoconiose bénigne la plus commune) (6,11). L'inhalation de poussières minérales fibrogènes, menant à une fibrose irréversible avec altérations structurales et fonctionnelles cause les pneumoconioses collagènes (ex. silicose, amiantose) (10,11).

La silice (Si) est au monde inorganique ce que le carbone (C) est au monde organique. La silice et l'oxygène (O₂) sont les composés les plus abondants dans la croûte terrestre. La silice peut se présenter sous forme libre ou combinée (silicates) (6). La silice libre existe sous trois formes: cristalline polymorphe, cryptocristalline et amorphe (non-cristalline).

Les phases cristallines (ou polymorphes) principales sont: 1) le quartz, thermostable jusqu'à 867°C, 2) la tridymite, thermostable entre 867°C et 1470°C et 3) la cristobalite, thermostable entre 1470°C et 1723°C. Le quartz pur, chauffé entre 867°C et 1470°C se transforme en cristobalite (6). Le potentiel fibrogène de la silice cristalline, dans un ordre croissant, est le suivant: quartz → cristobalite → tridymite (6,12).

Les formes cryptocristallines sont formées de quartz et de silice amorphe (ex. agate, cornaline, onyx, silex, calcédoine...). Si on les chauffe (entre 1200°C et 1400°C) elles

se transforment en cristobalite (6).

La silice amorphe est principalement représentée par la terre diatomée (ou Kieselguhr). Cette terre diatomée est formée de squelettes fossilisés d'une plante aquatique unicellulaire ressemblant à une algue (6). Les formes amorphes sont peu ou pas fibrogènes. Cependant, sous l'action de hautes températures (calcination, four réfractaire), elles peuvent se cristalliser et devenir fibrogènes (11). La silice amorphe, comme la terre diatomée non-calcinée, est considérée comme une poussière de nuisance (12). Cependant, elle se convertit en cristobalite à toutes les températures entre 1000°C et 1723°C (6).

L'activité métabolique fibrogène de la silice libre serait reliée à la structure tétraédrique du cristal (12). La silicose est une pneumoconiose collagène provoquée par l'inhalation de silice libre sous forme cristalline (10).

La silice cristalline (SiO_2) est ubiquitaire. Comme la SiO_2 est partout, les possibilités de contact avec le contaminant sont fréquentes. Le risque est parfois non suspecté car la SiO_2 peut être mélangée à d'autres poussières (poussières mixtes). La SiO_2 est souvent ajoutée à l'amiante, au ciment ou au béton, particulièrement dans l'industrie de la construction (voir plus loin) (11).

De fait, toutes les poussières siliceuses inhalées sont généralement mêlées à d'autres poussières. Cependant le pourcentage de silice cristalline libre peut différer. Si le pourcentage de silice cristalline libre est élevé, on pourra observer la présence de silicose nodulaire classique. Si le pourcentage est plus faible, et que les autres poussières sont inertes (carbone, fer, kaolinite, oxydes de fer), on observera une pneumoconiose à poussières mixtes, donnant une lésion fibreuse irrégulière à la radiographie. Cette pneumoconiose peut être soit bénigne, soit collagène ou posséder les deux composantes histo-pathologiques à des degrés divers. Ainsi, les images radiologiques et l'aspect pathologique seront différents selon la nature et le pourcentage respectif des poussières inhalées (6).

En résumé, les poussières respirables de silice cristalline susceptibles de causer une pneumoconiose collagène sont principalement le quartz, la cristobalite et la tridymite. Ces deux dernières sont surtout générées par la transformation thermique du quartz ou de formes non fibrogènes (silice libre amorphe et formes cryptocristallines).

2.2 Industries et opérations à risque potentiel d'exposition à la silice cristalline

Les roches et minéraux sont utilisés souvent et partout. On en retrouve par exemple dans les abrasifs (quartz, quartzite, grès, tripoli, farine de silice), dans certains matériaux de construction (béton, mortier), dans les pierres à monuments (granite). On les utilise aussi comme matériaux de couverture, dans la construction des routes, dans la faïencerie, comme agent de charge, dans la métallurgie (sable des moules, fours), la verrerie, les cosmétiques et la pharmacie, dans les pigments, les matériaux de calorifugeage, etc (6).

Aujourd'hui, les circonstances d'exposition significative à la silice libre sont peu fréquentes et souvent insoupçonnées (6). Le tableau suivant présente les principaux secteurs d'activité économique, sources potentielles et opérations à risque de générer de la silice cristalline.

Tableau 1: Principales sources d'exposition à la silice cristalline

Secteurs d'activité économique ou sources	Opérations
- Mines métalliques (plomb, argent, cuivre, or (6) étain, mica, platine)(6) - Houillères d'Europe (10,13) - Creusage de tunnel, dans la roche siliceuse (6,8,10,11,13,14,15) - Construction de routes, de chemin de fer (14)	- Forage, abattage, extraction, transport de minerais ou de roches renfermant de la silice cristalline libre (13,14) - Concassage, broyage, tamisage, manipulation à sec de roches renfermant de la silice libre (10,13) - Fossoyage (6)
- Carrières (6,8,10,11,13,14,15) (ex. quartz, quartzite, arkose, grès, silex, schiste, coticule, porphyre (10)) - Carrières d'ardoise (parfois contamination par la silice cristalline (10,13))	- Comme ci-dessus - Pour l'ardoise, extraction, refonte, taillage, lissage, polissage (13,14)
- Pierre et maçonnerie de monument (grès, granite ou autres roches siliceuses) (6,10,15)	- Taillage, parage, polissage, nettoyage (6,10,11,13), à l'aide d'outils pneumatiques et de sablage au jet (6,8,13,16) - Sciage à sec (16) - Sculpture (15)
- Produits d'entretien contenant des abrasifs (savons abrasifs et poudres à récurer contenant de la farine de silice) (6,10,13)	- Fabrication (particulièrement l'emballage) (6,10,12,13) - Manutention (13)
- Fonderies (particulièrement fer et acier) (6,8,10,11,13,15) ou activité économique impliquant des hauts fourneaux (10)	- Fabrication du moule et du noyau (6,8,14,15) - Application des poudres (6) - Dégagement du moule par secousses (6) - Polissage (ébavurage) de l'intérieur du moule (6) et des formes moulées (10) - Entretien (contamination des planchers) (6) - Entretien des matériaux réfractaires (6) - Une opération particulière (dessablage) consistant à enlever sur la pièce coulée la croûte de sable brûlé provenant du moule est effectuée soit par jet de sable ou par grenailage, soit avec un burin (burinage), soit par meulage (ébarbage)(10,13). Elle peut aussi être effectuée avec un chalumeau (décochage) (13). - Réparation et démolition des fours: les maçons-fumistes sont exposés à des poussières à haute teneur en silice cristalline (particulièrement la cristobalite quand démolition), provenant des briques réfractaires (10,14)
- Nettoyage abrasif (8,11)	- Ponçage à l'aide de papier sablé, de poudre à récurer, de jet de sable (8) - Nettoyage à l'aide de polis abrasifs, dentifrices (15)

Secteurs d'activité économique ou sources	Opérations
- Verrerie (6,14,15), cristallerie et gobeletterie (10)	- Manufacture du verre (6,8,11,13) - Polissage du verre plat (6,10) - Taillage et biseautage manuel avec des meules contenant de la silice cristalline (ex. meules de grès) (6,10)
- Céramiques (6,8,10,11,13) - On retrouve jusqu'à 20% de silice cristalline dans ces pâtes (10)	- Production de poterie et faïence fine (6,8,10,14,15) - Production de céramiques réfractaires (6,10,13,14) - Production d'autres produits réfractaires (briques) (8,10,13,14) - Grès sanitaires (10) - L'opération la plus à risque est le broyage des produits (10)
- Construction industrielle (13,14)	- Construction, entretien, démolition exposant aux poussières contenant de la silice libre (ex. béton, mortier) (13) - Démolition et perforation de structures (ex. murs) en béton (10,14) - Ponçage de surfaces en béton (10,14) - Marbrerie de bâtiment (10)
- Agents de charge (6,13,14,15): (peinture (6,13,15), caoutchouterie (6,13), apprêt de papier (13))	- Production (6,15) (mélange des matières premières (14) et production de l'agent (6)) - Utilisation (peinture, caoutchouc, papier)
- Nettoyage et désincrustation des chaudières (6,8,14,15)	- Intérieur des conduits de fumées et du fourneau (6) - Intérieur de la chaudière (6).
- Électronique (manufacture de semi-conducteur) (6)	- Fabrication de cristaux de quartz cultivés (6,15)
- Talc industriel (contaminé au quartz) (13,14)	- Extraction, broyage, conditionnement du talc (13) - Utilisation comme agent de charge (13,14) - Utilisation comme lubrifiant (13)
- Industrie du granite (8,14)	- Voir pierre et maçonnerie de monuments
- Fabrication de carborundum (SiC) (6,10,13,17,18)	- Mélange de la matière première (quartz + coke de pétrole) - Réfection des fours
- Plastique	- Utilisation de mélange de silice et autres produits comme catalyseurs dans la production de polyoléfines (polyéthylène, polypropylène) (10)
- Chantiers maritimes (6,15)	- Décapage au jet de sable (voir plus loin)

Secteurs d'activité économique ou sources	Opérations
- Autres	- Broyage du sable (10) - Meulage, polissage, aiguisage à sec avec des meules contenant de la silice (ex. meules en grès) (6,8,10,13) - Poudres de gypse contaminé au quartz: fabrication et pose de panneaux de gypse (14), utilisation de plâtre de Paris (orthopédie, dentisterie) (14) – - Émaillage vitreux (6,8,11,15)
- <u>Cas du jet de sable:</u> - Fonderies, construction, monuments, chantiers maritimes, etc.	- Le sablage au jet est une opération à RISQUE ÉLEVÉ, qu'on retrouve dans plusieurs secteurs d'activité économique (6,8,11,13,14,15)

Ces principales sources pourront générer soit du quartz, soit de la cristobalite, plus rarement de la tridymite.

La cristobalite est retrouvée principalement dans l'industrie du verre, des produits réfractaires, des abrasifs, de la céramique, des émaux, comme décolorants et purificateurs d'huile et dans les composés servant au décapage et au meulage (12).

La silice cristalline contenue dans la silice amorphe est souvent une source insoupçonnée d'exposition. Par exemple, la silice amorphe composée de terre diatomée est extraite de mines à ciel ouvert (notons que ces mines n'existent pas au Québec). La terre brute est concassée, tamisée, re-concassée puis entreposée en silo. Elle est ensuite séchée soit à 260°C (diatomée séchée naturellement) ou calcinée. La calcination peut s'effectuer sans flux, à 816°C-1100°C, ou avec flux à 1100°C ou plus. Sans flux, le procédé génère de la cristobalite surtout (environ 20%) et une terre diatomée rose ou brun pâle. Avec flux, le procédé génère de la cristobalite et de la tridymite, mais en pourcentage plus élevé, et une terre diatomée blanche. Après séchage, la terre est broyée, séparée puis classée à l'aide d'un cyclone, en grosses et fines particules. Le risque est surtout associé au broyage et à l'ensachage de terre diatomée calcinée, et aux travaux d'entretien (6). Il faut bien évaluer en diffraction des rayons-x (DRX) un échantillon de silice "amorphe" pour pouvoir juger de son innocuité.

La silice amorphe est utilisée dans la filtration des liquides (vin, bière, jus de fruit, liquide pharmaceutiques, raffinage du sucre), l'isolation contre la chaleur et le bruit (briques et blocs réfractaires), comme agent de charge (plastique, caoutchouc, papier, insecticides, peintures...), comme adsorbant (poudres de balayage industriel), comme catalyseur, dans la construction, dans la fabrication d'électrodes (6,12), et enfin comme support solide en chromatographie en phase gazeuse (12).

Sources potentielles d'exposition à la silice cristalline identifiées à Montréal

D'après les données des équipes locales de santé au travail de Montréal-Centre pour 1993, les secteurs d'activités économiques des groupes prioritaires I à III où une exposition potentielle à la silice a été identifiée sont les suivants: industrie chimique, mines, carrières et pétrole, fabrication de produits en métal, caoutchouc et produits en

matière plastique, fabrication d'équipement de transport, première transformation des métaux, fabrication de produits minéraux non-métalliques, industrie du papier et des produits en papier (19). Le secteur bâtiment et travaux publics du groupe I, bien que non-mentionné, constitue aussi un secteur à risque (forage, excavation, sablage au jet, etc.). Notons toutefois que le sous-sol de la région Montréalaise contient très peu de silice cristalline libre.

Sources d'exposition identifiées au Québec

Les cas de silicose indemnisés entre 1988 et 1990 se sont retrouvés dans les secteurs impliquant: le travail dans les mines, le travail de la pierre, le travail au jet de sable, le travail dans les fonderies et le travail dans l'industrie métallique et non-métallique (20).

Sources d'exposition identifiées aux États-Unis

Aux États-Unis, par le système de surveillance SENSOR, on a pu identifier les endroits où il y avait un potentiel d'exposition risquée à la silice cristalline. Au New Jersey, ces endroits regroupent 204 secteurs d'activité économique (21). De 1987 à 1990, l'identification de cas de silicose par SENSOR dans 4 états américains a montré que 60% des cas se trouvaient dans l'industrie primaire du métal, incluant les fonderies. Les autres cas se sont retrouvés dans les mines, la construction, les transports et communications, les services, et l'industrie du matériel dentaire (22).

2.3 Silicose

2.3.1 Définition de la silicose

La silicose est une maladie connue depuis plusieurs siècles (8). Elle a été nommée ainsi en 1870 par Visconti. En 1915, on a observé 1) un lien causal entre la silice cristalline et une maladie pulmonaire très sérieuse et 2) qu'une prédisposition au développement de la tuberculose était reliée à l'exposition à cette poussière (8). La

silicose est une pneumoconiose fibrogène caractérisée par une fibrose pulmonaire interstitielle "piquetée" (i.e. diffuse et nodulaire) et dans les cas avancés, par une fibrose conglomérée (i.e. forme condensée ou pseudo-tumorale) et des troubles respiratoires (11,13,15). Elle est le plus souvent d'évolution chronique (11,15).

C'est la plus fréquente des pneumoconioses fibrogènes (10,13). Elle ne se présente pas toujours sous sa forme pure. On peut la retrouver souvent sous la forme secondaire à un empoussièrement mixte (e.g. fer + silice= sidéro-silicose) (13).

On peut la décrire aussi comme une maladie évolutive, avec une phase pré-clinique d'alvéolite, qui peut évoluer vers la forme de nodules silicotiques qui constituent la base histopathologique de reconnaissance de la maladie (23).

2.3.2 Critères diagnostiques de la silicose

Avec une histoire professionnelle adéquate d'exposition à la silice indiquant un risque substantiel, et une radiographie pulmonaire de bonne qualité démontrant la présence d'un infiltrat nodulaire "piqueté", le diagnostic de silicose simple ne devrait présenter aucun problème (6,8,10,11,22) surtout si les résultats de la radiographie pulmonaire ne peuvent être expliqués par aucune autre condition (6).

Selon le "Task force on occupational respiratory disease, Santé et Bien-Être, Ottawa, Canada, 1979: 35-48", le diagnostic de silicose est fondé sur une histoire d'exposition prolongée (i.e. exposition suffisante requise) à de la poussière contenant de la silice et sur une radiographie pulmonaire démontrant des signes compatibles avec une silicose, de catégorie ≥ 1 , selon la classification du BIT-1980 (24).

2.3.3 Courbes dose-réponse pour la silicose; estimation du risque

Les valeurs seuils proposées par l'ACGIH sont fondées sur l'idée que la toxicité de la silice cristalline est fonction du pourcentage de quartz dans la poussière (12). Rappelons toutefois que même si le pourcentage de quartz est élevé, lorsque le Da est grand, le risque est faible car la déposition se fait au niveau du nez et des grosses voies aériennes (ex. une tempête de sable dans le désert) (8). Les anciennes méthodes d'évaluation de l'exposition la quantifiait en million de particules par pied cube ou mpppc. Les nouvelles unités de mesure sont des mg/m^3 ou des $\mu g/m^3$. L'équation de correction la plus fréquemment employée est:

$$10 \text{ mpppc de poussière} = 0,1 \text{ mg/m}^3 \text{ de quartz respirable} = 100 \mu g/m^3 \text{ (12).}$$

Les études récentes montrent une grande disparité entre les courbes dose-réponse. Pour une exposition quotidienne à la silice cristalline de $0,1 \text{ mg/m}^3$ (en poussière respirable) pendant 40 ans, le risque s'échelonne de 1,2% à 60%! Le modèle le plus fiable semble prédire qu'à $0,1 \text{ mg/m}^3$ par jour en moyenne, pendant 40 ans environ, 1,2 (0,7 à 2,1) travailleur sur 100 risque de développer une silicose (objectivée par une radiographie pulmonaire classée 1/1). Cette même étude prédit que pour une exposition moyenne quotidienne de $0,05 \text{ mg/m}^3$ pendant quarante ans, 0,4 (0,2 à 0,8) travailleur sur 100 risque de développer une silicose (25). La norme québécoise d'exposition aux poussières respirables de quartz est la même que celle d'OSHA soit $0,1 \text{ mg/m}^3$ par jour et protégerait relativement bien la population de travailleurs exposés contre l'apparition d'une silicose, même si le risque n'est pas nul. Notons que pour une radiographie classée 1/0, le risque pourrait être plus élevé. Enfin, la dose cumulative nécessaire pour un risque de 1% de développer une silicose chronique (de catégorie 1/1 à la radiographie pulmonaire) serait de l'ordre de $3,5 \text{ mg/m}^3 \cdot \text{année}$ (2,5 à 4,9) (25). En d'autres termes, il faudrait pour qu'un travailleur sur 100 développe une silicose chronique (de catégorie 1/1), qu'il soit exposé par exemple 10 ans à une concentration quotidienne moyenne d'environ $0,35 \text{ mg/m}^3$ de poussière de quartz ou pendant 35 ans à environ $0,1 \text{ mg/m}^3$ de quartz.

La norme québécoise pour la cristobalite et la tridymite est aussi comme celle d'OSHA, soit la moitié de la norme pour le quartz ($0,05 \text{ mg/m}^3$) (12,26). Ces normes reflètent les valeurs seuils proposées par l'ACGIH. Cependant, la marge de sécurité de ces valeurs n'est pas connue. Il faut donc maintenir les concentrations de silice cristalline respirable le plus bas possible (12).

La silice amorphe, considérée comme poussière de nuisance, est mesurée en poussières totales et sa valeur seuil est de 10 mg/m^3 (6 mg/m^3 dans le nouveau règlement révisant les normes québécoises). Cependant, elle peut être contaminée avec du quartz ou, lorsque soumise à de fortes températures, il peut y avoir cristallisation et formation de quartz, cristobalite ou tridymite. Il faut évaluer le pourcentage de quartz et autres polymorphes dans les concentrations aériennes pour trouver la norme correspondante et pouvoir évaluer le risque (12).

Notons, pour terminer, que les courbes dose-réponse peuvent être influencées par la fraction de silice libre contenue dans un mélange de poussières et même que certaines poussières inertes pourraient avoir un effet "protecteur" masquant ainsi l'effet de la silice sur le tissu pulmonaire (25,27,28,29). En effet, il semble que les changements caractéristiques suivent une exposition à des poussières contenant 20% et plus de quartz, quoiqu'une fraction plus petite puisse aussi être pathogène, ce qui est consistant avec le modèle animal (6).

2.3.4 Importance du problème

La silicose est une maladie qu'on peut prévenir. Sa survenue dans une population de travailleurs, surtout sous sa forme accélérée est une indication que le système de surveillance et de prévention primaire est inefficace.

L'incidence de la silicose chronique en Europe diminue depuis la seconde guerre mondiale à cause des mesures de contrôle à la source. Cependant, le nombre de cas

est basé sur des statistiques de compensation qui sont plus ou moins précises vu la variabilité des critères diagnostiques. Il manque aussi des données fiables sur la population à risque (6).

Deux études chez les "maçons de monuments" à Aberdeen (Angleterre) montrent une prévalence de silicose de 10% en 1951 et de 3% en 1970, avec une diminution de la gravité des lésions. Dans l'industrie anglaise de la faïence, une étude montre une prévalence de 1,6% de silicose simple en 1985 (6). Au Nigéria, on a déjà observé une prévalence de 39% de cas de silicose chez les travailleurs des carrières et de 35,2% en Inde du Nord chez les tailleurs de pierre (6).

De 1938 à 1985, 1165 cas de silicose ont été compensés au Québec (30). Des 112 nouveaux cas diagnostiqués de 1988 à 1990 par le CMPP, 61 provenaient du secteur des mines, 16 des fonderies, 19 des travailleurs au jet de sable, 11 du travail de la pierre et 5 de l'industrie métallique et non-métallique. Un cas de silicose accélérée a été identifié parmi les travailleurs des mines. Le nombre total de cas de silicose accélérée inclus dans les 221 cas ci-dessus n'est pas mentionné. Cependant, les travailleurs au jet de sable présentent un âge moyen et une durée d'exposition moyenne plus bas que les autres travailleurs atteints. Leur déficit anatomo-physiologique (DAP) moyen est plus élevé. La proportion de travailleurs ayant un DAP $\geq 50\%$ est plus grande dans ce groupe de travailleurs (voir tableau 2) (20). La latence chez ces travailleurs reflète une exposition ayant eu lieu au cours des dernières années.

Tableau 2. Caractéristiques des nouveaux cas de silicose au Québec de 1988 à 1990

Secteur	Âge moyen au diagnostic (ans)	Durée moyenne d'exposition (ans)	DAP* moyen %	Nombre de cas avec DAP $\geq$ 50% (%)	Nombre de cas (%)
Mines	60 (47-81)	21 (4-43)	24 $\pm$ 18	2 (25)	61 (54)
Fonderies	55 (32-73)	24 (4-43)	12 $\pm$ 15	1 (12)	16 (13)
Pierre	62 (51-78)	32 (12-49)	25 $\pm$ 19	1 (25)	11 (10)
Pièces métalliques et non-métalliques	65 (60-75)	27 (20-32)	25 $\pm$ 23	1 (19)	5 (11)
Jet de sable	42 (26-73)	9 (2-39)	33 $\pm$ 36	4 (20)	19 (17)

* DAP= déficit anatomo-physiologique

La silicose causée par la manipulation de terre diatomée calcinée est peu fréquente et sa sévérité est fonction du pourcentage de cristobalite et de la durée de l'exposition. La prévalence des lésions nodulaires ou conglomérées serait de l'ordre de 17% à 50% selon l'étape du procédé de production. Chez les utilisateurs, le risque est probablement faible (6).

Aux États-Unis, dans les états du Michigan, du New Jersey, de l'Ohio et du Wisconsin, pour la période 1987 à 1990 inclusivement, 430 cas de silicose ont été rapportés. La silicose aux États-Unis continue à faire environ 300 morts par année (22). En 1974, NIOSH a estimé la population de travailleurs américains potentiellement exposés à 1,2 million. En 1980, le ministère du travail des États-Unis a estimé ce nombre à 1 057 000 travailleurs, excluant les travailleurs de la construction, de l'agriculture et de l'industrie chimique (15).

Le problème de la sous-déclaration aux États-Unis (et probablement ici aussi) serait substantiel. L'incidence semble diminuée dans certains métiers comme parmi les tailleurs de granite mais de nouveaux cas continuent à surgir dans les fonderies, chez les travailleurs au jet de sable et les ensacheurs de produits contenant de la farine de

silice. Dans l'état de New York, entre 1982 et 1984, 894 cas ont été diagnostiqués. Le nombre de travailleurs de fonderie à risque de silicose aux États-Unis serait de 24 889 et le nombre total de cas estimés à venir sur une population à risque de plus d'un million de travailleurs serait de 59 000 (15).

Les équipes de santé au travail de Montréal-Centre ont estimé, en juillet 1993, qu'environ 474 travailleurs pourraient être potentiellement exposés au-dessus de la norme, dans 39 établissements différents, dans la région (19). Les travailleurs des secteurs bâtiment et travaux publics et carrosserie automobile, potentiellement les plus exposés (particulièrement à cause du sablage au jet), ne sont pas inclus dans ces estimations.

2.3.5 Pathogénèse

La pathogénèse de la silicose n'est, à ce jour, pas encore élucidée, même si plusieurs études sur différents modèles *in vivo* et *in vitro* ont été faites pour tenter de l'expliquer (31). Plusieurs théories ont été suggérées et étudiées, comme la théorie de l'effet piézo-électrique (6), de la solubilité (6,8,10), de la cytotoxicité et de la collaboration des macrophages et des fibroblastes (6,8,10), d'une réaction immunologique (6,8,10,31), ainsi que les hypothèses stéréochimiques, du donneur d'hydrogène, de l'angularité et de la géométrie du cristal (8). Cependant, un ensemble d'expériences différentes mènent à l'hypothèse générale suivante: l'inhalation de silice cristalline et la déposition au niveau de l'alvéole engendrent une cascade d'événements inflammatoires et fibrotiques générée par une réponse à médiation cellulaire et possiblement humorale et immune (31).

Certains éléments importants sont à souligner:

1) la silicose est d'abord une maladie très localisée; chaque lésion focale se développe très près d'une masse critique de poussières;

2) les manifestations cliniques d'atteinte pulmonaire apparaissent par la sommation de plusieurs foyers isolés de fibrose et non par l'aggravation graduelle d'un processus diffus uniforme;

3) les participants locaux tels qu'identifiés par la microscopie optique sont: les macrophages chargés de poussière, les macrophages-monocytes sans poussière, les cellules géantes multinucléées, les lymphocytes, les neutrophiles, les fibroblastes et possiblement les pneumocytes type II;

4) le macrophage reste toujours associé à la particule de poussière pendant l'évolution du processus pathogène. Ces interactions sont essentielles au processus de cascade (31).

Le concept central repose sur l'interaction entre la silice et les macrophages pulmonaires. Quatre issues sont envisageables pour le macrophage chargé de silice:

- a) transport de la particule vers l'extérieur du système respiratoire par le tapis muco-ciliaire ou via le système lymphatique vers des sites lymphoïdes (clairance),
- b) mort cellulaire avec libération d'enzymes et de la particule ingérée (tel que documenté *in vitro*),
- c) survie du macrophage et libération de produits toxiques (ex. oxydants, élastases, collagénases, protéases) et
- d) stimulation du macrophage et sécrétion de médiateurs pouvant altérer les fonctions des cellules adjacentes (médiateurs pro-inflammatoires) dont l'interleukine-1 (IL-1) (31).

La plupart des particules de quartz qui atteignent les vaisseaux lymphatiques vont se rendre jusqu'aux ganglions hilaires et parfois gagner certains ganglions extra-thoraciques: supra-claviculaire, cervical et ceux du groupe aortique abdominal (6). Quelques-unes de ces petites particules peuvent pénétrer le courant sanguin et donner

des nodules isolés dans la rate, le foie et d'autres organes, sans causer de dommage fonctionnel. Ces nodules peuvent se calcifier et ainsi donner des opacités radiologiques (6).

Théorie du cycle pro-inflammatoire

La silice cristalline agit probablement par altération de la fonction du macrophage plutôt que par la rupture de celui-ci après son ingestion (31). Il y aurait induction de la fibrose par des produits des macrophages (facteurs fibrogènes non-lipidiques) (31). Les événements biologiques caractéristiques seraient les suivants:

- 1) appel des macrophages
- 2) activation des macrophages
- 3) production par les macrophages de: a) molécules qui vont stimuler la prolifération des fibroblastes et des pneumocytes de type II, et avoir des effets dommageables sur les tissus adjacents (libération d'oxydants et de l'activateur du plasminogène) (23), et b) de médiateurs pro-inflammatoires (31).

Les études récentes montrent que les macrophages chargés de silice maintiennent une viabilité et une compétence phagocytaire normales (24,31). Les macrophages, par leurs médiateurs (ex.: IL-1), auraient une influence sur les lymphocytes en activant ceux-ci. Ces derniers produiraient un recrutement et une stimulation des macrophages par un rétro-contrôle positif. Les macrophages stimulés produiraient alors un facteur très puissant de croissance des fibroblastes, le "macrophage-derived growth factor" (MDGF) (31).

Ces événements surviennent après toute exposition significative même de quelques heures. S'il y a arrêt de l'exposition, il y aurait diminution du processus de réparation et cicatrice minime sub-microscopique (23). Si l'exposition continue, il y aura persistance de la stimulation. L'exposition continue est nécessaire au soutien chronique de cette cascade menant à l'alvéolite silicotique chronique (23). La clairance tissulaire lente

favoriserait l'activation chronique et la libération soutenue des médiateurs pro-inflammatoires (31).

Une étude *in vivo* faite chez des travailleurs a montré que dans la silicose simple, il y avait une augmentation de la croissance fibroblastique. Dans la silicose compliquée, on a observé le même phénomène et on a pu identifier une augmentation des glycosaminoglycans, de la fibronectine et du pro-collagène-3 (24). Au niveau microscopique, l'association de macrophages chargés de silice et de fibroblastes supporte l'hypothèse que les macrophages relâchent dans leur environnement de grandes quantités de molécules capables de moduler la croissance fibroblastique comme la fibronectine et le MDGF (11,24).

Ce cycle pro-inflammatoire agirait sans antigène extérieur mais serait stimulé par la dénaturation d'une protéine qui agirait comme auto-antigène (31). Certaines données abondent dans le sens d'une théorie auto-immunitaire. En effet, on a remarqué chez les silicotiques 1) une prévalence accrue d'auto-anticorps, 2) la présence de plasmocytes et d'immunoglobulines dans les lésions silicotiques à la microscopie optique, 3) des gamma-globulines dans leur sérum, 4) une prévalence augmentée de maladies auto-immunes et 5) que la présence d'une collagénose peut influencer l'évolution de la silicose (facteur d'aggravation) (8). Dans le cas de la silicose aiguë, on a émis l'hypothèse qu'un terrain immunologique propice (susceptibilité individuelle) serait nécessaire (6).

2.3.6 Classification de la silicose

2.3.6.1 Silicose chronique simple et silicose chronique conglomérée

La silicose est habituellement une maladie chronique (11) qui présente un développement tardif (8). Une radiographie positive précède souvent l'apparition de signes cliniques (10). La latence est variable selon l'intensité de l'empoussièrement

(10). La silicose chronique est caractérisée par: 1) une exposition modérée, 2) d'une durée le plus souvent supérieure à 20 ans (15 ans à 40 ans) 3) à une poussière respirable dont le pourcentage en silice libre est inférieur à 30% (8,11,21). Dans une étude bien faite, la latence pour une radiographie présentant des opacités nodulaires classées 1/1 s'échelonnait de 9 à 38 ans (25).

2.3.6.1.1 Histopathologie

Nodule silicotique classique

Le changement histopathologique initial typique est le **nodule silicotique classique**, qui est habituellement rond, parfois ovale ou lobulé et circonscrit. Sa distribution est inégale; il se retrouve surtout aux lobes supérieurs, probablement à cause d'une meilleure clairance des poussières aux bases (8). Les poussières retenues se concentrent dans les ganglions lymphatiques hilaires (8). Notons que le nodule silicotique ancien peut se calcifier.

On retrouve les nodules près des bronchioles respiratoires, dans l'interstitium et près des petites artères ou des lymphatiques.

Le nodule a un diamètre moyen d'environ 1 à 5 mm et un aspect en pelure d'oignon. On distingue trois zones à l'examen histologique: le centre clair hyalin ressemble à la substance amyloïde et contient plus ou moins de poussières et de globulines sériques; il est entouré d'une zone concentrique ressemblant à une capsule fibreuse cellulaire formée de tissu conjonctif; cette zone moyenne est entourée de fibres collagènes et de réticuline irrégulièrement arrangées et parsemées de macrophages contenant de la silice cristalline (6,8,10,11). La progression du nodule et l'apparition de nouvelles lésions se feraient à partir de la zone périphérique (6,8).

On dit que le nodule silicotique est de type prolifératif, i.e. qu'il y a un excès de collagène mais peu de poussières (6). On croit généralement que la silice apparaît sous

forme de corps biréfringents lorsque visualisée en microscopie optique à lumière polarisée (11). Cependant, on a récemment émis l'hypothèse que les corps biréfringents seraient des poussières d'argile et de mica, elles-mêmes associées à l'exposition à la silice et à la silicose (Dr. Bruce Case, communication personnelle). La particule de silice serait seulement légèrement biréfringente probablement à cause du petit diamètre de la particule et des différents plans de la surface du cristal (6).

Silicose chronique simple

La silicose chronique simple est caractérisée par la présence dans le poumon de nodules silicotiques typiques ayant un diamètre inférieur à 1 cm (8,12). Les espaces aériens adjacents sont intacts (8). Dans la silicose simple, la lésion microscopique précoce est formée de couches concentriques de fibroblastes et de macrophages en présence de poussières. Quand le nodule évolue, de cellulaire il devient acellulaire et les cellules sont remplacées par des fibres de tissu conjonctif, principalement du collagène (24) pour donner le nodule silicotique classique décrit ci-dessus.

Silicose chronique conglomérée

La silicose chronique conglomérée (ou forme compliquée ou condensée ou pseudo-tumorale) n'apparaît qu'avec des expositions à des fractions de quartz supérieures à 18% (6). Elle est caractérisée par des lésions fibrosantes d'un diamètre supérieur à 1 cm (12) massives, situées habituellement aux lobes supérieurs, plus en postérieur qu'en antérieur (6). Les masses sont formées d'une agglomération de nodules classiques, emmêlés avec de la fibrose et présentant des vaisseaux et des bronches oblitérés (8,10). Quand il y a conglomération des nodules, l'apparence histologique devient celle d'une fibrose massive (24).

Macroscopiquement, il pourra y avoir distorsion importante de l'architecture pulmonaire avec rétraction des lobes supérieurs et changements emphysémateux des lobes inférieurs pouvant aller jusqu'à la formation de grosses bulles d'emphysème (8,10). Quand l'atteinte des ganglions hilaires et paratrachéaux est importante, il peut y avoir

distorsion de la trachée, des grosses bronches et de l'artère pulmonaire (6).

Les adhérences pleurales sont fréquentes de même que les calcifications des ganglions péri-hilaires (8). Les masses peuvent occuper plus du tiers des lobes supérieurs et la fibrose peut traverser la fissure interlobulaire. En présence de cavités on doit soupçonner une tuberculose (8). Celle-ci a une prévalence augmentée dans les cas de silicose et elle aurait causer 75% des décès dus à la silicose dans les années 40 (12).

2.3.6.1.2 Clinique

Il y a peu de symptômes au début (11,13). La silicose chronique simple est définie par l'image radiographique. La radiographie pulmonaire pourra montrer de nombreuses petites opacités rondes, régulières, de catégorie 1, 2 ou 3 (voir section 2.3.10.1) et il n'y aura pas d'opacité ≥ 1 cm (6). De fait, la silicose chronique simple, classée inférieure à 2 à la radiographie pulmonaire ne présenterait pas de symptôme ni de signe d'altération de la fonction respiratoire (6,11).

Les symptômes les plus précoces dans la silicose chronique sont la toux et l'expectoration, le plus souvent associées au tabagisme (8). Une toux plus ou moins sévère va apparaître quand la maladie progresse pour devenir paroxystique dans les stades avancés, particulièrement s'il y a irritation des récepteurs nerveux de la trachée et des bronches par des nodules silicotiques (6,11), distorsion de l'arbre bronchique (8) ou une surinfection ou un emphysème obstructif (10).

Une radiographie compatible avec une silicose simple n'est associée à une dyspnée d'effort que s'il y a présence d'un syndrome obstructif. La dyspnée est habituellement associée à des signes radiologiques de silicose en voie de conglomération (6,8).

Il n'y a pas d'hémoptysie (6), pas de sillement sauf si présence concomitante d'un syndrome obstructif (6,11) ou d'un asthme allergique (6). Il n'y a pas de douleur

thoracique ni d'atteinte de l'état général (6).

L'examen objectif d'une silicose non-compiquée (ou forme simple) est non-spécifique (11). Il est normal au début (13). L'état général est bon, il n'y a pas de cyanose centrale, pas d'hippocratisme digital, le thorax est normal de même que la percussion (6). Parfois on peut sentir un ganglion silicotique palpable dans le cou et le creux sus-claviculaire (6). À l'auscultation, le murmure vésiculaire est normal et il n'y a pas de bruit adventice (6).

La silicose chronique conglomérée, caractérisée par la présence d'une opacité d'un diamètre ≥ 1 cm sur fond de silicose nodulaire simple de catégorie 2 ou 3 à la radiographie peut s'accompagner de dyspnée (8). La dyspnée est fonction des syndromes restrictif et obstructif secondaires à la masse de fibrose et peut être permanente (10). C'est le symptôme principal, le plus fréquent et le plus caractéristique, au début limité à l'effort (6,8,10,11). On l'observe rarement au repos (6). Lorsque présente, la dyspnée est importante et est presque toujours due à des changements architecturaux massifs (contraction des lobes, cavités d'origine infectieuse ou ischémique) (8). L'hypertension pulmonaire cause une hypertrophie ventriculaire droite pouvant aller jusqu'au cœur pulmonaire (6) particulièrement s'il y a présence d'un syndrome mixte sévère. Ainsi, avec le développement de fibrose massive progressive (stade pseudo-tumoral) ou lorsque la maladie est à un stade avancé, on observe la distorsion de l'architecture normale du poumon et la contraction des lobes supérieurs amenant un emphysème paracatriciel et compensateur (10,11,13). L'insuffisance respiratoire peut être la conséquence d'une silicose compliquée et peut être très sévère et intraitable si liée à un pneumothorax (8).

Une détérioration rapide de la condition clinique peut signaler la présence d'une tuberculose (11). La silicose (chronique ou accélérée), particulièrement si elle est à un stade modéré à sévère, est la seule pneumoconiose qui prédispose au développement de la tuberculose (11).

Les surinfections bronchiques sont fréquentes dans la silicose conglomérée (8). Lorsqu'une silicose compliquée se surinfecte avec un mycobacterium atypique ou tuberculeux (comme dans la silico-tuberculose), ce qui est fréquent dans les cas de silicose accélérée, on peut observer une perte de poids. Les lésions surinfectées peuvent être colonisées par des organismes mycotiques pour donner des nocardioses, cryptococcoses ou sporotrichoses (8). Les douleurs thoraciques qui surviennent à l'effort seraient dues à l'augmentation de la pression dans l'artère pulmonaire (32).

Dans les stades avancés, l'examen objectif peut être positif (11) et il pourra y avoir atteinte de l'état général, avec perte de poids et asthénie, secondaire à l'insuffisance respiratoire (6,10). S'il y a rétraction pulmonaire, le thorax pourra être anormal tant à l'inspection qu'à l'auscultation (6).

2.3.6.2 Silicose accélérée

La réaction accélérée est caractérisée par une exposition élevée, et un pourcentage de silice libre supérieur à 30% (8,20). La latence relative à l'apparition de nodules à la radiographie pulmonaire simple est située entre 4 à 8 ans (8). Elle se rencontre le plus fréquemment chez les travailleurs au jet de sable (8) et les ensacheurs de farine de silice (11). Au Québec, elle a déjà été fréquente dans les carrières de silice (32).

2.3.6.2.1 Histopathologie

La réaction accélérée présente les mêmes caractéristiques pathologiques que la réaction chronique mais progresse plus rapidement.

Le nodule silicotique est bien formé mais se situe dans la paroi de l'alvéole au lieu de l'orifice de la bronchiole respiratoire (8).

La complication la plus fréquente est la fibrose massive, plus souvent rencontrée dans

les portions moyennes et supérieures des poumons (8).

Des cavités peuvent se former s'il y a surinfection avec le bacille tuberculeux ou une autre mycobactérie (8).

2.3.6.2.2 Clinique

La symptomatologie clinique de la silicose accélérée est la même que pour la silicose chronique, mais la latence est plus courte et la détérioration est rapide. La durée moyenne d'exposition des cas fatals chez les travailleurs au jet de sable est de 10 ans. Vingt-cinq pourcent des cas seraient surinfectés avec une mycobactérie dont la moitié sont des microorganismes atypiques. (8)

La silicose accélérée est souvent associée à une maladie auto-immune. On aurait observé, dans 10% des cas, la présence d'une maladie du tissu conjonctif comme la sclérodermie et l'arthrite rhumatoïde. Le syndrome de Caplan est l'association de nodules silicotiques et de nodules rhumatoïdes. C'est dans ces cas qu'on a pu noter une amélioration avec le traitement aux corticostéroïdes (8). La présence d'une maladie auto-immune est habituellement associée à une progression plus rapide (1 à 2 ans) des signes radiologiques et fonctionnels (8).

2.3.6.3 Silicose aiguë (ou silico-lipoprotéïnose alvéolaire)

La silicose aiguë a été décrite pour la première fois en 1929 par Middleton. Cette réaction est extrêmement rare et pratiquement inexistante au Québec depuis les 20 dernières années (32). On l'appelle aussi réaction diffuse. Elle survient quand les concentrations de silice cristalline libre respirable sont très importantes, en espace confiné, sans protection respiratoire pour le travailleur. Le développement des lésions est très rapide (moins d'un an à 3 ans d'exposition) (6,8,11,12,33) et se retrouve chez les travailleurs au jet de sable, les perceurs de tunnels et les ensacheurs de produits

contenant de la farine de silice (6,10,33). La latence moyenne serait de 2,5 à 4 ans. Plusieurs cas ont été décrits chez des travailleurs au jet de sable notamment sur pierres tombales (16) et sur barils d'acier (34). Dans ces derniers cas, la latence documentée avant l'apparition des signes cliniques était de 17 mois et le décès est survenu 2 ans après le début de l'exposition (34).

2.3.6.3.1 Histopathologie

La silicose aiguë est une variante rapidement évolutive d'une silicose accélérée. Elle comporte des caractéristiques histologiques particulières (8).

À l'autopsie, le volume pulmonaire peut être conservé mais le poumon est consolidé, lourd, non-aérien, grisâtre et présente une fibrose interstitielle diffuse (6,8,11). On retrouve habituellement un épaississement pleural avec adhérences (6).

On ne voit pas la nodularité ou les changements massifs caractéristiques des formes chroniques (6,8) et l'image microscopique est variable (6).

Il y a présence d'un oedème pulmonaire terminal ou d'exsudation qui se traduit par un suintement gélatineux de la tranche de section (8). Cette matière granulaire qui remplit les alvéoles contient des lipides et des protéines ainsi que de nombreux macrophages et pneumocytes de type II (6,8,10). Elle réagit positivement au réactif périodique Schiff (PAS) (6,8). On note une déposition alvéolaire importante des poussières (8). Cette réaction histopathologique ressemble à la lipoprotéinose alvéolaire idiopathique (6).

2.3.6.3.2 Clinique

La symptomatologie est à développement rapide (aussi peu que quelques semaines) et peut se présenter sous forme de malaise, fatigue, perte de poids, toux, crachats mucoïdes, hémoptysie et douleur thoracique de type pleurétique. On rencontre surtout

une dyspnée d'apparition soudaine et rapidement progressive (6). La dyspnée d'effort peut survenir après seulement 6 mois d'exposition (8). Parfois le début de la maladie se fait à bas bruit et la progression est lente (6).

On observe cliniquement une atteinte de l'état général sous forme d'asthénie et de perte de poids (8). On pourra observer aussi une dyspnée au repos, une orthopnée (au stade avancé), une cyanose centrale avec une température augmentée (37,2°C à 40°C), un hippocratisme digital, une matité à la percussion du thorax, un frottement pleural à l'auscultation de même qu'une diminution du murmure vésiculaire et la présence de râles crépitants inspiratoires à tous les foyers pulmonaires (6,8). Notons cependant que parfois on ne retrouve aucun de ces signes (6). Les complications infectieuses par des mycobactéries étaient la règle autrefois (8). Le décès survient par insuffisance respiratoire (8).

Contrairement à la lipoprotéinose alvéolaire idiopathique où on observe une résolution spontanée, la forme silicotique évolue rapidement vers la mort par bloc alvéolo-capillaire et décompensation cardiaque droite (10) parfois en quelques semaines (6,16).

Tableau 3: Résumé des signes et symptômes de silicose

Variétés cliniques Signes, symptômes	Silicose chronique simple; BIT-1980= 1-2	Silicose chronique simple; BIT- 1980> 2	Silicose chronique compliquée; BIT-1980 ≥ A	Silicose accélérée
Fonction pulmonaire	Normale	≈ Normale	Anormale	Anormale
Toux avec ou sans crachats	± si tabagisme	± si tabagisme	+	+
Dyspnée d'effort	-	-	+	+
Dyspnée de repos	-	-	±	±
Hémoptysie	-	-	+ avec infection	+ avec infection
Douleurs thoraciques	-	-	±	±
État général	Normal	Normal	Atteint si surinfection	Atteint
Cyanose	-	-	±	±
Thorax	Normal	Normal	Parfois anormal	Parfois anormal
Auscultation	Normale	Normale	Parfois anormale	Parfois anormale

2.3.7 Diagnostic différentiel

Le diagnostic différentiel d'une silicose chronique simple ou conglomérée se fait avec une tuberculose ancienne, une sarcoïdose, une sidérose (du soudeur par exemple), une hémosidérose ou une pneumoconiose du mineur de charbon (8,10). L'image radiographique d'une silicose peut ressembler à une sarcoïdose. Cette dernière peut aussi présenter une abondance de petites opacités nodulaires prédominantes aux lobes supérieurs avec atteinte des ganglions hilaires. Les cas avancés de sarcoïdose peuvent montrer des volumes pulmonaires petits, des densités semblables à des lésions conglomérées et des changements emphysemateux. Cependant, la sarcoïdose peut être associée à des manifestations extrapulmonaires et souvent les signes radiologiques s'améliorent avec l'administration de corticostéroïdes (8).

Le diagnostic différentiel d'une lésion conglomérée isolée se fait avec un cancer bronchogénique (6). Des opacités massives peuvent aussi être confondues avec un cancer (8). La carcinomatose diffuse peut donner une image radiologique semblable à celle d'une silicose simple, mais elle sera habituellement associée à des anomalies cliniques et fonctionnelles sévères. Enfin les granulomes infectieux peuvent causer un problème diagnostique. Dans les cas d'infections mycobactériennes, on pourra voir un contact plus grand des opacités avec la surface pleurale. Dans ce dernier cas, une réaction pleurale à distance est en faveur d'une infection. Le diagnostic des deux atteintes, lorsque concomitantes, peut causer un problème (8).

Le diagnostic différentiel de lésions pulmonaires ou hilaires calcifiées est le suivant: tuberculose, histoplasmosse, maladie de Hodgkin, sarcoïdose, séquelles de varicelle ou de microlithiases alvéolaires pulmonaires (rares) (6,32), mais l'image "en coquille d'oeuf" est assez spécifique à la silicose (6,8,11,13).

Au stade de silicose conglomérée, il faut penser à une tuberculose, une néoplasie pulmonaire ou un kyste hydatique (10).

Le diagnostic différentiel d'une silicose aiguë, en l'absence d'une histoire professionnelle compatible comprend: l'oedème pulmonaire, la lipoprotéinose alvéolaire, l'alvéolite fibrosante, la tuberculose ou la pneumonie virale (6).

2.3.8 Cancer et autres complications

En 1976, Ziskind concluait à une insuffisance de preuve quant à l'augmentation du risque de **cancer pulmonaire** chez les silicotiques (8). Cependant, dans le cas d'exposition à la silice cristalline combinée à d'autres produits cancérigènes, il pourrait y avoir augmentation de la susceptibilité aux cancérigènes (8).

En 1987, l'International Agency for Research on Cancer (IARC) (ou Centre international de la recherche sur le cancer, CIRC) a conclu à une preuve limitée de la cancérogénicité de la silice chez l'humain (6,11). Les études ont été réévaluées en 1990 et la conclusion est restée la même. La silice cristalline est donc classifiée 2A, i.e. probablement cancérogène (10). Les données les plus récentes ne permettent pas de classer le cancer du poumon comme une maladie professionnelle reliée à l'exposition en soi à la silice sans silicose, mais apportent une preuve assez solide que les individus atteints de silicose sont à risque accru de développer un cancer pulmonaire (11). Les études bien faites montrent que la silicose augmente le risque de cancer pulmonaire chez les travailleurs atteints (6,15) avec un risque relatif d'environ 3 (6,35). Ce cancer se retrouvera donc chez les travailleurs déjà atteints de fibrose. Sa recherche systématique ne serait pas indiquée. Notons cependant que les preuves toxicologiques chez l'animal sont claires, même si le mécanisme de la cancérogénicité n'est pas entièrement élucidé (15).

La survenue de complications est liée à l'intensité de l'exposition, au pourcentage en silice de la poussière et à d'autres facteurs. En l'absence de tuberculose, la **conglomération ou fibrose massive progressive (FMP)** mène à un syndrome restrictif avec atteinte de la fonction échangeur, ceci amenant l'insuffisance respiratoire et

cardiaque, avec décompensation cardiaque droite. Le pronostic est sombre dans ces cas (10).

Les **surinfections** sont particulièrement fréquentes dans les cas de silicose accélérée ou aiguë (8). La prévalence de la tuberculose ou d'autres infections à mycobactéries est élevée dans ces cas (8). De plus, la bronchite, aiguë ou sub-aiguë, récurrente, peut se retrouver dans les cas avancés de silicose chronique (6).

La silicose est la seule pneumoconiose qui prédispose à la **tuberculose**. Le quartz aurait un effet potentialisateur sur le bacille tuberculeux (6). Au début du siècle, la tuberculose était la cause majeure de décès chez les silicotiques (65% à 75% des silicotiques souffraient de tuberculose (chiffres de 1937)). La prévalence de la tuberculose a beaucoup diminué depuis mais demeure encore en excès par rapport à la population générale. Plus la silicose est avancée, plus l'incidence de tuberculose active est grande. Cette dernière est la complication la plus commune. Elle est fréquente chez les travailleurs de plus de 50 ans, présentant une silicose modérée à sévère (6,10). Le symptôme révélateur est l'apparition récente d'une toux avec crachats verdâtres. Il y aura aussi des changements rapides à l'image radiographique (6). Ce diagnostic doit être suspecté si à la radiographie pulmonaire on observe une condensation souvent cavaire dans un apex. Le diagnostic se fait par l'objectivation du bacille de Koch dans les expectorations (10) ou les sécrétions bronchiques prélevées à la bronchoscopie. On peut aussi avoir une colonisation secondaire d'une cavité tuberculeuse par un *aspergillus*, pour donner un aspergillome (6).

L'infection par des mycobactéries atypiques est devenue problématique. Le complexe intracellulaire-*Mycobacterium avium* est le micro-organisme le plus commun. La réponse au traitement est pauvre (11).

Comme nous le verrons à la section 2.5, les **maladies pulmonaires obstructives chroniques (MPOC)** pourraient survenir dans les cas d'empoussièrément relativement

important avec des poussières mixtes (36). L'emphysème associé à la silicose est habituellement de type para-cicatriciel, i.e. qu'il s'agit d'un emphysème irrégulier autour des nodules (6,10). L'emphysème résultant d'une obstruction primaire des voies aériennes n'est pas un signe de silicose (6). L'atteinte spirométrique de type obstructif serait reliée aux silicoses conglomérées, i.e. au degré de FMP (10,37). Le **pneumothorax spontané** est une complication rare d'une bulle d'emphysème cicatriciel (6) et il peut s'agir d'une complication grave (8,10).

L'hypertrophie des ganglions lymphatiques médiastinaux peut amener une **compression** de la veine cave supérieure et de l'oesophage (8) mais ceci est rare. Cette compression de l'oesophage par des grosses masses peut causer une dysphagie, mais ceci demeure très rare (6). De même, le collapsus d'un segment ou d'un lobe peut survenir par compression ou occlusion d'une petite bronche par un nodule (6). Lorsque le nerf récurrent laryngé gauche est pris dans un nodule silicotique (ce qui est rare), cela peut créer une paralysie de la corde vocale gauche (6).

On a parlé de **néphropathie** ou de **lésions rénales** au niveau des glomérules et des tubules proximaux qui pourraient accompagner une silicose et être causées par des auto-anticorps. Cette néphropathie causerait une protéinurie et une hypertension artérielle. Cependant, les preuves actuelles ne confirmeraient pas une augmentation du risque de maladie rénale chez les silicotiques ou les travailleurs exposés à la silice (6).

Par ailleurs, une étude récente suggère qu'une exposition prolongée à la silice cristalline est associée à une néphrotoxicité chronique irréversible (38). Quelques cas de glomérulonéphrites rapidement évolutives ont été associés avec la présence de silice dans le rein. On a même vu un cas de glomérulonéphrite proliférative sévère. Ces atteintes sont rares mais très graves. Les études toxicologiques chez l'animal sont positives (10).

Un cas de **masse rétro-péritonéale** trouvée chez un mineur ayant 30 ans d'ancienneté a été rapporté récemment (1992). Le travailleur s'est présenté avec des douleurs abdominales. Il s'agissait d'une masse provoquée par une réaction inflammatoire à la silice (39).

Une autre complication est la survenue d'un **coeur pulmonaire** dans les cas de silicose conglomérée avancée (6).

Il n'y a pas de preuve que la silicose provoque une **sclérodermie**, mais on a observé une association entre la silicose et une augmentation de la prévalence de celle-là (6). L'incidence chez les mineurs d'or d'Afrique du Sud serait plus grande que celle de la population normale (82 cas/million *versus* 3,4 cas/million) (10). On peut aussi observer l'apparition de lésions cutanées semblables à celles de la sclérodermie (6). Un **syndrome rhumatoïde** pourrait accompagner ou compliquer une silicose (syndrome de Caplan) (6). Trois cas de **dermatopolymyosite** ont aussi été reliés récemment à une histoire d'exposition (de 5 à 21 ans) à la silice, lorsque la biopsie des lésions a démontré dans chacun des cas la présence de silice cristalline, suggérant que celle-ci pouvait induire des collagénoses (40).

2.3.9 Pronostic

La durée moyenne de survie après le début d'une exposition d'intensité moyenne était de 40 ans dans le passé (8). La maladie évoluerait en 2 phases: une phase micronodulaire stable suivie d'une phase de condensation avec diminution de l'espérance de vie du travailleur atteint (10).

Pour une silicose non compliquée, l'espérance de vie est normale (6). Une étude récente de cas compensés au Québec confirme que les patients qui n'ont aucune anomalie clinique ou de la fonction pulmonaire au moment du diagnostic pour

compensation et dont la radiographie pulmonaire ne montre que des petites opacités ont la même espérance de vie que la population générale (30).

Un pourcentage faible en silice cristalline (ex.: mines de fer) est associé à des images de type "p" et "q" à la radiographie pulmonaire (voir section 2.3.10.1). Ces images peuvent rester stables s'il n'y a pas de nouvelle exposition. Si le score de catégorie 1 n'est pas dépassé pendant un certain temps (environ 10 ans), on pense qu'il n'y aura pas d'évolution. À partir d'un score de catégorie 2, il y a possibilité d'évolution même après arrêt de l'exposition (10). Aussi, une étude prospective aurait démontré que pour une radiographie pulmonaire dont le type d'opacités correspondait à "p" (stade punctiforme) pendant plus de 10 ans, il n'y aurait pas d'effet sur la mortalité et le développement d'emphysème (10).

Dans une autre étude québécoise, on a vu, dans un intervalle de cinq ans, une progression de la maladie et une détérioration de la fonction pulmonaire chez des travailleurs porteurs d'une silicose simple. Il faut cependant noter que ces travailleurs ont continué à être exposés (24).

Lorsque des images "r" sont présentes à la radiographie (voir section 2.3.10.1), elles correspondent à des expositions à des pourcentages élevés de silice cristalline. Une évolution plus rapide est probable (10). En effet, l'évolution vers le stade pseudo-tumoral (condensation) serait fonction du pourcentage de silice cristalline libre contenu dans l'air inhalé. Avec un pourcentage élevé, l'évolution est progressive même après arrêt de l'exposition (10).

Lorsqu'il y a progression (une petite proportion des cas), cette progression peut aller jusqu'à l'insuffisance respiratoire sévère et au décès. Il y a augmentation du risque d'atteinte cardio-pulmonaire s'il y a présence d'une tuberculose non traitée (6). Si une obstruction chronique des voies aériennes se surajoute, il y a augmentation de la morbidité et de la mortalité (6).

Les facteurs de risque associés au développement de la fibrose massive progressive (silicose compliquée) seraient: une intensité élevée d'exposition à la poussière, une histoire de tuberculose, un score élevé de profusion des petites opacités (11,41). Dans une étude (41), le tabac n'a pas été associé au risque de développer la FMP. Cependant, dans une des deux études québécoises mentionnées ci-dessus (30), on a montré que ceux qui fument et qui présentent une silicose compliquée, une dyspnée, des expectorations, une auscultation pulmonaire anormale et/ou une diminution de leur capacité vitale au moment du diagnostic pour compensation ont une survie nettement diminuée (30).

Notons que la survenue d'une silicose chez un travailleur très jeune est un facteur de mauvais pronostic. En effet, lorsque la latence est courte, on a probablement affaire à une exposition intense associée à un risque élevé de progression au cours des années (6), comme dans la silicose accélérée.

Dans le cas de la lipoprotéinose alvéolaire, si celle-ci est idiopathique, il peut y avoir une résolution spontanée. Dans le cas d'une silicolipoprotéinose alvéolaire (silicose aiguë) le décès survient par insuffisance cardio-respiratoire en 1 an (6).

2.3.10 Outils diagnostiques

2.3.10.1 Radiographie pulmonaire

Rappelons que le diagnostic de silicose est habituellement basé sur l'histoire professionnelle d'exposition à la silice cristalline et sur une radiographie pulmonaire positive (8).

La radiographie pulmonaire apporte la preuve de la maladie. On y retrouve des opacités caractéristiques bien décrites depuis plus de cinquante ans. Dans la forme simple, on observe principalement des micronodules. La radiographie des formes conglomérées

est caractérisée par la présence d'opacités massives.

Classification des radiographies:

Le Bureau international du travail (BIT) a procédé à une classification des lectures de radiographies pulmonaires pour les pneumoconioses afin d'en faciliter l'utilisation épidémiologique. La dernière date de 1980. Cette classification permet une description standard des opacités pulmonaires anormales (voir annexe I) (8).

La classification du BIT-1980 permet de classer les opacités anormales selon leur forme, leur taille et leur localisation (8,10). Le score de profusion ou d'abondance est indiqué par un ratio; le chiffre supérieur indique la catégorie choisie par le lecteur et le chiffre inférieur indique la catégorie alternative que celui-ci aurait pu choisir (voir annexes I et II). Il existe quatre catégories (0, 1, 2, 3), subdivisées chacune en 3 sous-catégories par l'ajout du critère de score alternatif, pour un total de 12 scores possibles. Ces subdivisions augmentent la précision et la sensibilité de la lecture (8).

Un score de profusion de 0 indique un poumon sans petites opacités. Les petites opacités régulières seront classées selon le score de profusion (1, 2, 3), leur taille (p, q, r) et leur localisation (U, M, L) (8,10). Les petites opacités irrégulières (rares dans la silicose chronique ou accélérée) seront classées de la même façon, leur taille étant notée s, t ou u (10). Les anomalies sont parfois mieux vues sur des incidences particulières, soit des vues obliques à 15°, en oblique standard ou en latéral (8).

La description des formes compliquées (ou conglomérées) se fait à l'aide de l'inscription de la présence de grandes opacités (diamètre supérieur à 1 centimètre), classées par taille (A, B, C) (8,10). D'autres anomalies peuvent aussi être mentionnées au besoin (8).

Silicose chronique, simple et conglomérée:

Comme mentionné précédemment, le signe le plus précoce de la maladie est radiographique (6,13). Il s'agit de la présence de petites opacités nodulaires (p, q, de

1 à 3 mm) dans les moitiés supérieures des champs pulmonaires (6,11,13).

Lorsqu'il y a évolution, on observe une augmentation du nombre et de la grosseur (r) des opacités dans tout le poumon (6). On peut voir l'apparition de masses (grandes opacités $\geq A$) par agglomération des nodules (6,11,13), une contraction des lobes supérieurs avec élévation des racines, des changements emphysémateux à la base, un épaississement pleural avec adhérences (8,11). Les opacités sont la plupart du temps assez symétriques (6,11,13).

On peut parfois observer la présence de bulles d'emphysème près des masses, avec distorsion. Les cavités sont rares sauf s'il y a présence d'infection tuberculeuse (6).

L'apparition rapide (i.e. moins de 5 ans) d'un changement massif à la radiographie pulmonaire peut être l'indice d'une complication infectieuse, par un mycobactérium par exemple, ou de la présence d'une arthrite rhumatoïde concomitante (6,8). Cette dernière peut donner une augmentation rapide de la profusion des petites opacités nodulaires (8). En présence d'arthrite rhumatoïde ou d'un facteur rhumatoïde circulant, on peut observer un épanchement pleural transitoire (6).

La présence de calcification périphérique des ganglions hilaires (en "coquille d'oeuf") est fortement suggestive de silicose ganglionnaire ou d'une exposition à la silice cristalline libre (6,8,11,13). De grandes opacités en "ailes d'ange", dans la zone supérieure, sont aussi en faveur d'une silicose (8).

La tomographie peut être utile s'il y a présence de cavités comme dans la silico-tuberculose. La bronchographie peut montrer une distorsion de l'arbre bronchique ou des bronchiectasies. L'artériographie peut montrer un shunt (6). De nos jours, ces techniques ont pour la plupart été remplacées par l'utilisation de la tomographie assistée par ordinateur (CT Scan). Les anomalies au CT Scan sont plus précoces que celles aux rayons-X. Le CT Scan donne plus d'information sur la présence de nodules ou d'emphysème débutant. Ce test, bien que plus sensible que la radiographie standard

(13,23,42,43), ne devrait pas être utilisé en dépistage. Il peut être complémentaire, particulièrement dans les cas de discordance entre la radiographie, la clinique et la spirométrie (13). En effet, à cause des coûts et des doses de radiations associés à son utilisation, le CT Scan ne saurait servir qu'à confirmer un diagnostic douteux, par exemple lors d'évaluation diagnostique par un comité des maladies pulmonaires professionnelles.

Dans les **formes accélérées**, la progression à la radiographie peut être décelable en un an (32).

Silicose aiguë

La radiographie d'une silicose aiguë montre une infiltration alvéolaire diffuse bilatérale en aspect de "verre dépoli" ou donnant un aspect de tuberculose miliaire (6). La radiographie se caractérise par: 1) une atteinte bilatérale étendue, 2) une diminution du volume pulmonaire, 3) des changements interstitiels, 4) des nodules mal définis en périphérie et 5) un diaphragme haut. Même s'il y a complication infectieuse, il y a peu de cavités (8).

2.3.10.2 Biopsies

La biopsie est rarement requise pour le diagnostic (6,11). Elle est utilisée plutôt pour éliminer le diagnostic d'une maladie traitable que pour le diagnostic de la silicose (6,11). Les indications précises d'une biopsie sont: 1) une radiographie atypique, 2) la présence d'une maladie auto-immune, 3) une détérioration rapide et progressive et 4) une histoire d'exposition atypique (8). La biopsie sera faite dans ces cas par thoracoscopie et ne doit jamais être recommandée dans un but **médico-légal** à cause des complications possibles (32).

Plusieurs types d'examens histologiques peuvent être faits: un examen conventionnel et/ou en lumière polarisée, ou encore la microscopie électronique à balayage ou la

spectrométrie utilisant l'énergie des rayons-X (EDXA), pour étude minéralogique.

2.3.10.3 Fonction pulmonaire

Il faut savoir qu'aucune mesure fonctionnelle ou combinaison de mesures n'est spécifique au diagnostic de silicose (6,8). Cependant, lorsque la maladie évolue, il y aurait une augmentation progressive du syndrome restrictif (i.e. diminution des volumes pulmonaires tels la capacité vitale forcée (CVF), le volume expiratoire maximal en une seconde (VEMS) et la capacité pulmonaire totale (CPT)) (11). Par ailleurs, un syndrome obstructif peut aussi être observé, particulièrement dans les formes avancées (conglomérées) (11).

On pourra donc aussi bien observer, en présence de silicose, des syndromes restrictif, obstructif ou mixte. De plus, dans les cas d'une exposition intense à la silice cristalline pure, respirable, le développement d'une silicose accélérée mène à une atteinte fonctionnelle progressive avec insuffisance respiratoire.

Les experts s'entendent cependant sur les points suivants:

- 1) dans la silicose simple, la fonction pulmonaire peut être cliniquement normale;
- 2) les cas de silicose symptomatique vont inclure des patients présentant tant des syndromes restrictifs qu'obstructifs ou mixtes;
- 3) dans les cas de silicose conglomérée, il y a une diminution de la capacité de diffusion et une hypoxémie plus importante à l'exercice;
- 4) la compliance pulmonaire peut être diminuée;
- 5) dans les cas terminaux, il y aura des anomalies sévères, de type restrictif;
- 6) l'hypoxémie est sévère dans les cas avancés (8).

Les tests spirométriques auront une utilité variable selon l'objectif poursuivi, qui sera soit clinique, soit relié à des fins d'indemnisation, soit pour des études épidémiologiques (8).

Les évaluations spirométriques sériées pourraient être utiles pour la recherche car l'évaluation longitudinale (dans le temps) de la fonction pulmonaire associée à l'exposition à la silice cristalline a été peu étudiée (8).

Le meilleur indicateur d'incapacité dans la maladie au stade pseudo-tumoral (congloméré) est la capacité ventilatoire (6) mesurée par la spirométrie simple. Celle-ci sera donc essentielle à l'appréciation du dommage subi (13). Cependant, les épreuves de fonction pulmonaire ne sont pas associées à la plus ou moins grande détérioration de l'image radiographique (10). Pour des radiographies de catégorie BIT-1980 < 3, la spirométrie est habituellement normale (6,11,13). Dans certaines études, le stade punctiforme (opacités de type "p" et "q", i.e. diamètre entre 1 et 3 mm (6)) serait associé à de légères altérations sous forme d'augmentation de l'espace mort et de diminution de la capacité de diffusion (mesurée par la DLCO) (10). Au stade micronodulaire (opacités de type "r"), en l'absence de bronchite chronique, la spirométrie simple est à peu près normale. On peut parfois observer une légère diminution de la capacité vitale (CV) liée au syndrome restrictif, et une légère diminution du VEMS (10). Avec des opacités de catégorie 3, la CV et le VEMS seraient à près de 80% de la valeur prédite (10,13). Le rapport VEMS/CVF serait normal jusqu'à la catégorie 3 avec une légère diminution de ce rapport à cette catégorie (10,13).

Au stade pseudo-tumoral (opacités $\geq$ 1 centimètre, i.e. A et plus), on peut observer une diminution de la CV, du VEMS, du rapport VEMS/CVF et de la capacité pulmonaire totale (CPT) (6,10). Au stade ultime, de catégorie C, avec bulles d'emphysème, le VEMS est très réduit (< 1200ml/seconde) (10).

Quant au volume résiduel (VR), il serait peu ou pas augmenté à presque tous les stades de la maladie et la CPT sera normale ou légèrement diminuée (10). Il y aura augmentation du volume résiduel quand il y a apparition des bulles d'emphysème (10). On peut observer une diminution de la DLCO, qui accompagne la diminution de la CPT (10).

Dans la silicose aiguë, on observe un syndrome restrictif, avec diminution importante de la CPT, de la compliance et de la DLCO et une désaturation en O₂ du sang artériel (6).

Échanges gazeux

On peut observer une désaturation en O₂ discrète, au repos, surtout avec une catégorie supérieure ou égale à 2. Dans quelques cas, à ce niveau, et pour la majorité des cas de catégorie 3 ou plus, on observe une désaturation à l'effort (10). En absence de fibrose massive, l'hypoxémie au repos est rare (11). La capacité de diffusion diminue et l'hypoxémie à l'effort peut être démontrée (11). Le gaz carbonique (CO₂) artériel, pour sa part, est normal (10). On peut observer une hyperventilation à l'effort dès le stade micronodulaire (10).

Au stade pseudo-tumoral, il y aura désaturation en O₂ à l'effort, avec ou sans rétention de CO₂, et hyperventilation marquée (10). Au stade de catégorie C, il y a hypoventilation alvéolaire (i.e. diminution de O₂ et augmentation de CO₂) à l'effort et au repos et hypertension artérielle pulmonaire (10).

L'incapacité respiratoire dans la silicose résulterait de l'emphysème et de la fibrose. L'hypoxémie serait due à un déséquilibre dans le ratio ventilation/perfusion; celui-ci serait causé par une diminution de la surface alvéolaire et la diminution de la CV serait due à une fibrose excessive et/ou à la présence de bulles d'emphysème, ces dernières amenant un syndrome obstructif (34).

Une étude récente rapporte que l'atteinte obstructive des petites voies aériennes serait d'apparition plus précoce que les anomalies visibles à la radiographie standard et à la spirométrie simple (44).

Le tableau qui suit présente un résumé des anomalies respiratoires fonctionnelles en fonction du type de silicose.

Tableau 4: Résumé de la fonction respiratoire selon le type de silicose

	SILICOSE ACCÉLÉRÉE			
	SILICOSE CHRONIQUE SIMPLE < 3		SILICOSE CONGLOMÉRÉE	
	p,q	r	A ≤ Cat. < C	avancée catégorie C
CV	N	N ou légèrement diminué ↓	↓	↓↓
CVF	N	N ou ↓	↓	↓↓
VEMS	N ou ↓	N ou légèrement diminué ↓	↓	↓↓↓ (bulles d'emphysème)
VEMS/CVF	N ou ↓	N ou ↓	↓	----
CPT	N	N ou légèrement diminué ↓	↓	↓↓
COMPLIANCE	N	N	N ou ↓	----
DLCO	N mais parfois légèrement ↓	N ou légèrement diminué ↓	↓	↓
HYPOXÉMIE	-	----	Effort et repos	Effort et repos
HYPERCAPNIE	-	-	-	Effort et repos

N = normal
 . = absent
 + = présent
 ↑ = augmenté
 ↓ = diminué
 ---- = non précisé

2.3.10.4 Autres tests

Il est recommandé de faire un test à la tuberculine (PPD) chez le silicotique. Si le PPD est positif, que le travailleur n'a jamais été traité pour une tuberculose et qu'il n'a pas de tuberculose active, il faut débiter une chimioprophylaxie qui durera 6 mois.

Le facteur rhumatoïde et les ANA sériques, si positifs, peuvent expliquer une évolution soudaine de la silicose en l'absence de tuberculose (6), particulièrement chez les jeunes.

Dans les cas avancés, un électrocardiogramme peut être utile pour le diagnostic d'une maladie cardiaque d'origine pulmonaire (6).

Certains auteurs ont suggéré que la détermination du ratio hydroxyproline urinaire/créatinine, à jeun, pourrait être un indicateur utile de la progression de la maladie quand cette dernière est établie (45).

Des approches nouvelles et intéressantes ont été proposées pour l'investigation, comme par exemple la mesure des cytokines sur le sang périphérique. Cependant, ces méthodes ne sont pas validées présentement (23).

La reconnaissance de l'alvéolite peut se faire par lavage broncho-alvéolaire (BAL) du poumon et par scintigraphie au gallium 67; ces techniques ont été validées au cours de la dernière décennie mais elles ne sont pas applicables au dépistage de la maladie dans le cadre d'un programme de surveillance (23). De plus, il semblerait que la scintigraphie au gallium 67 ne donne pas des résultats consistants pour la silicose (6).

2.3.11. Traitement

2.3.11.1 Traitement prophylactique

Il n'y a pas de traitement spécifique de la silicose (6,10,11). Des traitements prophylactiques, dans le but de moduler le processus de la fibrogénèse, ont été essayés, par exemple la poudre d'aluminium, la D-pénicillamine et le polyvinyl-pyridine-N-oxyde. Ces produits enroberaient les particules de silice et en réduiraient ainsi la solubilité de surface (11). Dans les années 1940, l'aluminothérapie prophylactique a été essayée chez l'humain mais n'aurait démontré aucune utilité (6,10) malgré que les expériences animales aient montré une certaine efficacité (11). De plus, des études sur les effets de l'utilisation chronique de poudres d'aluminium ont montré une neurotoxicité probable liée à cet usage (46). Plus récemment, des expériences chez l'humain ont été faites avec le citrate d'aluminium pour tenter d'empêcher ou de retarder l'apparition ou la progression de la silicose. Le citrate d'aluminium, utilisé pendant 5 ans chez un groupe de travailleurs, aurait amené un retard dans l'apparition de la fibrose et une diminution de la morbidité liée à la silicose (47).

2.3.11.2 Traitement des complications

Le traitement de la silicose consiste essentiellement en celui des complications (8).

Dans le cas d'infection par un *Mycobacterium*, il faut utiliser au moins quatre anti-tuberculeux (dont l'isoniazide et la rifampicine). Cependant, même si l'infection est contrôlée, souvent le traitement ne change pas la progression de la fibrose. Dans le cas de la tuberculose, il faut débiter l'antibiothérapie dès que l'infection est soupçonnée, sans attendre le résultat des cultures (8). Le régime habituel est composé d'isoniazide, rifampicine, éthambutol et pyrazinamide pendant 2 mois puis isoniazide et rifampicine seulement par la suite (en général 6 mois) (32). Un traitement de plus de 9 à 12 mois peut s'avérer nécessaire dans le cas d'une cavité objectivée ou d'une progression

continue à la radiographie pulmonaire (8,10).

Les autres infections doivent aussi être traitées vigoureusement (8). Par exemple la bronchite aiguë doit être traitée par antibiothérapie (10).

En présence d'un syndrome obstructif, on a souvent une réponse positive à l'utilisation de bronchodilatateurs (8).

L'insuffisance cardiaque doit être traitée de façon habituelle, mais la dyspnée n'est souvent pas améliorée. La décompensation ventriculaire droite bénéficiera du repos, d'un régime hyposodé, de diurétiques et de tonicardiaques (10).

Dans les cas avancés, l'insuffisance respiratoire doit être traitée par oxygénothérapie même à domicile, 18 heures sur 24 heures, à l'aide d'un concentrateur d'oxygène (32).

Le pneumothorax nécessite un drainage, mais les résultats sont souvent mauvais dans les cas avancés (8).

Les corticostéroïdes peuvent être utiles dans les cas de maladie auto-immune concomitante (8).

Un diagnostic précoce peut améliorer la réponse au traitement dans le cas d'une silicose aiguë. Le lavage bronchopulmonaire à l'aide d'une solution saline physiologique peut aider, de même que l'inhalation de trypsine. Il faut aussi traiter les surinfections (6). La corticothérapie dans la silicose aiguë a été essayée avec des succès mitigés (6,34). Dans certains cas à composante immunologique, la progression de la maladie a été ralentie par l'administration de corticostéroïdes (11). Cette thérapie est inefficace quand la fibrose est déjà installée.

2.4 Autre réaction histopathologique à l'exposition aux poussières de silice cristalline

Nodule silicotique rhumatoïde

Il s'agit d'un nodule de diamètre plus grand que le nodule silicotique moyen (i.e. 3 à 5 mm), d'aspect semblable au nodule tuberculeux, sans bacille dans le tissu ou dans les cultures (6). Il s'apparente histologiquement au nodule rhumatoïde sous-cutané. On le retrouve chez le sujet silicotique porteur d'arthrite rhumatoïde ou ayant un facteur rhumatoïde circulant ou porteur d'une pneumoconiose du mineur de charbon (6).

Il peut être associé au syndrome de Caplan, qui se présente comme une polyarthrite chronique évolutive associée à une pneumoconiose conglomérée. Sur un fond micronodulaire discret, on trouve des opacités arrondies (2 cm à 5 cm) multiples, périphériques (10).

2.5 Bronchite chronique industrielle et maladies pulmonaires obstructives chroniques

2.5.1 Généralités

Depuis près de 30 ans, on se demande si l'exposition aux poussières produit ou non une atteinte obstructive chronique des voies respiratoires. Une méta-analyse récente (36) des études reliées à ce sujet montre qu'il y a de bonnes preuves qu'une exposition professionnelle aux poussières mixtes peut causer la bronchite chronique simple et des pertes de fonction pulmonaire importantes cliniquement, bien que la controverse sur ce dernier point persiste (voir 2.5.3 et 2.5.4). Ces pertes seraient observables tant chez les fumeurs que les non-fumeurs et chez les premiers, l'exposition professionnelle aux poussières pourrait mener à une maladie pulmonaire obstructive chronique marquée, risque qui serait cependant faible sinon nul chez les non-fumeurs (36).

Le développement d'un syndrome obstructif relié à l'exposition professionnelle aux poussières mixtes serait indépendant de la présence ou non d'une pneumoconiose.

2.5.2 Définitions

La **bronchite chronique** est définie par une toux avec crachats présents trois mois de l'année, pendant deux années consécutives (48). Cette hypersécrétion bronchique ne serait pas nécessairement accompagnée d'obstruction du débit respiratoire (voir ci-dessous) (6).

Le terme de bronchite chronique obstructive suggérant une obstruction du débit aérien expiratoire due à une augmentation de la résistance à l'écoulement de l'air par diminution du diamètre des voies aériennes devrait être abandonné (6).

Les **maladies pulmonaires obstructives chroniques (MPOC)** sont constituées de deux pathologies coexistant le plus souvent chez le même individu, soit 1) une atteinte des petites voies aériennes avec inflammation (bronchiolite obstructive chronique) avec ou sans fibrose et 2) l'emphysème (48).

L'**emphysème** est défini par un élargissement anormal et irréversible des espaces aériens en aval des bronchioles terminales, avec destruction des parois des alvéoles sans évidence de fibrose (ATS 1987) (6).

La sévérité des MPOC se traduit le mieux *in vivo* par le degré d'obstruction des voies aériennes, mesuré le plus souvent par spirométrie. Cet examen ne fait pas la distinction entre l'atteinte des petites voies aériennes et l'emphysème (48).

2.5.3 Bronchite chronique industrielle

De nombreuses études ont tenté d'établir un lien entre l'exposition aux poussières

respirables et une atteinte des voies respiratoires. De fait, certaines controverses persistent encore. Cependant, il semble présentement admis qu'il existe un lien entre l'exposition continue et prolongée aux poussières et le développement de toux avec crachats (définissant la bronchite chronique) (6,48). Cette dernière pourrait même être associée à une diminution de la capacité ventilatoire et une augmentation du volume résiduel mais sans perte de l'élasticité pulmonaire ou sans développement d'emphysème (6).

Le facteur de risque le plus important de la bronchite chronique est le tabagisme (6,48) et ce facteur de risque tend à masquer l'effet de l'exposition professionnelle aux poussières respirables (8).

On ne connaît de façon précise ni la latence ni la durée d'exposition minimales nécessaires à l'apparition des symptômes. Certaines courbes dose-réponse proposent que pour des travailleurs non fumeurs, 3,6 travailleurs sur 100 développeraient des symptômes de bronchite chronique après 35 ans d'exposition quotidienne à $1,4 \text{ mg/m}^3$ de poussières respirables (36). Une exposition quotidienne à la norme en poussières respirables (environ 5 mg/m^3 , sans tenir compte du pourcentage de silice cristalline) produirait le même risque en 10 ans environ. La dose nécessaire pour un risque de même ampleur semblerait plus faible avec une augmentation du pourcentage de silice cristalline (36). Nous pourrions donc considérer la norme en poussières respirables totales (5 mg/m^3) et/ou en silice cristalline ($0,1 \text{ mg/m}^3$) comme les expositions minimales requises pour produire des symptômes de bronchite chronique chez des travailleurs non fumeurs, et ce pour une durée d'exposition équivalente ou supérieure à 10 ans.

La prévalence de la bronchite chronique dans une population industrielle se mesure habituellement à l'aide de questionnaires respiratoires (ex. ATS, BMRC 1986), à la recherche d'une production chronique de crachats avec toux (6). Il faut savoir cependant qu'il existe plusieurs biais dans l'utilisation et l'interprétation des questionnaires (voir section 3.3.4) et qu'il faut tenir compte du diagnostic différentiel des

symptômes recherchés, de la variabilité de la pathogénèse et des critères diagnostiques dans l'interprétation des résultats au niveau populationnel (6). La comparaison de la prévalence d'une étude à l'autre pourra donc être difficile (6).

La bronchite chronique telle que définie ci-dessus serait d'intérêt secondaire car sa présence ne signifie pas une diminution incapacitante de la fonction pulmonaire, ni une mortalité accrue (48). Dans un tel contexte, il pourrait tout de même être utile de surveiller la présence de toux et de crachats dans une population de travailleurs exposés à des poussières respirables. En effet, la symptomatologie de la bronchite chronique serait un marqueur d'exposition et la présence de ce marqueur est liée à une prévalence plus élevée de MPOC (49). Il serait donc utile de tenter d'identifier cette condition dans une population de travailleurs exposés, particulièrement les non-fumeurs et les ex-fumeurs ayant cumulé moins de 10 paquets-années, d'autant plus que les symptômes de toux et de crachats, par analogie avec l'arrêt du tabagisme, pourraient peut-être régresser avec l'arrêt de l'exposition (6). Notons toutefois que le premier geste de prévention est d'encourager les travailleurs dans un milieu de travail à risque de bronchite chronique ou de MPOC à cesser de fumer (6).

2.5.4 Maladies pulmonaires obstructives chroniques

Comme nous l'avons vu ci-dessus (voir 2.5.2) les maladies pulmonaires obstructives chroniques sont représentées principalement par deux entités pathologiques distinctes, difficiles à distinguer cliniquement, soit la bronchiolite obstructive et l'emphysème (48).

Les facteurs de risque principaux sont le tabagisme et la déficience en alpha-1-antitrypsine (48). Cette déficience enzymatique ne compterait que pour moins de 5% des cas (48). L'exposition aux poussières industrielles serait un facteur de risque non négligeable associé aux MPOC. De plus en plus d'études tendent à prouver cette association (1,36,48), bien qu'il persiste une controverse à ce sujet (6). L'importance de considérer l'exposition professionnelle aux poussières comme facteur de risque des

MPOC réside dans le fait que ces dernières sont associées à une morbidité et une mortalité accrue (1,36,48).

Les doses cumulatives de poussières respirables associées au développement d'une atteinte de la fonction pulmonaire (principalement chute du VEMS et du rapport VEMS/CVF) en l'absence de silicose à la radiographie pulmonaire pourraient être fonction du pourcentage en silice cristalline des poussières (36). Ainsi, dans les mines de charbon, où le contenu en SiO_2 est plus faible, la dose cumulative nécessaire au développement d'effets serait de l'ordre de 2 mg/m^3 en poussières respirables totales, pendant 35 ans (36). Par contre, dans les mines d'or (Afrique du Sud), où le contenu en SiO_2 est plus important, même le 1/5 de la dose cumulative nécessaire (soit $0,4 \text{ mg/m}^3$ pendant 35 ans) de poussières respirables totales serait relié à un risque de développer un effet clinique significatif sur la fonction pulmonaire trois fois plus élevé, et ce, même en l'absence de silicose à la radiographie (36). Cependant, une récente étude chez les travailleurs du granite au Vermont montrerait qu'à des niveaux d'empoussièrement respectant la norme actuelle de OSHA pour la silice cristalline (soit $0,1 \text{ mg/m}^3$ par jour) il n'y aurait pas d'atteinte obstructive objectivable par la spirométrie, même après plusieurs années d'exposition (50).

À partir de ces données, il pourrait sembler logique de considérer les travailleurs exposés à des concentrations élevées de poussières respirables, à haute teneur en silice cristalline (tels les travailleurs au jet de sable) particulièrement à risque de développer non seulement une silicose accélérée ou aiguë mais aussi une MPOC. Mais sera-t-il utile d'exercer une surveillance médicale de cet effet?

Rappelons que la silicose est une maladie unifactorielle avec un facteur de risque bien déterminé. Par ailleurs, dans le cas de conditions chroniques multifactorielles comme les MPOC, même si les études de causalité peuvent permettre de mettre en relief une cause particulière dans une population, l'évaluation de l'effet de cette cause et de sa contribution chez un individu particulier est beaucoup plus difficile (voir section 3.3.3.1) (1).

3. DÉPISTAGE

3.1 Rappel des cinq règles d'un bon programme de dépistage (51)

- 1) Le dépistage doit être sélectif (i.e. le bon test pour un effet recherché, sur la bonne population cible). L'histoire naturelle de la relation exposition-maladie doit être considérée (i.e. la latence). Cette règle concerne donc la détermination de la population cible (voir section 3.2) de même que la légitimité des tests choisis et le moment d'administration des tests (voir plus loin).
- 2) L'identification de la maladie à la phase pré-clinique plutôt qu'à la phase clinique doit mener à une intervention qui en empêche l'évolution chez un individu donné, ou qui empêche l'apparition de nouveaux cas chez les autres travailleurs.
- 3) La présence d'un suivi adéquat est essentielle et les tests diagnostiques de même que les traitements subséquents doivent être disponibles, accessibles, acceptables tant pour le travailleur que pour l'examineur. Les justifications majeures d'un dépistage d'une maladie incurable comme c'est le cas avec la silicose sont de permettre le contrôle de l'exposition afin d'en éviter ou d'en retarder l'aggravation et de prévenir la maladie chez les travailleurs pareillement exposés.
- 4) Les tests de dépistage doivent être fiables et valides (i.e. avoir une bonne sensibilité, une bonne spécificité, une bonne valeur prédictive positive et une variabilité minimale). Chacun des tests de dépistage considéré ici fera l'objet d'une discussion sur ce point.
- 5) Les bénéfices du programme doivent être supérieurs aux coûts (tant matériels qu'humains).

L'ensemble des règles assurant la qualité d'un programme de dépistage est présenté à l'annexe III, extraite des lignes directrices de surveillance médicale pour l'amiante (52).

3.2 Objectifs du programme de dépistage et détermination de la population cible

Précisons que le programme de dépistage ne s'applique que dans les établissements où il y a présence potentielle de silice cristalline respirable dans l'air ambiant.

L'objectif du programme de dépistage sera d'identifier les travailleurs porteurs d'altérations résultant de l'exposition à la silice cristalline (silicose chronique, accélérée ou aiguë) et ceux ayant des symptômes de bronchite chronique. Notons que comme les MPOC sont d'étiologie multifactorielle, que le test de dépistage est très variable et que l'attribution à l'exposition professionnelle est difficile, particulièrement chez le fumeur, ces atteintes ne seront pas recherchées. Les objectifs spécifiques sont:

- 1) d'identifier les cas pour les soustraire à l'exposition afin d'éviter l'aggravation,
- 2) d'informer les porteurs de symptômes de bronchite chronique des risques associés à leur exposition professionnelle,
- 3) d'identifier les "points chauds", i.e. les endroits où une accumulation anormale de cas laisse supposer que des conditions dangereuses ont prévalu afin de s'assurer que ces conditions sont désormais contrôlées.

Mentionnons que l'examen pré-emploi ne fait pas partie des objectifs du programme de dépistage. Dans ce cas, le choix des tests peut être différent et répondre à des impératifs médico-administratifs qui ne seront pas discutés ici.

La population cible est l'ensemble des travailleurs qui feront l'objet d'activités de dépistage.

La silicose n'est pas décelable en phase précoce, réversible, mais le retrait de l'exposition d'un travailleur atteint à un stade radiographique précoce, pré-symptomatique, améliorera son pronostic et son espérance de vie. L'identification des

travailleurs atteints et leur réaffectation à des postes sans danger pour eux peuvent donc représenter des interventions de prévention secondaire et tertiaire utiles et efficaces.

Bien que l'indemnisation et la réaffectation de travailleurs porteurs de symptômes de bronchite chronique soient peu probables, l'identification de ces travailleurs pourrait permettre 1) d'informer ceux-ci des risques à la santé reliés à l'exposition chronique aux poussières respirables, 2) de leur recommander, en vue d'éviter une aggravation possible, de restreindre leur exposition professionnelle aux poussières, particulièrement celles à haute teneur en silice cristalline et 3) de documenter cette condition à Montréal, dans les milieux empoussiérés.

Comme la latence de même que la durée et l'intensité de l'exposition nécessaires à l'apparition de chacune des formes de silicose et de la bronchite chronique varient, il peut s'avérer difficile de définir la population cible sur une simple histoire professionnelle. Alors, comment procéder? Les ordinogrammes des pages suivantes résument les principales étapes d'identification de la population-cible.

On identifiera, dans un premier temps, tous les travailleurs actuellement exposés à la silice cristalline. De plus, on cherchera à identifier les travailleurs anciennement exposés mais qui ne le sont plus actuellement par un questionnaire auto-administré (voir annexe IV). Un questionnaire standardisé d'histoire professionnelle capable de mettre en évidence une exposition à la silice cristalline sera ensuite utilisé pour évaluer l'ancienneté et l'intensité de l'exposition (même poste et même exposition qu'actuellement, ou emploi à risque (i.e. jet de sable, farine de silice, forage de tunnel) avec empoussièrement important) des travailleurs actuellement exposés (voir annexe V).

Travailleurs actuellement exposés

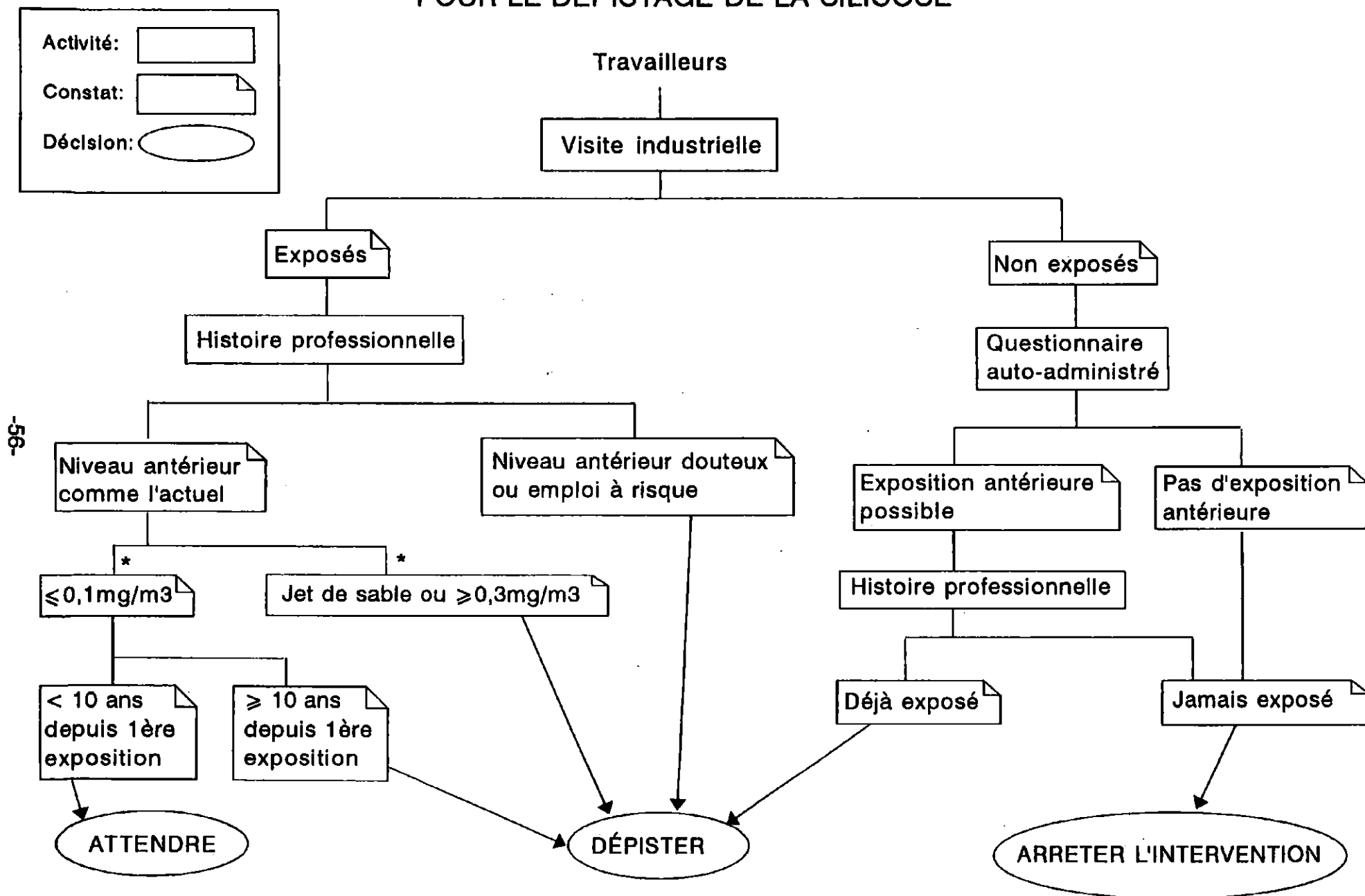
Pour ces travailleurs, on documentera l'exposition actuelle. Si celle-ci est équivalente ou inférieure à $0,1 \text{ mg/m}^3$ de poussières respirables de quartz et que l'exposition antérieure

était du même type (d'après l'histoire professionnelle), on doit attendre dix ans après le début de l'exposition avant d'inclure les travailleurs dans la population cible pour la recherche de silicose. Seuls les travailleurs non-fumeurs ou ex-fumeurs ayant cumulé moins de 10 paquets-années et ayant une exposition égale ou supérieure à la norme pour le quartz ($0,1 \text{ mg/m}^3$) seront dépistés pour la bronchite chronique. Si l'exposition antérieure et/ou actuelle est de type "jet de sable" ou susceptible d'être au moins trois fois supérieure à la norme, il faut inclure immédiatement ces travailleurs dans la population cible pour la recherche de silicose et de bronchite chronique. Pour les travailleurs exposés à des niveaux entre la norme et trois fois la norme, un délai de 5 ans depuis le début de la première exposition est recommandé.

Travailleurs non exposés actuellement

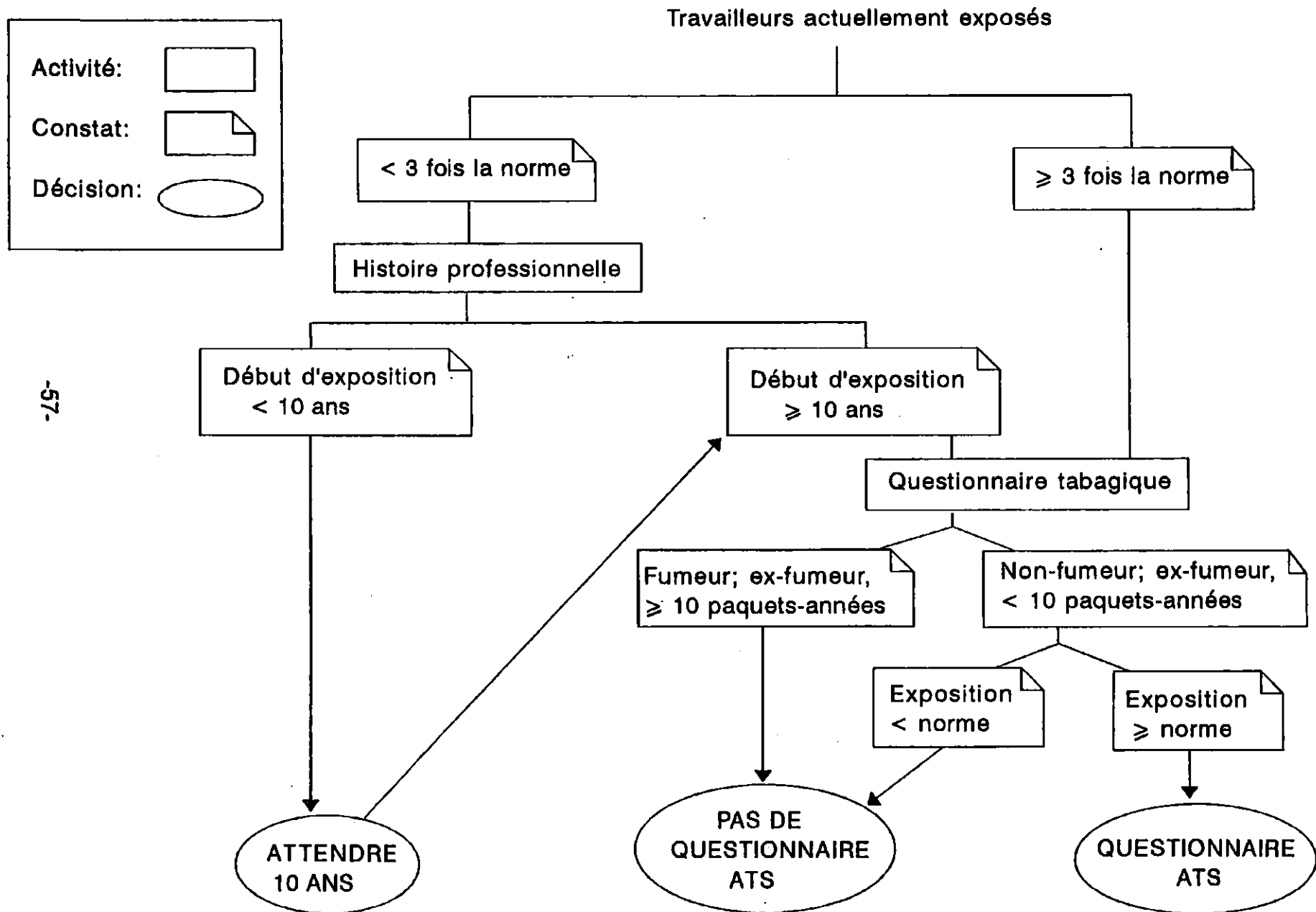
Pour ces travailleurs, il sera probablement difficile d'évaluer avec certitude l'intensité et le type d'exposition de façon rétrospective. Il est recommandé d'inclure tous les travailleurs ayant eu une exposition antérieure à la silice cristalline dans un premier dépistage pour la silicose. L'histoire tabagique pourra être utile, mais il n'est pas recommandé de rechercher les symptômes de bronchite chronique dans cette population. L'histoire professionnelle pourra documenter le type d'exposition et/ou le secteur d'activité économique ayant pu causer une silicose.

IDENTIFICATION DE LA POPULATION-CIBLE POUR LE DÉPISTAGE DE LA SILICOSE



* Entre 0,1 mg/m³ et 0,3 mg/m³, le moment du premier dépistage pour la silicose est laissé à la discrétion du médecin-responsable mais pourrait être d'environ 5 ans après le début de l'exposition.

IDENTIFICATION DE LA POPULATION-CIBLE POUR LE DÉPISTAGE DE LA BRONCHITE CHRONIQUE



3.3 Outils de dépistage

3.3.1 Méthodologie utilisée pour le choix des tests de dépistage

Les tests ont été choisis en se basant sur deux sources. Nous avons d'abord considéré les recommandations du comité des pneumologues-experts consultés par l'IRSST en vue d'une révision par la CSST de la réglementation relative à la surveillance des travailleurs exposés aux poussières d'amiante ou de silice (Règlement sur le certificat médical des ouvriers (A.C. 1787-75/RRQ, c. S-2.1, r.3) pour les travailleurs des mines et carrières).

Nous avons ensuite consulté le docteur Pierre Ernst, pneumologue-épidémiologiste. Nous avons repris avec lui chaque test en le discutant dans l'optique plus large de l'application de programmes de santé spécifiques à un établissement, en excluant l'examen pré-emploi. Nous avons considéré, lors de cette discussion, les règles de dépistage présentées à la section 3.1. Les tests revus sont la radiographie pulmonaire, la spirométrie, le questionnaire respiratoire et l'examen objectif. Les autres tests (tomodensitométrie, cartographie au gallium, etc.) mentionnés à la section 2.3.10 sont inapplicables actuellement dans un contexte de dépistage.

3.3.2 Radiographie pulmonaire

3.3.2.1 Utilité

La radiographie pulmonaire reste le principal moyen de déterminer la présence et l'étendue des pneumoconioses comme la silicose (53,54). Son utilité dans un programme de surveillance de celles-ci est incontestée. C'est encore le meilleur outil pour trouver les cas dans une population ayant été ou étant exposée. En effet, la présence de nodules silicotiques à la radiographie pulmonaire standard est et demeure le standard de reconnaissance de la silicose. Cette méthode de dépistage reconnaît la

maladie avant l'apparition de symptômes, d'anomalies de l'examen physique et avant l'apparition de complications (23). Elle n'a cependant aucune valeur dans la détection précoce des cas de bronchite chronique ou d'emphysème (48).

3.3.2.2 Validité et suivi des cas dépistés

Afin d'agréger les données et de les comparer, un test devra être standardisé dans son application et son interprétation. Le comité de pneumologues-experts recommande que les radiographies soient faites en suivant les spécifications techniques décrites par le Bureau international du travail (BIT) dans le document intitulé: "Guidelines for use of ILO International Classification of Radiographs of Pneumoconioses, Revised edition 1980, Occupational Safety and Health Series, no. 22, International Labour Office Geneva, 1980" qui est reproduit à l'annexe VI. Une radiographie de piètre qualité est difficile à interpréter, la sensibilité en est diminuée et la variabilité en est augmentée (55). Chaque point de service devrait donc s'assurer que la technique radiologique utilisée soit conforme.

L'interprétation d'une lecture radiologique est soumise à une grande variabilité tant intra-observateur qu'inter-observateur (53,56). C'est pourquoi le BIT a développé un système de classification des radiographies pour pneumoconioses pour tenter d'en harmoniser la lecture et d'en standardiser l'interprétation. Les pneumologues-experts recommandent que les radiographies soient interprétées selon cette classification (voir section 2.3.10.1 et annexes I et II), ou toute révision future de cette classification. Un jeu de films standard du BIT (1980) doit constamment être utilisé lors de l'interprétation des radiographies. De plus, les radiographies pulmonaires doivent être interprétées par un radiologue ou un médecin possédant une compétence particulière en pneumoconioses (57).

Cette compétence est habituellement reconnue lorsque le lecteur est certifié "lecteur B". Il s'agit cependant d'une certification américaine. Le comité recommande la participation

du médecin lecteur au "Canadian Pneumoconiosis Reading Panel" (CPRP) (57). Il s'agit d'un panel canadien qui offre une méthode standardisée de lecture et de classification des films radiographiques pour les pneumoconioses, selon les recommandations du BIT. L'avantage des lecteurs du CPRP sur celle des lecteurs B est un monitoring continu du niveau de concordance des lectures de chacun des lecteurs (58). Cependant, la plupart des médecins québécois qui ont fait partie du CPRP ont cessé ces lectures, de même que les lecteurs B. Toutefois, on peut recommander que la lecture soit faite par un radiologue ou un pneumologue expert en pneumoconioses, qui fait au moins 50 lectures de ce type par année, en utilisant les critères du BIT-1980 (32). Ces médecins sont facilement identifiés à Montréal et probablement aussi dans les autres régions.

La sensibilité (SE)³ et la spécificité (SP)⁴ d'un test sont dépendantes du seuil de normalité de celui-ci (cutoff point ou point de troncature). Pour la radiographie pulmonaire recherchant la silicose, le paramètre principal à examiner est l'atteinte parenchymateuse, classée selon le score de profusion (voir section 2.3.10.1 et annexes I et II). La façon de déterminer la SE et la SP d'un test est d'en comparer les résultats avec ceux d'un autre test reconnu comme étalon d'or ("gold standard") (voir annexe III). Dans une étude récente effectuée chez des mineurs (59), les auteurs ont comparé les résultats de radiographies pulmonaires classées selon les standards du BIT-1980 aux résultats d'analyses histopathologiques de tissus pulmonaires prélevés à l'autopsie chez les mêmes sujets. Avec un seuil de positivité pour la radiographie déterminé par un score de profusion $\geq 1/1$, la SE de la radiographie était de 24% à 40% environ et la SP de 97% à 99%. On peut faire varier la SE et la SP en modifiant le seuil de positivité.

³ La SE est une mesure de la capacité d'un test à classer correctement les personnes ayant un test positif. C'est la proportion de personnes ayant un test positif sur l'ensemble de celles qui ont la maladie.

⁴ La SP est la proportion de gens qui ont un test négatif sur l'ensemble de ceux qui n'ont pas la maladie.

Cette modification changera aussi la prévalence. On pourra augmenter la SE et la prévalence en diminuant le score de profusion (à 1/0 par exemple). La SP diminuera en conséquence. Aux fins du dépistage, une radiographie sera considérée comme positive avec un score de profusion $\geq 1/0$, ce qui nous permettra d'augmenter la sensibilité du test. Comme le travailleur dépisté positif sera ensuite référé pour diagnostic final, on peut se permettre de sacrifier un peu à la spécificité d'autant plus que le score accepté pour l'indemnisation est de 1/0.

Les auteurs ont aussi observé que la prévalence de la maladie tend à augmenter avec le nombre d'années d'exposition à la silice cristalline de même qu'avec la concentration moyenne de l'exposition (59). Rappelons que la valeur prédictive d'un test varie en fonction de la prévalence de la maladie. Les auteurs ont ainsi observé que la valeur prédictive positive (VPP)⁵ varie en fonction de l'ancienneté et de l'intensité de l'exposition. Ainsi, après 10 ans d'exposition, la VPP de la radiographie sera de 14% pour une exposition moyenne de 0,1 mg/m³ et de 100% pour 0,5 mg/m³. Après 30 ans d'exposition, la VPP sera de 30% à 0,1 mg/m³ et de 98% à 0,4 mg/m³. En termes simples, après dix ans d'ancienneté à faible niveau d'exposition, seulement 14% des RX positifs (score $\geq 1/1$) seront des vrais positifs (i.e. avec des nodules silicotiques à l'autopsie), alors qu'à haut niveau d'exposition, 100% des RX positifs sont réellement positifs. Quant à la valeur prédictive négative (VPN)⁶, elle est excellente (environ 90%) même à faible niveau d'exposition mais diminue à mesure que l'intensité de l'exposition augmente. Ainsi, une radiographie négative est vraiment négative dans 9 cas sur 10

⁵ La VPP est la proportion de ceux qui ont la maladie et qui ont un test positif (vrais positifs) sur l'ensemble de ceux qui ont un test positif. La proportion de faux positifs sera égale à (1-VPP).

⁶ La VPN est la proportion de ceux qui ont un test négatif et n'ont pas la maladie (vrais négatifs) sur l'ensemble de ceux qui ont un test négatif. La proportion de faux négatifs sera égale à (1-VPN).

pour des expositions moyennes inférieures à 0,3 mg/m³ même après une longue durée d'exposition.

Le score de 1/0 semble adéquat pour aller chercher le maximum de cas potentiels (60) d'autant plus qu'il s'agit du seuil d'anormalité reconnu par les comités des maladies pulmonaires professionnelles. Ces cas devront ensuite être référés au CMPP pour évaluation et diagnostic final. Ce diagnostic du CMPP comprendra le plus souvent les restrictions en regard de l'exposition permmissible ultérieure pour le travailleur atteint et ces recommandations devraient être suivies pour la réintégration au travail.

3.3.2.3 Coûts-bénéfices

La radiographie pulmonaire, telle que décrite ci-dessus, demeure la méthode préférée de surveillance des travailleurs exposés à la silice en raison de la faible dose d'exposition aux radiations qui y est associée, de sa disponibilité, de son faible coût, de sa capacité à reconnaître le processus maladif avant l'apparition des symptômes et d'anomalies de l'examen physique et avant le développement des complications (23).

3.3.2.4 Périodicité

Les pneumologues-experts recommandent une radiographie aux trois ans pour les raisons suivantes: les études de groupes de travailleurs à risque de pneumoconioses (excluant le risque de silicose aiguë ou accélérée) montrent que les changements radiographiques prennent plus de 5 ans à se manifester; le virement d'une lecture radiographique individuelle négative/douteuse (RX normal, i.e. score de profusion du BIT-1980 < 1/0) à une lecture positive (RX anormal, i.e. score du BIT-1980 ≥ 1/0) nécessite habituellement un délai de 3 à 4 ans. Cette périodicité apparaît adéquate pour la majorité des secteurs industriels concernés mais dans le cas de secteurs à plus haut risque de provoquer une silicose accélérée ou aiguë, cette recommandation de périodicité ne devrait pas s'appliquer (23).

Dans le cas des expositions intenses (ex.: jet de sable), un suivi plus serré, annuel, devrait être fait compte tenu de la latence plus courte de la silicose accélérée (ou aiguë) et du virement plus rapide de la radiographie (6). Bien entendu, la première intervention reste la protection du travailleur par le respect de la norme (voir section 2.3.3).

Pour les travailleurs actuellement non-exposés, si la dernière exposition date de plus de 10 ans, et que la radiographie pulmonaire de dépistage est négative, une radiographie pulmonaire devrait être passée à tous les 5 ans jusqu'à 40 ans après la fin de l'exposition. Chez ces travailleurs, dès qu'une radiographie pulmonaire devient positive pour la silicose, la prise en charge probable par le CMPP justifie l'abstention d'un dépistage ultérieur.

3.3.3 Spirométrie

3.3.3.1 Utilité

Comme nous l'avons vu précédemment (section 2.3.10.3), il existe une grande variété de présentations cliniques de la silicose et aucune mesure fonctionnelle ou combinaison de mesures n'est spécifique au diagnostic de silicose (8). Les tests spirométriques auront une utilité variable selon l'objectif poursuivi, qui sera soit de dépistage (identification des cas), soit clinique, soit à des fins d'indemnisation ou à des fins de recherche (8). L'utilité de ces tests dans un programme de dépistage des effets de l'exposition à la silice sera limitée.

Par ailleurs, la spirométrie sera toujours utile pour aider au diagnostic, pour mesurer le degré de l'atteinte et en assurer le suivi. Cette évaluation sera toujours faite par le CMPP. Il y aura dédoublement des tests si la spirométrie est aussi faite en dépistage et n'apportera pas de renseignements utiles à l'identification des cas de silicose.

Pour la bronchite chronique, rappelons que le diagnostic est relié à la présence de

symptômes (1) et que cette hypersécrétion bronchique ne serait pas nécessairement accompagnée d'obstruction du débit respiratoire (6). La spirométrie sera donc inutile. Par ailleurs, dans les milieux de travail où il y a un risque de MPOC non relié à la présence de silicose radiographique mais associé à l'exposition aux poussières respirables, à plus ou moins haute teneur en silice cristalline, la spirométrie pourrait théoriquement être d'une certaine utilité pour dépister les cas ayant déjà une fonction anormale (48). Cependant, il semble peu probable actuellement que les travailleurs dépistés positifs soient admissibles à l'indemnisation et aux bénéfices du retrait préventif et de la réintégration dans un milieu moins nocif. Ceci est particulièrement vrai pour les travailleurs fumeurs, chez qui la contribution du tabagisme sera considérée importante. En effet, il est actuellement impossible de quantifier le risque attribuable à une exposition définie, chez un individu donné, atteint de MPOC, puisque cette atteinte est multifactorielle et très fréquente dans la population générale (1).

3.3.3.2 Validité du test

Bien que non spécifique pour la silicose, la spirométrie est relativement sensible pour détecter un syndrome obstructif (60,61). Le seuil de normalité doit être précisé et le même doit être utilisé par tout le monde, ainsi que les mêmes tables de valeurs prédites. Deux choix de tables s'offrent: 1) celle de Knudson, adoptée par le Bureau de normalisation du Québec et dérivée de données américaines et 2) celle publiée dans le Bulletin européen de physiologie respiratoire, retenue par les pneumologues-experts et dérivée de données européennes. Il semble que les CMPP révisent actuellement cette question et publieront prochainement leurs recommandations à ce sujet (32). Dans l'intérim, on pourra, s'il y a lieu, utiliser la table de Knudson.

C'est le 95^{ième} percentile (ou une valeur proche) qui est considéré comme le seuil de normalité. L'annexe VII présente la façon de calculer la valeur prédite de même que la valeur du 95^{ième} percentile avec lequel la valeur mesurée doit être comparée. Cette méthode produit 5% de faux positifs. Pour les individus non-caucasiens, le facteur de

correction à appliquer aux valeurs calculées sera de 0,85 (60).

Lorsqu'une spirométrie est faite, il faut s'assurer de la qualification des gens qui administrent le test, de la qualité de l'équipement utilisé et des conditions d'administration du test. Ces éléments devraient être conformes aux recommandations de l'American Thoracic Society et un contrôle de la qualité du test devrait être assuré (62).

Il est important de savoir que, même dans les meilleures conditions, la mesure du VEMS et de la CVF présente une variabilité importante. En effet, chez un individu présentant un syndrome obstructif bien installé, la variation significative de la mesure, d'une semaine à l'autre, est de l'ordre de 20%, et entre 10% à 15% chez le sujet sain (63). Malgré cela, la classification d'une façon transversale (i.e. lors d'un seul test) d'une personne anormale est plus précise que la classification longitudinale (i.e. entre deux tests). Ainsi, le VEMS comparé à une valeur prédite (approche transversale) est plus précis que la variation du VEMS dans le temps (approche longitudinale) (60).

Les spirométries sériées où on compare l'individu à lui-même sont donc entachées d'une importante variabilité et le seuil de normalité de tests sériés ne pourra être qu'une variation au minimum de 20% du VEMS ou de la CVF entre les deux tests (60). Ce seuil diminue de façon importante la sensibilité des tests sériés, mais leur donne ainsi une certaine spécificité qu'ils n'auraient pas avec un seuil plus bas. Par ailleurs, comme nous le montre une étude récente (64) effectuée à Montréal dans des circonstances analogues à celles prévalant habituellement sur le terrain dans notre région, il est très difficile d'obtenir une qualité uniforme des données de spirométrie et ce, malgré toutes les précautions prises. En effet, la présence dans cette étude de données aberrantes et surtout l'incapacité des données recueillies à mettre en évidence l'effet attendu du tabagisme sur la différence des fonctions pulmonaires entre les deux tests mettent en relief la difficulté de réalisation de la spirométrie en dépistage de même que celle liée à l'interprétation des données obtenues, particulièrement dans le cas des tests sériés.

3.3.3.3 Coûts-bénéfices

Dans le contexte de la surveillance des effets reliés à l'exposition professionnelle à la silice cristalline libre, la spirométrie simple n'est pas indiquée. Les raisons majeures pour ceci sont l'impossibilité de distinguer entre les effets du tabagisme et ceux de la poussière, la faible possibilité de déficit pulmonaire important en l'absence de tabagisme et le fait que les effets néfastes du tabagisme sont tellement importants et nombreux qu'il semblerait plus pertinent de dépenser l'argent non sur un dépistage de sujets atteints de MPOC, mais sur des programmes anti-tabac. En effet, même si le test lui-même est peu coûteux, les coûts associés à sa réalisation peuvent être importants (coûts de production pour l'employeur, coûts des ressources humaines impliquées). Mentionnons que l'exécution du test n'est pas facile et peut s'avérer longue et compliquée. De plus, les renseignements apportés sur l'atteinte de l'état de santé ne sont pas d'apparition plus précoce que les signes radiologiques dans la silicose et il y aura dédoublement des tests de spirométrie par le CMPP dans le cas d'un dépistage positif à la radiographie.

3.3.3.4 Périodicité

L'examen spirométrique périodique n'est pas essentiel à la surveillance de la silicose (24) et n'est pas utile pour le dépistage précoce des MPOC reliées au travail. Les spirométries sérieuses, à cause des difficultés de réalisation et d'interprétation reliées à leur importante variabilité ne sont pas recommandées.

3.3.4 Questionnaire respiratoire de l'American Thoracic Society (ATS)

3.3.4.1 Utilité et suivi des cas

Le comité des pneumologues-experts recommande d'utiliser la version abrégée du questionnaire ATS dont la traduction française a été validée par le docteur John Osterman (voir annexe VIII et la référence 65).

L'utilité principale du questionnaire ATS dans le contexte qui nous préoccupe est surtout de pouvoir discriminer les travailleurs ayant une histoire de tabagisme. Connaître la prévalence des symptômes respiratoires identifiés par le questionnaire ATS pourrait être intéressant, mais n'est pas vraiment utile dans le dépistage précoce de la silicose puisque le symptôme principal (la dyspnée d'effort) est presque toujours associé à des signes radiologiques de silicose conglomérée et est absent dans les cas de silicose simple (8). La toux et les expectorations sont le plus souvent associées au tabagisme (8). Cependant, si on accepte l'hypothèse que la bronchite chronique est un marqueur d'exposition et que la présence de ce marqueur est liée à une prévalence plus élevée de MPOC, il pourrait être utile d'identifier les travailleurs symptomatiques actuellement exposés, particulièrement les non-fumeurs et les ex-fumeurs ayant cumulé moins de 10 paquets-années, afin de les référer à une ressource spécialisée pour évaluation complémentaire et de les informer du risque, compte tenu de leur exposition actuelle, d'autant plus qu'il peut s'agir d'une condition réversible (6). Ainsi, un dépistage positif pour la bronchite chronique doit amener le travailleur non fumeur à consulter son médecin traitant ou une ressource spécialisée pour évaluer la possibilité d'obstruction des voies aériennes et pour éliminer les autres causes majeures de la toux chronique, qui doivent être envisagées puis écartées (asthme, écoulement rétro-nasal, bronchiectasie, médicaments) (66).

Pour les travailleurs non exposés actuellement, seule l'histoire tabagique est importante. Notons toutefois que l'histoire tabagique sera recueillie dans tous les cas à l'aide du questionnaire standardisé régionalement, présenté à l'annexe IX et non à l'aide du questionnaire ATS.

3.3.4.2 Validité

Le questionnaire ATS abrégé peut discriminer la série de symptômes et de problèmes suivants:

- 1- Dyspnée grade 2+
- 2- Asthme
- 3- Bronchite chronique simple
- 4- Tabagisme.

La bronchite chronique simple est définie par des réponses positives aux questions 1E, 1F et 2E, 2F.

L'asthme est diagnostiqué par des réponses positives à la question 4C (sifflement persistant, i.e. la plupart des jours ou des nuits) et à la question 5A.

La dyspnée grade 2+ est identifiée par une réponse positive à la question 6B. Cette question est cependant trop sensible et génère beaucoup de faux positifs.

Le tabagisme est défini par les questions 21, 22 et 23 et par la date de l'entrevue, mais comme mentionné précédemment, ces questions sont remplacées par le questionnaire présenté à l'annexe IX.

L'utilisation de questionnaires lors d'une surveillance populationnelle peut entraîner un biais important en amenant une distorsion de l'effet mesuré. La qualité et la structure des questions, leur place dans le questionnaire, le mode d'administration de celui-ci et la technique d'entrevue sont tous des facteurs importants à considérer (65). Le questionnaire ATS abrégé peut être auto-administré, en utilisant une version appropriée à la langue du travailleur à condition de s'assurer, au retour du questionnaire, que toutes les questions ont été bien remplies (60). Rappelons que cet instrument est assujéti à un biais d'information (les individus minimisent ou exagèrent leur symptomatologie) qui est souvent important en milieu de travail (48).

3.3.4.3 Coûts-bénéfices

Encore une fois, il est important de connaître le statut tabagique du travailleur et la prévalence de la bronchite chronique chez les travailleurs non fumeurs actuellement exposés à des niveaux égal ou supérieur aux normes. Le questionnaire, lorsqu'auto-administré, demande relativement peu de temps de production, particulièrement si le travailleur le remplit chez lui. Il faut seulement s'assurer de la compréhension des questions (langue appropriée) et qu'elles ont bien été toutes remplies.

3.3.4.4 Périodicité

Un questionnaire ATS abrégé devrait être administré à l'occasion de chaque radiographie pulmonaire pour les travailleurs non fumeurs ou ex-fumeurs continuant à être exposés à des niveaux égal ou supérieur aux normes. Pour les travailleurs non exposés actuellement faisant l'objet d'un dépistage radiographique, l'histoire tabagique devrait être mise à jour à l'occasion de chaque radiographie pulmonaire.

3.3.5 Examen objectif

3.3.5.1 Utilité

Comme nous l'avons déjà vu, l'examen objectif est longtemps normal en phase asymptomatique d'une silicose chronique simple; l'état général est conservé, il n'y a pas de cyanose centrale, pas d'hippocratisme digital et le thorax est normal. L'auscultation pulmonaire est normale. Aucun signe physique particulier ne peut détecter précocement une silicose. L'examen est non-spécifique (11) et une radiographie positive précède souvent la clinique (10). L'examen objectif à la recherche de signes précoces de silicose est donc inutile.

Par ailleurs, la bronchite chronique est un diagnostic relatif à la présence de symptômes

et les MPOC s'apprécient sur la présence d'un déficit de la fonction pulmonaire à la spirométrie indépendamment de la présence ou non de signes cliniques (1). Ceux-ci sont non spécifiques.

L'examen physique à la recherche de signes précoces d'anomalies obstructives indépendantes de la silicose est donc inutile.

3.3.5.2 Périodicité

L'examen physique périodique, pour les raisons invoquées ci-haut, n'est pas recommandé.

4. INTERVENTIONS

Comme nous l'avons vu, la silicose et les atteintes obstructives des voies respiratoires sont des maladies chroniques, sans traitement connu dans le cas de la silicose, qui peuvent évoluer plus ou moins rapidement vers des complications importantes en diminuant la qualité et l'espérance de vie.

De plus, la reconnaissance de la silicose à une phase précoce, réversible, est à ce jour, impossible. Cependant, la bronchite chronique pourrait être un précurseur des MPOC reliées à l'exposition professionnelle aux poussières respirables et pourrait peut-être être réversible.

4.1 Interventions de prévention primaire

La silicose est une maladie qu'on peut entièrement prévenir, par le contrôle de l'exposition des travailleurs. Les interventions de contrôle, pour être efficaces, devront être bien ciblées. Le rôle de la surveillance environnementale est primordial pour atteindre cet objectif.

De plus, le rôle non négligeable de l'empoussièrlement professionnel sur le développement de problèmes obstructifs des voies respiratoires pourra être minimisé par le maintien de l'exposition des travailleurs sous la norme.

4.1.1 Identification des sites potentiellement à risque

Dans un premier temps, il est indispensable d'identifier les sites où la silice cristalline peut être générée sous forme de poussières respirables. Le type de poussières générées, de même que leur pourcentage en quartz doivent être déterminés pour permettre d'évaluer le risque. Il est particulièrement important de cibler les sites où des opérations de **sablage au jet** sont effectuées. Ces opérations constituent un risque important tant pour l'opérateur que pour les travailleurs situés dans l'environnement immédiat. Cette opération devrait être bannie et la substitution avec des matériaux sans danger devrait être obligatoire (8). En attendant la législation, l'information de l'employeur et des travailleurs sur le risque et les moyens de protection efficaces est impérative. Dans le cas du nettoyage par jet d'abrasif, le travailleur doit obligatoirement porter une cagoule de sablage à adduction d'air correspondant à des normes précises (voir le règlement sur la qualité du milieu de travail, article 20).

4.1.2 Identification des sites non-conformes aux normes

La norme actuelle pour le quartz est de $0,1 \text{ mg/m}^3$ en poussières respirables par jour. C'est à ce jour le meilleur estimé disponible du "seuil nocif" de l'exposition à la silice cristalline. Bien qu'il ne s'agisse pas d'un véritable "seuil" (puisque l'on ne sait pas s'il existe ou non une valeur limite sans effet toxique), on pense que si on réussit à maintenir l'exposition des travailleurs sous cette valeur, ils ne développeront pas de problèmes significatifs et ce, même à long terme (voir section 2.3.3) (25,60). Le même raisonnement s'applique pour les problèmes obstructifs des voies respiratoires (voir sections 2.5.3 et 2.5.4). De plus, rappelons que le cancer ne devrait survenir que sur une fibrose déjà installée et que la cancérogénicité de l'exposition à la silice cristalline

en soi reste controversée à l'heure actuelle. Donc, en protégeant contre la silicose, on protégerait contre le cancer. La vérification des milieux de travail dans un objectif de conformité aux normes est donc pertinente et l'identification des sites, postes ou fonctions hors-normes en vue d'une action concertée de réduction à la source fait partie des stratégies de prévention primaire efficaces en termes de réduction des cas incidents.

La méthodologie de surveillance environnementale standardisée, applicable à cet objectif de conformité aux normes fait l'objet du protocole de surveillance environnementale de ce document.

4.2 Information

L'information de l'employeur et des travailleurs sur la présence du risque, son importance et les moyens de le contrôler sont une étape importante et une des finalités du programme de dépistage, qui vise d'abord et avant tout la prévention primaire.

5. BIBLIOGRAPHIE

1. Rom WN. Environmental and occupational medicine, Second edition. Boston: Little, Brown and Company, 1992.
2. Provencher S, Labrèche F, De Guire L. Implantation d'un système de notification des maladies pulmonaires professionnelles: PROPULSE. DRSP Montréal-Centre, décembre 1994.
3. Baker EL. Sentinel event notification system for occupational risks (SENSOR): the concept. Am J Public Health 1989; 79 (suppl.): 18-20.
4. Matte TD, Hoffman RE, Rosenman KD, Stanbury M. Surveillance of occupational asthma under the SENSOR model. Chest 1990; 98 (suppl.): 173S-178S.
5. Meredith SK, Taylor VM, McDonald JC. Occupational respiratory disease in the United Kingdom 1989: a report to the British Thoracic Society and the Society of Occupational Medicine by the SWORD project group. Br J Ind Med 1991; 48: 292-8.
6. Parkes WR. Occupational lung disorders, Third edition. Oxford: Butterworth-Heinemann Ltd, 1994.
7. Levy BS, Wegman DH. Occupational Health: Recognizing and preventing work-related disease. Boston: Little Brown and Company, 1988.
8. Ziskind M, Jones RN, Weill H. Silicosis. State of the Art. Am Rev Respir Dis 1976; 113: 643-65.
9. Sullivan JB, Krieger GR. Hazardous materials toxicology: Clinical principles of environmental health. Baltimore: Williams and Wilkins, 1992.
10. Lauwerys R. Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles. 3e édition. Paris: Masson, 1990.
11. Zenz C, Dickerson OB, Horvath EP. Occupational medicine. St-Louis, Mosby, 1994
12. Documentation on TLV, ACGIH. Sixth edition, Cincinnati, 1991.
13. Guélaud C, Wallaert B. Silicose et asbestose. Épidémiologie, dépistage, prévention. Rev Prat 1992; 42: 1679-83

14. Siemiatycki J. Risk Factors for cancer in the workplace. Boca Raton, Florida: CRC Press, 1991.
15. Landrigan PJ. Silicosis. *Occup Med: State of the Art Reviews*, 1987; 2: 319-27.
16. Suratt PM, Winn WC, Brody AR, Bolton WK, Giles RD. Acute silicosis in tombstone sandblasters. *Am Rev Resp Dis* 1977; 115: 521-9.
17. Bégin R, Dufresne A, Cantin A, Massé S, Sébastien P, Perreault G. Carborundum pneumoconiosis. *Chest* 1989; 95: 842-9.
18. Marcer G, Bernardi G, Bartolucci GB, Mastrangelo G, Belluce U, Camposampiero A, Saia B. Pulmonary impairment in workers exposed to silicon carbide. *Br J Ind Med* 1992; 49: 489-93.
19. Équipes locales de santé au travail, région de Montréal-centre, juillet 1993.
20. Turcot J. Profil statistique des nouveaux cas indemnisés pour maladies professionnelles pulmonaires à la CSST (1988-1991), 15e congrès de l'AHIQ, 7 mai 1993.
21. Valiante DJ, Richards TB, Kinsley KB. Silicosis surveillance in New Jersey: targeting workplaces using occupational disease and exposure surveillance data. *Am J Ind Med* 1992; 21: 517-26.
22. Reilly MJ, Rosenman KD, Watt FC et al. Silicosis surveillance - Michigan, New Jersey, Ohio, and Wisconsin, 1987-90. *MMWR* 1993; 42: 23-8.
23. Bégin R. Surveillance des travailleurs exposés aux poussières d'amiante ou de silice. Document de support scientifique, document B; Consultation auprès des pneumologues-experts par l'IRSST à la demande de la CSST, mai 1992.
24. Bégin RO, Cantin AM, Boileau RD, Bisson GY. Spectrum of alveolitis in quartz-exposed human subjects. *Chest* 1987; 92: 1061-7.
25. Muir DCF, Julian JA, Shannon HS, Verma DK, Sebestyen A, Bernholz CD. Silica exposure and silicosis among Ontario hardrock miners: III Analysis and risk estimates. *Am J Ind Med* 1989; 16: 29-43.
26. Règlement sur la qualité du milieu de travail, C.S-2.1, r. 15, Éditeur Officiel du Québec, 1990.

27. Muir DCF, Shannon HS, Julian JA, Verma DK, Sebesteyen A, Bernholz CD. Silica exposure and silicosis among hardrock miners: I. Methodology. *Am J Ind Med* 1989; 16: 5-11.
28. Muir DCF. Toxicity of silica dust (letter). *Am J Ind Med* 1994; 25: 769-70.
29. Hnizdo E. Risk of silicosis in relation to fraction of respirable quartz (letter). *Am J Ind Med* 1994; 25: 771-2
30. Infante-Rivard C, Armstrong B, Ernst P, Petitclerc M, Cloutier LG, Thériault G. Descriptive study of prognostic factors influencing survival of compensated silicotic patients. *Am Rev Respir Dis* 1991; 144: 1071-4.
31. Davis GS. Pathogenesis of silicosis: current concepts and hypothesis. *Lung* 1986; 164: 139-54.
32. Gauthier JJ. Communication personnelle, décembre 1994.
33. Ziskind MM, Weill H, Bailey WC, Buechner HA, Brown M, Waggenspack C, Samimi B. Accelerated silicosis in sandblasters. *Chest* 1973; 64: 411.
34. Michel RD, Morris JF. Acute silicosis. *Arch Int Med* 1964; 113: 850-5.
35. Amandus HE, Shy C, Wing S, Blair A, Heineman EF. Silicosis and lung cancer in North Carolina dusty trades workers. *Am J Ind Med* 1991; 20: 57-70.
36. Oxman AD, Muir DCF, Shannon HS, Stock SR, Hnizdo E, Lange HJ. Occupational dust exposure and chronic obstructive pulmonary disease: a systematic overview of the evidence. *Am Rev Respir Dis* 1993; 148: 38-48.
37. Kinsella M, Muller N, Vedal S, Staples C, Abbond RT, Chan-Yeung M. Emphysema in silicosis. A comparison of smokers with non smokers using pulmonary function testing and computed tomography. *Am Rev Respir Dis* 1990; 141: 1497-500.
38. Tze Pin Ng, Yuen Ling Ng, Lee HS, Kee SC, Ong HY. A study of silica nephrotoxicity in exposed silicotic and non-silicotic workers. *Br J Ind Med* 1992; 49: 35-8.
39. Tschopp JM, Rossini MJ, Richon CA, Letovanec N, Joris F, Frey JG, Kaelin RM. Retroperitoneal silicosis mimicking pancreatic carcinoma in an Alpine miner with chronic lung silicosis. *Thorax* 1992; 47: 480-1.

40. Koeger AC, Alcaix D, Rozenberg S, Bourgeois P. Exposition professionnelle à la silice et dermato- polymyosite. Trois observations. *Ann Med Int* 1991; 142: 409-13.
41. Tze Pin Ng, Shiu Lun Chan. Factors associated with massive fibrosis in silicosis. *Thorax* 1991; 229-32.
42. Bégin R, Ostiguy G, Fillion R, Colman N. Computed tomography scan in the early detection of silicosis. *Am Rev Respir Dis* 1991; 144: 697-705.
43. Leonard JF, Templeton PA. Pulmonary imaging techniques in the diagnosis of occupational interstitial lung disease. *Occup Med: State of the Art Reviews* 1992; 7: 241-60.
44. Chia KS, Ng TP, Jeyaratnam J. Small airways function of silica-exposed workers. *Am J Ind Med* 1992; 22: 155-62.
45. Ng TP, Jones MG, Pang CP, Chan SL. Fasting urinary OH-proline:creatinine ratios in silicosis. *Ann Acad Med Singapore* 1989; 18: 692-5.
46. Rifat SL, Eastwood MR, McLachlan DR, Corey PN. Effect of exposure of miners to aluminium powder. *Lancet* 1990; 336: 1162-5.
47. Zou SQ, Liu H, Zhou YY, Su KQ, Qi KY, Guan SM, Liu SJ. Preventive effect of aluminium citrate on silicosis. *Chin Med J Peking* 1990; 103: 173-6.
48. Ernst P, Becklake MR. La "bronchite chronique industrielle" et les programmes de surveillance médicale. *Union médicale du Canada*. 1992; janv-fév: 15-20.
49. Peto et al. *Am Rev Respir Dis* 1983; 128: 491-500.
50. Graham WGB, Weaver S, Ashikaga T, O'Grady RO. Longitudinal pulmonary function losses in Vermont granite workers. *Chest* 1994; 106: 125-30.
52. Boucher S, De Guire L. Lignes directrices de surveillance médicale des travailleurs exposés à l'amiante. *Unité de Santé au Travail/Santé Environnementale, DRSP Montréal-Centre, Montréal, juillet 1994.*
53. Wagner GR, Attfield MD, Parker JE. Chest radiography in dust exposed miners. *Occup Med: State of the Art Reviews* 1993; 8: 127-41.
55. Miller WT, Geffer WB, Miller WT. Asbestos-related dust diseases: plain radiographic findings. *Semin Roentgenol* 1992; 27: 102-20.

56. Ernst P, Bourbeau J, Becklake MR. Pleural abnormality as a cause of impairment and disability. *Ann NY Acad Sc* 1991; 643: 157-61.
57. Comité des pneumologues-experts, IRSST pour la CSST, la Surveillance médicale des travailleurs exposés aux poussières d'amiante ou de silice. Recommandations des experts, juin 1991, Québec.
58. Muir DCF, Julian JA, Roos JO, Maehle WM, Chan J, Morentain W, Morgan WKC. Classification of radiographs for pneumoconiosis: The Canadian Pneumoconiosis Reading Panel. *Am J Ind Med* 1993; 24: 139-47.
59. Hnizdo E, Murray J, Sluis-Cremer GK, Thomas RG. Correlation between radiological and pathological diagnosis of silicosis: an autopsy population based study. *Am J Ind Med* 1993; 24: 427-45.
60. Ernst P. Communication personnelle décembre 1993.
61. Groupe inter-DSC de l'île de Montréal. Guide de surveillance médicale du système respiratoire, Montréal, mai 1987.
62. American Thoracic Society. Lung function testing: selection of reference values and interpretative strategies. *Am Rev Respir Dis* 1991; 149: 1202-18.
63. Pennock BE, Rogers RM, McCaffree DR. Changes in measured spirometric indices; what is significant? *Chest* 1981; 80: 97-9.
64. Rossignol M, De Guire L, Séguin P. Rapport final d'évaluation du protocole de surveillance médicale pour les gaz et fumées de soudage. Deuxième partie: les examens spirométriques. Hôpital du Sacré-Coeur, Équipe de santé publique, Service de santé au travail, Montréal, mai 1994.
65. Osterman JW, Armstrong BG, Ledoux E, Sloan M, Ernst P. Comparison of French and English versions of the American Thoracic Society respiratory questionnaire in a bilingual working population. *Int J Epidemiol* 1991; 20: 138-43.
66. Actes du symposium canadien sur la bronchite. Évaluation et traitement de la bronchite chronique. *Médecin du Québec*, Suppl. 1994, vol. 29.
67. Halperin WE, Ratcliff J, Frazier TM, Wilson L, Becker SP, Schulte PA. Medical screening in the workplace: proposed principles. *J Occup Med* 1986; 28: 547-52.

ANNEXE I

Classification internationale des pneumoconioses BIT-1980

APPENDIX: THE INTERNATIONAL LABOUR OFFICE CLASSIFICATION SYSTEM

The International Labour Office (ILO) scheme for classification of radiographs of the pneumoconioses is central to the description of the extent and severity of dust-induced lung disease in miners. Guidelines for the use of the classification are published by the ILO and are intended to be used together with standard films that define or illustrate the cardinal features of the classification system.³² The scheme was designed primarily to describe radiographic changes on films of dust-exposed workers, often for epidemiologic surveys, with no pathologic or etiologic implication.

The classification calls for the recognition and recording of both parenchymal and pleural abnormalities. The parenchymal abnormalities are classified by presence and absence, size and shape, anatomic location, and profusion levels. The pleural abnormalities are similarly described by type, anatomic site, and approximate dimensions.

Parenchymal opacities less than 1 cm in size are by definition small. Small opacities are divided into rounded or irregular types. When round, they are labeled *p*, *q*, and *r* as defined by size (*p*, < 1.5 mm; *q*, 1.5–3 mm; and *r*, 3–10 mm). The irregular-shaped opacities are *s*, fine linear opacities up to 1.5 mm width; *t*, 1.5–3 mm; and *u*, 3–10 mm. Both round and irregular opacities may be seen and described on the same film. Two letters are used to designate the size and shape of small opacities. For example, if all lesions are rounded and 1.5 to 3 mm, the size film is recorded *q/q*. When lesions of different size or shape are present, the film could be *s/q*, for predominantly irregular opacities up to 1.5 mm and a significant number of rounded opacities 1.5 to 3.5 mm in size.

The profusion of opacities denotes the relative number of round or irregular opacities per unit area of lung. Major profusion categories are 0, 1, 2, or 3. These can be divided further into a scale of 12 grades, where the first number is the category decided upon as most like the standard film, and the second number is the alternate category considered but ultimately rejected. For example, a film can be 2/2 if it most resembles standard film of category 2, or a film can be 3/2 if most like standard film of profusion category 3 but standard film of profusion category 2 was seriously considered.

Large opacities are >1 cm in size and are labeled as *A*, *B*, or *C* opacities. A size large opacities are each >10 mm, with the sum of their diameters not exceeding 50 mm. B size large opacities are >50 mm but combined in area less than the right upper lobe. C size lesions represent opacities whose combined area exceeds the right upper lobe.

Pleural disease to be described using the ILO classification system includes pleural effusions, pleural calcification, diffuse pleural thickening, and pleural plaques or circumscribed pleural thickening. A scheme for recording pleural thickening in profile and en-face, as well as site, width, extent, and calcification, is part of the ILO classification.

The classification also requires recording an opinion about film quality as 1, 2, 3, or unreadable. There is also the provision to note other radiographic abnormalities that may be unrelated to dust exposure.

The ILO classification scheme has proved very useful as a descriptive method to classify chest radiographs for epidemiologic research, to identify health hazards, and to establish exposure-response relationships. It is also useful for screening and surveillance programs in an effort to recognize early radiographic abnormalities and to identify sentinel health events and monitor trends over time. The ILO classification system is far less useful in medicolegal and compensation arenas, and indeed, the text in the guidelines themselves discourages its use for these purposes.

ANNEXE II

Fiche de lecture de la radiographie pulmonaire

Canadian Pneumoconiosis Reading Panel **Fiche de lecture canadienne de pneumoconioses**

Date of Reading (YY/MM/DD)
 Date de lecture (AA/MM/JJ)

Film Reader's Code
 Code de lecture

--	--	--	--	--	--

--	--	--

Film No./ Film n° (1)	Film Quality/Qualité du film				Position/ Position (3)	P	Too light/ Trop pâle (5)	L	Fogged/ (7) Voilé	F		
	Grade/ Niveau (2)	1	2	3		U/R U/A	Artfact/ Artéfact (4)	A	Too dark/ Trop foncé	D	Motion/ (8) Mouvement	M
		If not grade 1 give reason(s)/ Si autre que de niveau 1, indi- quez les raisons :				Poor Inspiration/ Faible Inspiration (6)		I	Other (9) Autre	O		

Is Film Normal/Le film est-il normal?

0/- 0/0	N	P	OR	O	OR	A
YES/oui (10)	NO/NON	Consistent with pneumoconiosis/ Compatible avec la pneumoconiose		Other aetiology/ Autre étiologie (11)		Consistent with pneumoconiosis or other aetiology/ Compatible avec la pneumoconiose ou autre étiologie

If no, complete relevant parts/Dans la négative, remplissez les parties appropriées.

Small Opacities/Petites opacités

Profusion/ Abondance (12)	0/-	0/0	0/1	Zones/ Zones (13)	R	L	Shape/Size Forme/taille Primary/ Primaire (14)	p	s	Secondary/ Secondaire (15)	p	s
	1/0	1/1	1/2		U	U		q	t		q	t
	2/1	2/2	2/3		M	M		r	u		r	u
	3/2	3/3	3/+		L	L						

Large Opacities/Grandes opacités

Size/ Taille (16)	A	B	C
----------------------	----------	----------	----------

Pleural Thickening/Épaississement pleural

Diaphragm Plaque/ Plaques diaphrag- matiques	Chest Wall Circumscribed (plaques)/ Paroi thoracique — circonscrite (plaques)	Chest Wall Diffuse/ Paroi thoracique — diffuse
(17) R (18) L	(19) R (20) L	(21) R (22) L
Costophrenic Angle/ Angle costo- phrénique	Profile Width/ Épaisseur (21)	Profile Width/ Épaisseur (27)
(19) R (20) L	a b c	a b c
	Profile Extent/ Étendue (22)	Profile Extent/ Étendue (28)
	1 2 3	1 2 3
	Face On/ De face (23)	Face On/ De face (29)
	1 2 3	1 2 3

Pleural Calcification/Calcification pleurale

Diaphragm/ Diaphragme	Wall/ Paroi thoracique	Other Sites/ Autres localisations	Diaphragm/ Diaphragme	Wall/ Paroi thoracique	Other Sites/ Autres localisations
(33)	(34)	(35)	(36)	(37)	(38)
1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3

Other Symbols (Obligatory) — up to 5 entries/Autres symboles (obligatoires) jusqu'à 5 parmi (39)

ax	bu	ca	cn	co	cp	cv	dl	ef	em	es	fr	hl	ho	ld	lh	kl	od	pl	px	rp	tb								
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	--	--	--	--	--	--	--	--

Comments/Observations : (40)

ANNEXE III

Règles assurant la qualité d'un programme de dépistage

**(Extrait des pages 18 à 24 du document intitulé:
"Lignes directrices de surveillance médicale des travailleurs
exposés à l'amiante" (52))**

REVUE DES CRITÈRES DE DÉPISTAGE (67)

1. Dépistage sélectif.

Seules les maladies importantes doivent être recherchées. L'importance est déterminée par la prévalence et la sévérité de la maladie (effet sur la santé) recherchée. Donc, pour investir dans la prévention de celle-ci, une maladie doit être importante tant au plan individuel que communautaire.

2. Maladie traitable

La recherche d'une maladie connue dans un programme n'est appropriée que dans les cas où un traitement reconnu existe, ou que les données peuvent servir à l'amélioration des mesures de prévention primaire destinées aux autres travailleurs similairement exposés.

3. Procédures diagnostiques et traitements disponibles, accessibles et acceptables.

Un programme de dépistage devrait inclure le plan de traitement (follow-up) des travailleurs participants, dépistés positifs.

4. Présence d'une phase latente asymptomatique identifiable.

Il vaut la peine de dépister une maladie si elle peut être décelée durant sa phase latente asymptomatique. Il s'agit donc de tenir compte de l'histoire naturelle de la maladie ou de son évolution dans le temps. Ce stade (phase latente) de la maladie précède le moment où le travailleur devient symptomatique et consulte pour la première fois (phase clinique).

5. Coûts-bénéfices

Idéalement, les tests de dépistage doivent être simples et facilement réalisables. En médecine du travail, différentes forces motivent les interventions comme les lois et les responsabilités civiles. De plus, au Québec, les ressources du réseau public sont limitées. Les tests de dépistage en médecine du travail ne sont pas nécessairement non-complicés ou peu coûteux; il faut donc pouvoir en considérer les coûts tout en tenant compte de l'ensemble de la situation.

6. Compétence du personnel

Le personnel doit être adéquatement entraîné pour exécuter le test et en interpréter les résultats.

7. Choix du test, moment d'administration et fréquence

Les tests doivent être choisis selon le facteur de risque considéré. Ce risque doit être relié à l'exposition ou l'occupation. Le choix des tests devrait être réévalué périodiquement pour demeurer cohérent avec l'état d'avancement de la science. Le moment d'application du test doit tenir compte de la latence, car s'il est effectué trop tôt, on dilue l'effet du risque par rapport aux travailleurs avec plus d'années d'exposition et on apporte une fausse assurance quant à l'innocuité de l'exposition.

De la même façon, le moment d'effectuer l'examen initial doit être fonction de l'histoire naturelle de la maladie. La fréquence des examens est par ailleurs dépendante de l'incidence de la maladie, de la longueur de la période de détection sub-clinique, du niveau et de la fréquence d'exposition et du roulement de personnel.

Les programmes doivent être continus pour être efficaces.

8. Validité et fiabilité du test

Les paramètres de qualité d'un test sont la sensibilité (SE), la spécificité (SP) et la valeur prédictive positive (VP+).

Test	M A L A D I E		
	Présente	Absente	Total
Positif	9	50	59
	a	b	a + b
Négatif	1	940	941
	c	d	c + d
Total	10	990	1000
	a + c	b + d	a + b + c + d

Sensibilité (SE)= $a/a+c = 9/10 = 90\%$

Spécificité (SP)= $d/b+d = 940/990 = 95\%$

Valeur prédictive positive (VP+)= $a/a+b = 9/59 = 15\%$

Valeur prédictive négative (VP-)= $d/c+d = 940/941 = 99.9\%$

Prévalence (P)= $a+c/a+b+c+d = 10/1\ 000 = 1\%$

La sensibilité est une mesure de la capacité d'un test à classer correctement les personnes ayant un test positif. C'est la proportion de personnes qui ont un test positif sur l'ensemble de celles qui ont la maladie.

La spécificité est la proportion de gens qui ont un test négatif sur l'ensemble de ceux qui n'ont pas la maladie.

La valeur prédictive positive est la proportion de ceux qui ont la maladie et qui ont un test positif (vrais positifs) sur l'ensemble de ceux qui ont un test positif. La proportion de faux positifs sera égale à $(1 - VP+)$.

La valeur prédictive négative est la proportion de ceux qui ont un test négatif et n'ont pas la maladie (vrais négatifs) sur l'ensemble de ceux qui ont un test négatif. La proportion de faux négatifs sera égale à $(1 - VP-)$.

En pratique, l'utilité d'un test dépend de la prévalence de la condition dans la population surveillée. Si la maladie est rare, même un test ayant une haute SE et SP peut produire un grand nombre de faux positifs (i.e. faible VP+). Ainsi, si la SE et la SP sont respectivement de 90% et de 95%, et que la P est de 1%, environ 85% de ceux qui ont des tests positifs seront des faux positifs (voir calculs ci-dessus). Le tableau suivant illustre la variation de la VP+ selon la prévalence de la maladie pour une sensibilité et une spécificité données.

PRÉVALENCE (%)	VP+ (%)	SENSIBILITÉ (%)	SPÉCIFICITÉ (%)
0.1	1.8	90	95
1.0	15.4	90	95
5.0	48.6	90	95
50.0	94.7	90	95

Même si on ne connaît pas encore les paramètres de qualité de tous les tests, l'importance de la maladie et les conséquences de ne pas la reconnaître dans un milieu de travail doivent être considérées face à la VP d'un test.

La reproductibilité d'un test ainsi que sa variabilité sont des paramètres de fiabilité.

9. Détermination a priori du seuil de positivité du test et des actions à prendre

Les résultats devraient être comparés à des valeurs normales pré-établies dans la population des travailleurs. Le choix des valeurs normales de référence est important. En effet, la valeur normale de référence influence directement la spécificité et la sensibilité d'un test ainsi que la prévalence de la maladie. Or, la valeur prédictive d'un test dépend justement de sa spécificité et de la prévalence de la maladie.

10. Test acceptable

Un test de dépistage ne devrait pas incommoder le travailleur qui le subit. Le risque rattaché au test doit être minimal et le test doit représenter un élément important du programme de surveillance.

11. Potentiel d'abus lors du dépistage

Il faut se souvenir que le dépistage possède un potentiel d'abus. Le dépistage doit être vu comme une technique à l'intérieur d'un programme de prévention intégré et ne doit pas être utilisé pour diminuer l'incidence ou la prévalence d'une maladie à un poste spécifique en mettant à pied les travailleurs dépistés positifs ou en refusant l'emploi à un travailleur atteint. Nous devons tous être concernés par l'éthique sous-jacente aux programmes de dépistage.

12. Objectifs prédéterminés.

Les objectifs du dépistage dans un milieu de travail particulier doivent être déterminés clairement. Ces objectifs, qu'ils soient d'identifier les travailleurs nécessitant un traitement, d'évaluer des mesures de prévention primaire, pour la recherche épidémiologique ou autre, doivent être spécifiques.

De plus, une collecte de données de dépistage est inutile, particulièrement si la maladie est incurable, si ces données ne sont pas analysées épidémiologiquement et utilisées à des fins de prévention pour les autres travailleurs exposés aux mêmes conditions environnementales.

En résumé, les critères du dépistage peuvent être regroupés en cinq classes principales:

1. Le dépistage doit être sélectif (i.e. le bon test pour un effet recherché sur la bonne population-cible). L'histoire naturelle de la relation exposition-maladie doit être considérée (e.g. latence).
2. L'identification de la maladie à la phase pré-clinique plutôt qu'à la phase clinique doit mener à une intervention qui en empêche l'évolution chez un individu donné ou qui empêche l'apparition de nouveaux cas chez les autres travailleurs.
3. La présence d'un suivi adéquat est essentielle et les tests diagnostiques et les traitements subséquents doivent être disponibles, accessibles, acceptables tant pour le travailleur que l'examineur. La justification majeure du dépistage d'une maladie incurable est de permettre le contrôle de l'exposition et de prévenir la maladie chez les travailleurs pareillement exposés.
4. Les tests de dépistage doivent être fiables et valides (SE, SP, VP+)
5. Les bénéfices du programme doivent être supérieurs aux coûts (tant matériels qu'humains).

ANNEXE IV

**Formulaire de pré-sélection des travailleurs
en vue de l'administration d'un questionnaire
d'histoire professionnelle, ou liste d'industries
et de sources d'exposition à risque (Formulaire H.P.2)**

FORMULAIRE H.P.2

Avez-vous déjà travaillé dans une des industries suivantes ou effectué une des opérations mentionnées ci-dessous dans l'industrie indiquée? Cochez la case appropriée pour chacun des éléments mentionnés:

	OUI	NON
1- Mines (plomb, argent, cuivre, or, étain, mica, platine):	☐	☐
- Forage	☐	☐
- Abattage	☐	☐
- Extraction	☐	☐
- Transport	☐	☐
- Concassage	☐	☐
- Broyage	☐	☐
- Tamisage	☐	☐
- Autres (préciser): _____		
2- Houillères d'Europe	☐	☐
3- Creusage de tunnel (à l'extérieur de Montréal)	☐	☐
4- Construction de routes	☐	☐
5- Construction de chemin de fer	☐	☐
6- Fossoyage	☐	☐
7- Carrières (quartz, grès, silex, schiste, ardoise, etc...)	☐	☐
- Forage	☐	☐
- Abattage	☐	☐
- Extraction	☐	☐
- Transport	☐	☐
- Concassage	☐	☐
- Broyage	☐	☐
- Taillage	☐	☐
- Polissage	☐	☐
- Ensachage	☐	☐
- Autres (préciser): _____		

Avez-vous déjà travaillé dans une des industries suivantes ou effectué une des opérations mentionnées ci-dessous dans l'industrie indiquée? Cochez la case appropriée pour chacun des éléments mentionnés:

	OUI	NON
8- Pierre et maçonnerie de monuments	☐	☐
- Taillage	☐	☐
- Parage	☐	☐
- Polissage	☐	☐
- Nettoyage	☐	☐
- Sciage	☐	☐
- Sculpture	☐	☐
- Autres (préciser): _____		
9- Produits d'entretien avec abrasifs	☐	☐
- Fabrication	☐	☐
- Manutention	☐	☐
- Autres (préciser): _____		
10- Fonderies ou hauts-fourneaux	☐	☐
- Fabrication du moule et/ou noyau	☐	☐
- Application des poudres	☐	☐
- Dégagement du moule	☐	☐
- Polissage de l'intérieur du moule	☐	☐
- Polissage des pièces moulées	☐	☐
- Entretien général	☐	☐
- Entretien des matériaux réfractaires	☐	☐
- Dessablage	☐	☐
- Réparation et démolition des fours	☐	☐
- Autres (préciser): _____		
11- Nettoyage abrasif doux	☐	☐

Avez-vous déjà travaillé dans une des industries suivantes ou effectué une des opérations mentionnées ci-dessous dans l'industrie indiquée? Cochez la case appropriée pour chacun des éléments mentionnés:

	OUI	NON
12- Verrerie, cristallerie, gobeletterie	☐	☐
- Manufacture du verre	☐	☐
- Polissage du verre	☐	☐
- Taillage et biseautage manuel	☐	☐
- Autres (préciser): _____		
13- Céramiques	☐	☐
- Production, poterie ou faïence fine	☐	☐
- Production, céramiques ou briques réfractaires	☐	☐
- Grès sanitaires	☐	☐
- Autres (préciser): _____		
14- Construction Industrielle	☐	☐
- Construction	☐	☐
- Entretien	☐	☐
- Démolition	☐	☐
- Ponçage de surfaces de béton	☐	☐
- Marbrerie de bâtiments et planchers de terrazo	☐	☐
- Décapage au jet de sable	☐	☐
- Autres (préciser): _____		
15- Nettoyage et désincrustation des chaudières et conduits de fumées	☐	☐
16- Fabrication de quartz cultivé	☐	☐
17- Secteur utilisant ou produisant du talc (si contaminé avec quartz)	☐	☐
- Extraction	☐	☐
- Broyage	☐	☐
- Conditionnement	☐	☐
- Utilisation (agent de charge)	☐	☐
- Utilisation (lubrifiant)	☐	☐
- Autres (préciser): _____		

Avez-vous déjà travaillé dans une des industries suivantes ou effectué une des opérations mentionnées ci-dessous dans l'industrie indiquée? Cochez la case appropriée pour chacun des éléments mentionnés:

	OUI	NON
18- Fabrication de carborundum	☐	☐
- Mélange de la matière première	☐	☐
- Préposés aux fournaies et carbosélecteurs	☐	☐
- Réfection des fournaies	☐	☐
19- Industrie du plastique	☐	☐
- Production de polyéthylène ou polypropylène	☐	☐
20- Chantiers maritimes	☐	☐
- Décapage au jet de sable	☐	☐
- Autres (préciser): _____		
21- Broyage du sable	☐	☐
22- Utilisation de meules en grès	☐	☐
23- Utilisation de gypse ou plâtre de Paris contaminé	☐	☐
24- Emailage vitreux	☐	☐
25- Utilisation du décapage au jet de sable	☐	☐
Préciser le type d'activité: _____		
26- Préparation ou utilisation de terre diatomée calcinée	☐	☐

Nom du travailleur: _____

Date: _____

ANNEXE V
Formulaire d'histoire professionnelle

DOSSIER DU TRAVAILLEUR HISTOIRE PROFESSIONNELLE

IDENTIFICATION

DOSSIER: _____

NOM (NAISSANCE): _____

NAM L L L L L L L L L L L L

PRÉNOM: _____

NAS

DATE DE NAISSANCE: / /
 A M J

A M J

ÉTABLISSEMENT

ÉTA: [][][][][][][][]

NOM: _____

SECTEUR D'ACTIVITÉ ☐

FONCTION CTP

DESCRIPTION DE TÂCHES: _____

QUART DE TRAVAIL: _____

DATE DE DÉBUT D'EMPLOI: / /

DATE DE FIN D'EMPLOI: / /

DATE DE DÉBUT DE FONCTION: / /

DATE DE FIN DE FONCTION: / /

EXPOSITIONS

LE TRAVAIL IMPLIQUAIT-IL LA MANUTENTION DE / L'EXPOSITION À:

OUI NON

☐ ☐ **Amiante, ciment**

□ □ Silice

☐ ☐ **Plomb**☐ ☒ **Bruit**

AGRESSEUR: _____

ESTIMATION: _____

DURÉE: ANNÉE(S) MOIS ANNÉE(S) CARRIÈRE

AGRESSEUR: _____

ESTIMATION: _____

DURÉE: ANNÉE(S) MOIS ANNÉE(S) CARRIÈRE

AGRESSEUR: _____

ESTIMATION: _____

DURÉE: ANNÉE(S) MOIS ANNÉE(S) CARRIÈRE

VALIDITÉ	
FAIBLE	☐
MOYENNE	☐
ÉLEVÉE	☐

VALIDITÉ	
FAIBLE	☐
MOYENNE	☐
ÉLEVÉE	☐

VALIDITÉ	
FAIBLE	☐
MOYENNE	☐
ÉLEVÉE	☐

ANNEXE VI

**Guidelines for use of ILO International Classification
of radiographs of pneumoconioses, Revised edition 1980,
Occupational safety and health
Series, no 22, International Labor Office, Geneva, 1980.**

APPENDICES

These have been prepared by various experts to assist understanding of the principles and development of the Classification. Some of the views expressed may be controversial. The Appendices are not a part of the text of the ILO 1980 INTERNATIONAL CLASSIFICATION OF RADIOGRAPHS OF THE PNEUMOCONIOSES.

APPENDIX A

EQUIPMENT AND TECHNOLOGY : GUIDANCE NOTES*

It has long been recognised that the exposures received by radiographs of the chest have a marked influence on the radiographic appearance of lesions of pneumoconiosis. Consequently, readers of radiographs which demonstrate evidence of pneumoconiosis will find difficulty in applying the ILO 1980 Classification for reporting the characteristics of this disease unless the exposures used in making the radiographs are maintained within an optimum range. Application of the system will only be as satisfactory as radiographic technical quality is good.

The importance of image density and radiation exposure to technical excellence in chest radiography is difficult to over-emphasise. It is known that by far the greatest causes of poor technical quality in chest radiographs (well over ninety percent) are over-exposure and under-exposure, unsatisfactory gross image contrast, poor screen-film contact and fog. Medical training should include the fundamentals of radiographic technique so that physicians are able to determine the causes of poor technical quality when encountered. Some technologists work without adequate supervision by knowledgeable physicians, and, until recently, convenient densitometric instruments have not been available with which the quality of each radiograph can be measured at the time it is made.

What is clearly needed are (1) improved training programmes in radiographic technology for both physicians and technologists; (2) closer liaison between physicians and technologists in

Prepared by H. Bohlig, Y. Hosoda, G. Jacobson (deceased)
and R. Morgan.

day-to-day practice, and (3) widespread use of the recently available pocket densitometers to determine the technical quality of each chest radiograph when it is made.

Using subjective criteria, the most desirable chest radiograph for the detection of abnormalities of the pneumoconioses is one in which the pulmonary parenchymal markings are shown in greatest detail, the costopleural junctions are clearly seen, and the major pulmonary vessels are visible through the cardiac shadow. While it is important to visualise the details of the mediastinal structure as well, this is usually not possible on a radiograph made for assessment of pneumoconiosis.

On physical grounds, a radiograph of satisfactory technical quality may be defined as one in which the exposure has been such that the optical densities of the images of interest fall between 0.3 and 1.7 and in which the difference in optical density between the darkest image of interest and the lightest is 1.0 or more. The inherent contrast (i.e. the density vs log exposure gradient) of radiographs falls off rapidly as optical densities descend below 0.3 and hence, image quality becomes increasingly unsatisfactory as this occurs. Above an optical density of 1.7, the inherent contrast of radiographs remains good but extraneous light entering the observer's eyes from light sources other than the x-ray viewing boxes tends to impair the contrast of the radiographic image when projected on the retinae. Hence, technical quality deteriorates for images having optical densities much above 1.7 density units. (See also Appendix C, paragraph 8).

Equipment

The installation and maintenance of the radiographic equipment is of the greatest importance. The electric power source should be independent of other users. It must be of adequate capacity, for example, having a resistance of not more than 0.1Ω and should be subject to no more than 5 per cent fluctuation. The voltage drop between the main supply and the x-ray unit when the unit is at its maximum output should not exceed 10 per cent. The radiographic unit must be carefully calibrated at the time of installation and should be recalibrated periodically. Preventive maintenance at regular intervals is strongly recommended.

The generator should have a minimum capacity of 300 mA at 125 kV. The generator must be full-wave rectified. It should be equipped with an accurate timer (± 1 per cent) capable of

Technique

Correct centring of the x-ray tube and careful positioning of the subject are of great importance for the proper visualisation of anatomic structures and comparison of serial examinations. For the PA projection, the x-ray tube should be centred to the centre of the film and the x-ray beam directed horizontally. The shoulders should be positioned so that the scapulae are outside the lung fields. The exposure should be made at full inspiration and immediately after this has been reached, to avoid the Valsalva effect. It is desirable, but not essential, that all the clothes above the waist be removed.

The focal spot-film distance should be fixed at 1.8 m (6 feet) and should not be less than 1.5 m (5 feet).

For reasons given above, a variable high kilovoltage, constant milliamperes-second technique is recommended. Exposure factors employed may vary somewhat with each generator and tube. The highest range of kilovoltage and shortest range of milliamperes-seconds obtainable should be used. For the average subject, with an AP chest diameter between 210 and 230 mm, the usual exposure factors will be 5 mAs at approximately 125 kV. The recommended exposure time is $1/60$ (0.017) s; not exceeding $1/30$ (0.03) s. (Based on 60 Hz current. For 50 Hz current, exposure times are $1/50$ (0.02) and $1/25$ (0.04) s respectively.)

With larger diameters of the chest, additional exposure is obtained by increasing the kilovoltage. The milliamperes-second product is increased only when the kilovoltage required to give a proper exposure exceeds the capability of the generator or x-ray tube. With focal spot-film distances of less than 1.8 m (6 feet) the technique should be adjusted by decreasing the milliamperes-second product.

When using a lower kilovoltage technique, the exposure factors for an average subject will be approximately 300 mA, 0.05 s (15 mAs) at 75 kV. For larger subjects, greater amounts of radiation are obtained by increasing either the milliamperes-second product or the kilovoltage.

It is recognised however that the question of optimal radiographic technique remains a controversial matter among experts internationally.

minimum exposure of no more than 10 ms. Ideally, three-phase generators should be used for both fixed and mobile units. However, in the case of mobile units, when it may not be feasible to use three-phase generators, condensor-discharge units may be the apparatus of choice.

A rotating anode tube is essential. It should have as small a focal spot as feasible for the anticipated load, but in no instance should this exceed 2 mm in diameter.

The total filtration, added and inherent, of the primary x-ray beam should be the equivalent of 2 mm of aluminium.

The radiation should be confined by means of a collimator to the portion of the subject to be examined. This will not only decrease radiation hazard, but also will improve detail by reducing scattered radiation. The collimator should have adjustable diaphragms, a light beam for centring, and be designed so that the projected field cannot exceed the size of the film. Evidence of collimation should be visible at the edges of the film as "cone cuts".

Medium speed (par. speed) intensifying screens should be used. They provide the best compromise between sharp definition and short exposure. The cassettes in use should contain screens of the same speed. Both films and screens should be tested and matched for speed; and cassettes should be checked periodically for screen cleanliness, contact and defects.

The x-ray film should be of a general purpose type and of medium sensitivity. High speed film is not recommended. To improve collimation, the film should be no larger than needed to cover both lungs, including the costophrenic angles.

When using kilovoltages of 80 and above, reduction of secondary radiation by a grid or other means is essential. A 10:1, 100-line per inch fixed grid or an air-gap of 200 mm with a 2.5 m focal spot-film distance may be used.

Automatic processing should be employed whenever possible. If only manual processing is available, a constant time-temperature technique must be followed meticulously. An improper exposure cannot be corrected by improper processing.

ANNEXE VII
Table des valeurs prédites de Knudson

VALEURS SPIROMÉTRIQUES PRÉDITES POUR NON-FUMEURS ^a

HOMMES ≥ 12 < 25 ans Taille entre 139.7-193.0 cm	INTERCEPT	COEFFICIENTS		Sy.x (SEE)
		TAILLE (cm)	AGE (ANNÉES)	
VEMS (l.s ⁻¹)	-6.1181	0.0519	0.0636	0.4458
CFV (l)	-6.8865	0.0590	0.0739	0.4708
100 X VEMS/CFV (%)	100.4389	-0.0813	—	6.5752
≥ 25 ans Taille entre 157.5-195.6 cm				
VEMS (l.s ⁻¹)	-6.5147	0.0665	-0.0292	0.5241
CFV (l)	-8.7818	0.0844	-0.0298	0.6384
100 X VEMS/CFV (%)	86.6862	—	-0.1050	6.2691
FEMMES ≥ 11 < 20 ans Taille entre 132.1-182.9 cm				
VEMS (l.s ⁻¹)	-3.7622	0.0351	0.0694	0.4223
CFV (l)	-4.4470	0.0416	0.0699	0.4973
100 X VEMS/CFV (%)	109.9739	-0.1909	0.6655	7.8385
≥ 20 < 70 ans Taille entre 147.3-180.3 cm				
VEMS (l.s ⁻¹)	-1.8210	0.0332	-0.0190	0.3903
CFV (l)	-3.1947	0.0444	-0.0169	0.4831
100 X VEMS/CFV (%)	121.6777	-0.1852	-0.1896	7.5702

ÉQUATION DE RÉGRESSION LINÉAIRE POUR VALEURS PRÉDITES

VALEUR PRÉDITE: INTERCEPT + [Taille (cm) X coefficient de taille] + [âge (an) X coefficient d'âge]

La limite inférieure de la normale (ou seuil de normalité) est calculé en soustrayant [1.64 X Sy.x] de la valeur prédite pour l'individu. ^b

Sy.x= écart-type de la courbe de régression ou erreur-type de l'estimation de la droite de régression (SEE).

Exemple: Homme, 30 ans, 180 cm.

VP du VEMS = -6.5147 + [180 X 0.0665] + [30 X -0.0292]
= 4.5793 l/sec.

Seuil de normalité = 4.5793 - (1.64 X 0.5241) = 3.72 l/sec.

^a Knudson RJ, Lebowitz MD, Holberg CJ, Burrows B. Changes in the normal maximal expiratory flow-volume curve with growth and aging. Am Rev Respir Dis 1983; 127: 725-34.

^b A cause de la variabilité des mesures (en fonction de l'âge et de la taille) et de l'asymétrie probable des distributions des valeurs spirométriques, cette méthode ne nous donne pas exactement le 95^e percentile (selon Knudson). L'imprécision ainsi introduite est toutefois acceptable dans un contexte de dépistage.

ANNEXE VIII

Questionnaire ATS abrégé

Pour l'usage du bureau

NUMERO D'ASSURANCE SOCIALE _____

1 2 3

4 5 6 7 8 9

NOM _____

ADRESSE _____

_____ (code postal)

NUMERO DE TELEPHONE _____

INTERVIEWEUR _____

DATE _____

CARTE $\frac{1}{10}$

11 12 13 14 15 16

17 18 19

20 21 22 23 24 25

(année) (mois) (jour)

Version Canadienne Française

Reference: Osterman JW, Armstrong BG, Ledoux E, Sloan M, Ernst P. Comparison of French and English versions of the American Thoracic Society Respiratory Questionnaire in a bilingual working population. International J Epidemiol 1991; 20: 138-143

RENSEIGNEMENTS DE DETAILED

1. Date de naissance _____
année mois jour

26 27 28 29 30 31

11. Lieu de naissance _____

32 33

111. Sexe 1. masculin

2. fēminin

34

iv. Etat civil 1. célibataire

2. marié(e)

3. veuf (ve)

4. sēdarē(e)

5. dívorcé(e)

35

v. Pace 1. blanche

2. noire

3. orientale

4. amériidienne

5. autres (spécifiez) _____

36

vi. Langue maternelle 1. français _____

2. anglais

3. autres (spécifiez) _____

37

vi1. Nombre d'années de scolarité? _____

Exemple: Ecole secondaire - 11^e année

13^e année

38 39

viii. Vous considérez-vous bilingue (français-anglais)?

1. псп

2. un peu _____

3. ποιητὴς _____

4. beaucoup _____

40

ix. Nom et adresse de votre employeur.

41 42

x. Titre d'emploi: _____

43 44

SYMPTOMES RESPIRATOIRES

Les questions suivantes concernent principalement vos
poumons. Vous êtes prié de répondre autant que possi-
ble par "oui" ou "non". Si vous hésitez entre "oui" et
"non", répondez "non".

1. TOUX

A. Toussez-vous habituellement? (tenez compte de
la toux en fumant la première cigarette de la
journée ou lors de la première sortie à l'ex-
térieur. Excluez le nettoyage de la gorge).

1. oui ____ 2. non ____

Si vous avez répondu "non", passez à la question C.

45

B. Toussez-vous habituellement au moins 4 à 6 fois par
jour pendant 4 jours ou plus par semaine?

1. oui ____ 2. non ____

46

C. Toussez-vous habituellement en vous levant ou en vous
réveillant le matin?

1. oui ____ 2. non ____

47

D. Toussez-vous habituellement pendant le reste de la jour-
née ou pendant la nuit?

1. oui ____ 2. non ____

48

Si vous avez répondu "oui" à au moins une des questions précé-
dentes (soit 1A, B, C ou D), répondez aux questions suivantes.
si "non", passez à la question 2A.

E. Toussez-vous habituellement comme cela la plupart
des jours pendant au moins trois mois de suite chaque
année?

1. oui ____ 2. non ____

49

F. Depuis combien d'années avez-vous cette toux?

Nombre d'années ____

50 51

2. EXPECTORATIONS (crachats)

A. Ramenez-vous habituellement des crachats qui viennent des poumons? (Tenir compte des crachats en fumant la première cigarette de la journée ou lors de la première sortie à l'extérieur. Négligez les crachats venant du nez. Tenir compte des crachats avalés).

1. oui ___ 2. non ___

52

(Si vous avez répondu "non", passez à la question C.)

B. Ramenez-vous habituellement des crachats qui viennent des poumons au moins 2 fois par jour pendant 4 jours ou plus par semaine?

1. oui ___ 2. non ___

53

C. Ramenez-vous habituellement des crachats qui viennent des poumons en vous levant ou en vous réveillant le matin?

1. oui ___ 2. non ___

54

D. Ramenez-vous habituellement des crachats qui viennent des poumons pendant le reste de la journée ou pendant la nuit?

1. oui ___ 2. non ___

55

Si vous avez répondu "oui" à au moins une des questions précédentes (soit 2A, B, C, ou D), répondez aux questions suivantes. Si "non", passez à la question 3A.

E. Ramenez-vous des crachats comme cela la plupart des jours pendant au moins trois mois de suite chaque année?

1. oui ___ 2. non ___

56

F. Depuis combien de temps crachez-vous ainsi?

Nombre d'années ___

57

58

3. EPISODES DE TOUX ET DE CRACHATS

A. Avez-vous déjà eu des périodes de toux et de crachats (augmentés*) d'une durée de trois (3) semaines ou plus chaque année?

* (pour les personnes qui habituellement toussent et/ou ramènent des crachats de leurs poumons).

1. Oui ___ 2. non ___

59

Si "oui" à la question 3A

B. Pendant combien d'années avez-vous eu au moins une telle période par année?

Nombre d'années ___

60

61

4. SIFFLEMENT DANS LES POUMONS (Respiration sifflante)

Entendez-vous parfois des sifflements ou des "silements" dans vos poumons?

A. Lorsque vous avez un rhume?

1. oui ____ 2. non ____

62

B. Parfois, même lorsque vous n'avez pas de rhume?

63

1. oui ____ 2. non ____

C. La plupart des jours ou des nuits?

1. oui ____ 2. non ____

64

Si "oui" à 4A, B, ou C

D. Depuis combien d'années cela vous arrive-t-il?

Nombre d'années ____

65

66

5. A. Avez-vous déjà eu une crise de sifflements (silements) qui vous ait essoufflé?

1. oui ____ 2. non ____

67

Si "oui" à 5A

B. Quel âge aviez-vous lors de la première crise?

Âge ____

68

69

C. Avez-vous déjà eu plus d'une crise?

1. oui ____ 2. non ____

70

D. Avez-vous déjà eu besoin de médicaments ou de traitements pour cette (ces) crise(s)?

1. oui ____ 2. non ____

71

6. ESSOUFFLEMENT

Si vous êtes handicapé par une condition autre que cardiaque ou pulmonaire qui vous empêche de marcher normalement, décrivez-la.

Nature de la condition _____

72

A. Devenez-vous essoufflé en vous dépêchant sur un terrain plat ou quand vous montez une pente légère?

1. oui ____ 2. non ____

73

Si "oui" à la question 6A

B. Devez-vous marcher plus lentement que les gens de votre âge sur un terrain plat parce que vous devenez essoufflé?

1. oui ____ 2. non ____

74

C. Vous arrive-t-il de vous arrêter pour reprendre votre souffle quand vous marchez à votre rythme sur un terrain plat?

1. oui ____ 2. non ____

75

D. Vous arrive-t-il de vous arrêter pour reprendre votre souffle après avoir marché environ 100 verges (300 pieds) (ou après quelques minutes) sur un terrain plat?

1. oui ____ 2. non ____

76

E. Êtes-vous trop essoufflé pour quitter la maison ou devenez-vous essoufflé en vous habillant ou en vous déshabillant?

1. oui ____ 2. non ____

77

F. Depuis combien d'années vous essoufflez-vous comme cela?

Nombre d'années _____

78 79

7. RHUMES DE POITRINE ET MALADIES PULMONAIRES

A. Lorsque vous attrapez un rhume, s'agit-il la plupart du temps d'un rhume de poitrine? (La plupart du temps veut dire ici plus de la moitié du temps).

1. oui ____ 2. non ____ 6. je n'ai jamais de rhume ____

11

B. Au cours des trois dernières années, avez-vous eu une maladie des poumons qui vous ait empêché de travailler ou obligé à rester à la maison ou au lit?

1. oui ____ 2. non ____

12

Si "oui" à 7B

C. Avez-vous ramené des crachats de vos poumons lors de l'une ou l'autre de ces maladies pulmonaires?

1. oui ____ 2. non ____

13

D. Au cours des trois dernières années, combien de ces maladies, avec une augmentation de la quantité de crachats, ont duré une semaine ou plus?

Nombre de maladies ____ Aucune maladie ____

14 15

CARTE 2/10

ANTECEDENTS MEDICAUX

8. Avez-vous déjà eu une maladie des poumons avant l'âge de seize ans?

1. oui ___ 2. non ___

16

9. A. Avez-vous déjà souffert de bronchite aiguë?

1. oui ___ 2. non ___

17

Si "oui" à 9A

B. Un médecin vous a-t-il dit que vous aviez cette maladie?

1. oui ___ 2. non ___

18

C. A quel âge remonte votre première bronchite aiguë?

1. Age ___

19 20

10. A. Avez-vous déjà souffert de pneumonie? (inclure les bronchio-pneumonies)

1. oui ___ 2. non ___

21

Si "oui" à 10A

B. Un médecin vous a-t-il dit que vous aviez cette maladie?

1. oui ___ 2. non ___

22

C. A quel âge avez-vous eu votre première pneumonie?

Age ___

23 24

11. A. Avez-vous déjà souffert de fièvre des foies?

1. oui ___ 2. non ___

25

Si "oui" à 11A

B. Un médecin vous a-t-il dit que vous aviez cette maladie?

1. oui ___ 2. non ___

26

C. A quel âge avez-vous commencé à en souffrir?

Age ___

27 28

12. A. Avez-vous déjà souffert de bronchite chronique?

1. oui ____ 2. non ____

du bureau

29

Si "oui" à 12A

B. En souffrez-vous toujours?

1. oui ____ 2. non ____

30

C. Un médecin vous a-t-il dit que vous aviez cette maladie?

1. oui ____ 2. non ____

31

D. A quel âge avez-vous commencé à en souffrir?

Age ____

32

33

13. A. Avez-vous déjà souffert d'emphysème?

1. oui ____ 2. non ____

34

Si "oui" à 13A

B. En souffrez-vous toujours?

1. oui ____ 2. non ____

35

C. Un médecin vous a-t-il dit que vous aviez cette maladie?

1. oui ____ 2. non ____

36

D. A quel âge avez-vous commencé à en souffrir?

Age ____

37

38

14. A. Avez-vous déjà souffert d'asthme?

1. oui ____ 2. non ____

39

Si "oui" à 14A

B. En souffrez-vous toujours?

1. oui ____ 2. non ____

40

C. Un médecin vous a-t-il dit que vous aviez cette maladie?

1. oui ____ 2. non ____

41

D. A quel âge avez-vous commencé à en souffrir?

Age ____

42

43

E. Si vous n'en souffrez plus, à quel âge votre asthme a-t-il cessé?

Age ____

44

45

F. Avez-vous actuellement besoin de traitements ou de médicaments pour l'asthme?

1. oui ____ 2. non ____

46

15. A. Avez-vous déjà souffert de tuberculose pulmonaire?

1. oui ____ 2. non ____

du bureau

47

Si "oui" à 15A

B. Un médecin vous a-t-il dit que vous aviez cette maladie?

1. oui ____ 2. non ____

48

C. A quel âge avez-vous commencé à en souffrir?

Age ____

49

50

D. Quelle sorte de traitement avez-vous suivi?

1. aucun ____

2. médicaments ____

3. opération ____

4. autres (spécifiez) ____

51

E. Quelle a été la durée du traitement?

1. En mois ____

52

53

16. A. Avez-vous déjà souffert de pleurésie?

1. oui ____ 2. non ____

54

Si "oui" à 16A

B. Un médecin vous a-t-il dit que vous aviez cette maladie?

1. oui ____ 2. non ____

55

C. A quel âge avez-vous eu votre première pleurésie?

Age ____

56

57

17. A. Avez-vous déjà souffert de troubles des sinus?

1. oui ____ 2. non ____

58

Si "oui" à 17A

B. Un médecin vous a-t-il dit que vous aviez cette maladie?

1. oui ____ 2. non ____

59

C. A quel âge avez-vous commencé à en souffrir?

Age ____

60

61

18. Avez-vous déjà:

du bureau

A. Eu d'autres maladies des poumons?

1. oui ____ 2. non ____

62

Si oui, spécifiez _____

A quel âge? ____

B. Subi une opération à la poitrine ou aux poumons?

1. oui ____ 2. non ____

63

Si oui, spécifiez _____

A quel âge? ____

C. Subi des blessures à la poitrine?

1. oui ____ 2. non ____

64

Si oui, spécifiez _____

A quel âge? ____

19. A. Un médecin vous a-t-il déjà dit que vous aviez des troubles cardiaques?

1. oui ____ 2. non ____

65

Si "oui" à 19A: _____

B. Avez-vous été soigné pour des troubles cardiaques au cours des 10 dernières années?

1. oui ____ 2. non ____

66

Si "oui" spécifiez _____

20. A. Un médecin vous a-t-il déjà dit que vous faisiez de l'hypertension? (haute pression)

1. oui ____ 2. non ____

67

Si "oui" à 20A: _____

B. Avez-vous été soigné pour de l'hypertension (haute pression) au cours des 10 dernières années?

1. oui ____ 2. non ____

68

CIGARETTE

Pour l'usage
du bureau

CARTE 3/10

21. A. Avez-vous déjà fumé la cigarette? ("non" signifie moins de 20 paquets de cigarettes ou 400 grammes de tabac au cours de votre vie, ou moins d'une cigarette par jour pendant un an).

1. oui ____ 2. non ____

11

Si "oui" à 21A

- B. Fumez-vous actuellement la cigarette ou avez-vous fumé depuis un mois?

1. oui ____ 2. non ____

12

- C. Quel âge aviez-vous lorsque vous avez commencé à fumer la cigarette régulièrement?

Age ____

13

14

- D. Si vous avez complètement cessé de fumer la cigarette, quel âge aviez-vous quand vous avez arrêté?

Age ____

15

16

Cocher si vous fumez toujours ____

- E. Combien de cigarettes fumez-vous par jour actuellement?

Nombre de cigarettes par jour ____

17

18

- F. Pendant tout le temps que vous avez fumé, combien de cigarettes fumez-vous par jour en moyenne?

Cigarettes par jour ____

19

20

- G. Est-ce que vous respirez ou respirez la fumée?

1. pas du tout ____

2. peu ____

3. modérément ____

4. profondément ____

21

- H. Pendant tout le temps que vous avez fumé la cigarette, fumiez-vous des bouts-filtres?

0. jamais ____

1. moins que la moitié du temps ____

2. la moitié du temps ____

3. plus que la moitié du temps ____

4. toujours ____

22

- I. Pendant tout le temps que vous avez fumé la cigarette, quelle sorte fumiez-vous la plupart du temps?

1. régulier ____

2. king size ____

3. rouleuse (roulée à la main) ____

23

PIPE

22. A. Avez-vous déjà fumé la pipe régulièrement?

("oui" signifie plus de 400 grammes ou 8 blagues de tabac
durant votre vie).

1. oui ____ 2. non ____

24

Si "oui" à 22A

B. Fumez-vous actuellement la pipe ou l'avez-vous fumée depuis
un mois?

1. oui ____ 2. non ____

25C. Quel âge aviez-vous lorsque vous avez commencé à fumer la pipe
régulièrement?

Age ____

26 27D. Si vous avez complètement cessé de fumer la pipe, quel âge
aviez-vous quand vous avez arrêté?

Age ____ Cochez si vous fumez toujours la pipe ____

28 29

E. Combien de tabac fumez-vous par semaine actuellement?

____ blague(s) par semaine (une blague de tabac contient
50 grammes).30 31F. Pendant tout le temps que vous avez fumé la pipe, quelle
quantité de tabac fumiez-vous par semaine en moyenne?____ blague(s) par semaine (une blague de tabac contient
50 grammes).32 33

G. Est-ce que vous respirez ou respiriez la fumée de pipe?

1. pas du tout ____

2. peu ____

3. modérément ____

4. profondément ____

34

CIGARE/CIGARELLO

23. A. Avez-vous déjà fumé le cigare ou le cigarillo régulièrement?
("oui" signifie plus d'un cigare ou cigarillo par semaine,
pendant un an).

1. oui ____ 2. non ____

35

Si "oui" à 23A

- B. Fumez-vous actuellement le cigare ou en avez-vous fumé
depuis un mois?

1. oui ____ 2. non ____

36

- C. Quel âge aviez-vous lorsque vous avez commencé à fumer le
cigare régulièrement?

Age ____

37

38

- D. Si vous avez complètement cessé de fumer le cigare, quel âge
aviez-vous quand vous avez arrêté?

Age ____ Cochez si vous fumez toujours le cigare ____

39

440

- E. Combien de cigares fumez-vous par semaine actuellement?

Nombre de cigares ____

41

42

- F. Pendant tout le temps que vous avez fumé le cigare, combien
de cigares par semaine fumiez-vous en moyenne?

Nombre de cigares ____

43

44

- G. Est-ce que vous respirez ou respiriez la fumée du cigare?

1. pas du tout ____

2. peu ____

3. modérément ____

4. profondément ____

45

- H. Pendant tout le temps que vous avez fumé le cigare, quelle
sorte fumiez-vous la plupart du temps?

1. mini (grandeur cigarette) ____

2. petit (cigarillo) ____

3. grand (vrai cigare) ____

46

ANTECEDENTS FAMILIAUX

ou bureau

24. Le médecin a-t-il déjà dit à un membre de votre famille qu'il souffrait d'une maladie pulmonaire chronique telle que:

	<u>Père</u>	<u>Mère</u>	<u>Frères & Soeurs</u>			
	1. oui	1. oui	1. oui			
	2. non	2. non	2. non			
	3. ne sais pas	3. ne sais pas	3. ne sais pas			
A. Bronchite chronique	_____	_____	_____	47	48	49
B. Emphysème	_____	_____	_____	50	51	52
C. Asthme	_____	_____	_____	53	54	55
D. Cancer de poumons	_____	_____	_____	56	57	58
E. Tuberculose	_____	_____	_____	59	60	61
F. Autres maladies respiratoires	_____	_____	_____	62	63	64
G. Eczéma ou urticaire	_____	_____	_____	65	66	67
H. Fièvre des foies	_____	_____	_____	68	69	70

25. Vos parents sont-ils toujours en vie?

<u>Père</u>	<u>Mère</u>
1. oui _____	1. oui _____
2. non _____	2. non _____
3. ne sais pas _____	3. ne sais pas _____

71 72

26. Si vos parents sont morts, veuillez spécifier la cause de leur décès.

<u>Père</u> _____	73	74
<u>Mère</u> _____	75	76

27. Veuillez spécifier l'âge actuel de vos parents ou lors de leur décès.

Age de votre père

77 78

Age de votre mère

79 80

HISTOIRE PROFESSIONNELLE

CARTE 4/10

28. A. Avez-vous déjà travaillé à plein temps (30 heures par semaine ou plus pendant 6 mois ou plus)?

1. oui ___ 2. non ___

11

Si "oui" à 28A—

B. Avez-vous déjà travaillé dans un lieu poussiéreux durant un an ou plus?

1. oui ___ 2. non ___

12

Spécifiez le travail et l'industrie _____

Nombre d'années de travail _____

13 14

L'exposition à la poussière était-elle

1. légère ___ 2. modérée ___ 3. sévère ___

15

C. Avez-vous déjà été exposé à des gaz ou des fumées chimiques à votre travail?

1. oui ___ 2. non ___

16

Spécifiez le travail et l'industrie _____

Nombre d'années de travail _____

17 18

L'exposition était-elle

1. légère ___ 2. modérée ___ 3. sévère ___

19

D. Quelle était votre profession habituelle, celle que vous avez eue le plus longtemps?

1. Profession _____

2. Nombre d'années de travail dans cette profession _____

3. Poste et titre de l'emploi _____

20 21

3. Domaine ou industrie _____

E. Quel est votre travail actuel ou votre travail le plus récent?

1. Profession _____
2. Nombre d'années de travail dans cette profession _____
3. Poste et/ou titre de l'emploi _____
4. Domaine ou industrie _____
5. Exercez-vous toujours cette profession?
 1. non _____
 2. oui, à temps plein _____
 3. oui, à temps partiel _____
6. Si vous n'exercez plus cette profession, quel âge aviez-vous au moment où vous l'avez quittée? _____

22 23

29. De quand date votre dernier rhume ou grippe?

1. J'ai le rhume ou la grippe présentement _____
2. Depuis 1 à 2 semaines _____
3. Depuis 3 à 4 semaines _____
4. Depuis 5 à 6 semaines _____
5. Depuis plus de 6 semaines _____

24

25

ANNEXE IX

Questionnaire sur les habitudes tabagiques

QUESTIONNAIRE SUR LE TABAGISME

Travailleur/euse: Nom: _____

Prénom: _____

Date de naissance: ____ / ____ / ____
J M A

Sexe: ____

assurance-sociale: ____ - ____

dossier: _____

Compagnie: _____

ÉTA: _____

- 1- Fumez-vous ou avez-vous déjà fumé **RÉGULIÈREMENT**:
NON signifie moins de 20 paquets de cigarettes ou 360 grammes (12 on) de tabac ou 8 blagues de tabac durant toute la vie, ou moins d'une cigarette par jour ou moins d'un cigare par semaine, pendant 1 an.

- la cigarette
- la pipe
- le cigare ou le cigarillo

OUI

☐
☐
☐

NON

☐
☐
☐

⇒ Si NON à ces trois questions, le questionnaire se termine ici.

- 2- À quel âge avez-vous commencé à fumer **RÉGULIÈREMENT**?
- 3- Fumez-vous actuellement ou avez-vous fumé depuis 1 mois?
- 4- Combien fumez-vous présentement?
- 5- Pendant tout le temps que vous avez fumé, combien fumiez-vous en moyenne?
- 6- Est-ce que vous respirez ou respiriez la fumée?

Cigarette	Pipe	Cigare
____ ans	____ ans	____ ans
OUI - NON ⇒ Si NON, à quel âge avez-vous arrêté? ____ ans ☐ ☐		
____ cigarettes par jour	____ blagues par semaine	____ cigares par semaine
____ cigarettes par jour	____ blagues par semaine	____ cigares par semaine
pas du tout peu modérément profondément	☐ ☐ ☐ ☐	

Méthode de calcul du nombre de paquets-années

Nombre de paquets-années= No. cigarettes/jour x No. années
25 cigarettes/paquet

Interviewer: _____

Date de l'interview: ____ / ____ / ____

Protocole de surveillance environnementale de la silice cristalline

**Unité de santé au travail et santé environnementale
Santé publique Montréal-Centre**

Mars 1995



**RÉGIE RÉGIONALE
DE LA SANTÉ ET DES
SERVICES SOCIAUX
DE MONTRÉAL-CENTRE**

Direction de la santé publique

Santé au travail

Santé environnementale

Hôpital Maisonneuve-Rosemont, mandataire

Ce protocole de surveillance environnementale sur la silice a été produit par Jocelyne Forest, conseillère en hygiène industrielle avec la collaboration de Suzanne Boucher, médecin-conseil et Louise De Guire, médecin épidémiologiste.

Les personnes suivantes, que nous tenons à remercier, ont contribué de façon importante à la réalisation de ce document par leur expertise administrative, professionnelle et/ou technique:

- Louis Drouin, responsable-programme régional, Santé au travail et santé environnementale et Diane Parent, coordonnatrice régionale en santé au travail;
- Guy Perrault, chercheur-sénior et Chantal Dion, chimiste, Direction des Laboratoires de l'Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (IRSST);
- Jan Erik Deadman, hygiéniste du travail, Les services metrix;
- Francine Parent, secrétaire médicale.

De plus, nous remercions les techniciens en hygiène du travail et les hygiénistes industriels du CLSC Centre-Sud, du CLSC Côte-des-Neiges, du CLSC J.-Octave Roussin, du CLSC Lac St-Louis et du CLSC Montréal-Nord pour leur support d'expertise, notamment en ce qui a trait à l'évaluation de la faisabilité de la mise en application du protocole.

Nous désirons souligner de plus, la collaboration de Céline Lemieux et Candide Fournier de la Direction prévention-inspection de la CSST, de Rodrigue Gravel de l'IRSST, ainsi que de Claude Huneault du CLSC Côte-des-Neiges.

TABLE DES MATIÈRES

Table des matières	-iii-
Liste des tableaux	-iv-
Liste des annexes	-iv-
Résumé	-v-
1. CONTEXTE:	-1-
2. OBJECTIFS SANITAIRES	-1-
3. OBJECTIFS ENVIRONNEMENTAUX	-3-
3.1 Objectif général	-3-
3.2 Objectifs intermédiaires	-3-
3.3 Objectifs spécifiques	-4-
4. BUT DU PROTOCOLE	-5-
5. AGRESSEURS VISÉS	-5-
6. LA SILICE LIBRE ET LA SILICE COMBINÉE	-5-
6.1 Origine de différentes formes de silice libre	-6-
6.1.1 Silice cristalline	-6-
6.1.2 Silice cryptocristalline ou microcristalline	-7-
6.1.3 Silice amorphe (non-cristalline)	-8-
6.2 Processus de cristallisation et d'inversion (Parkes, 1994)	-9-
6.3 Quelques silicates d'importance industrielle souvent reliés au contexte d'exposition et d'évaluation de la silice cristalline (mica, etc.)	-11-
6.4 Les industries, procédés et opérations à risque d'exposition au quartz, à la cristobalite (et à la tridymite)	-14-
7. NORMES QUÉBÉCOISES DE LA SILICE:	-14-
7.1 Règlement sur la qualité du milieu de travail	-14-
7.2 Règlement sur la qualité du milieu de travail (1994)	-15-
8. CLIENTÈLE CIBLE DU PROTOCOLE:	-18-
9. ÉLÉMENTS DU PROTOCOLE	-19-
9.1 Identification des établissements ciblés et des travailleurs exposés à la silice	-21-

9.2	Détermination des fonctions usuelles	-21-
9.3	Classification des fonctions usuelles de l'établissement	-25-
9.4	Stratégie d'échantillonnage lors de l'évaluation quantitative de l'exposition des travailleurs	-27-
9.4.1	Priorités d'intervention et cibles	-27-
9.4.2	Scénario pour l'évaluation de l'exposition des travailleurs	-27-
9.4.3	Durée de mesure et nombre d'échantillons	-30-
9.4.4	Types de prélèvements	-31-
9.4.5	Analyse sommaire des coûts et réajustements	-32-
9.5	Instruments de mesure et étalonnage	-33-
9.6	Échantillonnage	-36-
9.7	Analyse des échantillons	-37-
9.8	Réévaluation	-40-
9.8.1	Problèmes d'échantillonnage et d'analyse	-40-
9.8.2	Problèmes de détermination des groupes homogènes et d'évaluation qualitative de l'exposition de ces groupes	-41-
9.9	Analyse des résultats et interprétation	-41-
9.10	Suivi environnemental	-44-
9.11	Surveillance et évaluation	-44-
10.	LIMITES DU PROTOCOLE ET DES DONNÉES RECUEILLIES	-45-
11.	BIBLIOGRAPHIE	-47-

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1:	Valeurs d'exposition admissibles pour la silice (1994)	-16-
Tableau 2:	Table de sélection de travailleurs d'une fonction usuelle	-30-

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1:	Info-Labo de l'IRSST No 87-05
Annexe 2:	Info-Labo de l'IRSST No 93-02
Annexe 3:	Info-Labo de l'IRSST No 86-06
Annexe 4:	Démarche de réévaluation de la silice cristalline en fonction des remarques d'analyse de l'IRSST
Annexe 5:	Info-Labo de l'IRSST No 91-03
Annexe 6:	Calcul des limites de confiance

RÉSUMÉ

La surveillance environnementale des travailleurs exposés à la silice cristalline s'inscrit dans un programme régional de réduction des niveaux d'exposition sous les normes québécoises. Le protocole développé vise à maximiser l'identification des travailleurs hors-normes afin de fournir des données environnementales qui supportent les actions locales et régionales de promotion et/ou de prévention par le contrôle des sources d'exposition en milieu de travail.

La démarche d'évaluation environnementale du quartz, de la cristobalite et de la tridymite cible les établissements des groupes prioritaires et s'il y a lieu, ceux de secteurs industriels qui seront désignés, de la région de Montréal-Centre.

Les points saillants de la démarche retenue sont les suivants:

- La présence de silice cristalline est recherchée dans les établissements en se basant sur les données de la littérature concernant les secteurs, les procédés et les opérations à risque.
- Les travailleurs potentiellement exposés sont regroupés par fonction usuelle associée à la notion de groupe homogène.
- La confirmation de la présence de silice cristalline et l'estimation des niveaux d'exposition des fonctions usuelles à risque provient des données accumulées au dossier de l'établissement et/ou d'une étude exploratoire selon le cas.
- Une priorisation des fonctions est réalisée selon le type de risque, soit le risque de silicose aiguë ou accélérée d'une part et le risque de silicose chronique d'autre part. Le nombre de journées à échantillonner est fonction de ces paramètres; ainsi l'évaluation de l'exposition des travailleurs à risque de silicose aiguë ou

accélérée est répétée lors d'une deuxième campagne de mesure au cours de l'année.

- Le scénario d'échantillonnage privilégié est le scénario d'exposition maximale ("worst case"). Le nombre de travailleurs à risque maximum à considérer pour une fonction donnée varie de un à trois, selon le niveau d'exposition estimé pour le groupe et ce, en s'assurant d'évaluer au moins 10% des travailleurs de la fonction. Lorsqu'il est impossible de déterminer les travailleurs à risque maximum ou que le nombre de travailleurs de la fonction est élevé (supérieur à 50), le choix du nombre de travailleurs à évaluer est fait à partir d'une table de sélection.
- La procédure d'étalonnage et le calcul des débits d'échantillonnage sont rigoureux. La durée minimale d'échantillonnage et le volume d'air prélevé sont fixés respectivement à 70% du quart de travail et à 800-1000 litres de façon à garantir le plus possible des résultats valides; les échantillons sont recueillis dans la zone respiratoire des travailleurs.
- Les limites des résultats d'analyse et/ou la non-concordance des résultats avec l'estimation initiale donnent lieu lorsque nécessaire à une réévaluation de certains travailleurs.
- Les résultats des mesures sont discutés et interprétés en fonction du contexte stratégique et technique.
- Un suivi environnemental des travailleurs hors-normes et possiblement hors-normes est effectué en suivant les procédures du protocole.

PROTOCOLE DE SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE DE LA SILICE CRISTALLINE

1. CONTEXTE

Les orientations de la région de Montréal-Centre visent pour certains contaminants dont la silice cristalline l'adoption de stratégies d'intervention efficaces pour prévenir les problèmes de santé par une réduction à la source des contaminants en milieu de travail. Le protocole développé pour la surveillance environnementale de la silice cristalline doit maximiser l'identification des travailleurs surexposés par rapport aux normes québécoises de façon à supporter les actions pour prévenir l'apparition de cas de silicose. Les mesures environnementales recueillies visent principalement à amener les milieux de travail au contrôle des sources d'exposition. Régionalement, les données doivent servir à estimer l'ampleur et la gravité des expositions à ce contaminant; en outre, les données recueillies doivent supporter les démarches régionales auprès de la CSST prévention-inspection pour les établissements difficiles à impliquer au niveau de la prise en charge des activités de contrôle.

Compte tenu des ressources disponibles, les interventions retenues ne visent pas à établir un portrait statistiquement représentatif de l'exposition des travailleurs hors-normes à des fins de surveillance épidémiologique; cependant la surveillance de groupes cibles identifiés n'est pas exclue lors d'étapes ultérieures à l'analyse des données du répertoire régional.

2. OBJECTIFS SANITAIRES

Les objectifs généraux du programme de prévention de la silicose à Montréal-Centre sont:

"D'ici 40 ans, réduire à zéro l'incidence de silicose chronique originant des établissements de Montréal-Centre".

"D'ici 10 ans, réduire à zéro l'incidence de silicose accélérée originant des établissements de Montréal-Centre".

Objectif spécifique

"D'ici trois ans, réduire à zéro le nombre de travailleurs des secteurs prioritaires et des secteurs désignés exposés à des concentrations de silice cristalline dépassant les valeurs d'exposition admissibles (VEA) au Québec".

Indicateurs de résultats: nombre et taux de travailleurs hors-normes, possiblement hors-normes et jugés hors-normes

Définition de travailleurs exposés à des concentrations de silice: travailleurs dont l'exposition est associée à la concentration de silice rencontrée dans l'air au niveau de la zone respiratoire à l'extérieur des équipements de protection individuels, sauf dans le cas des cagoules à adduction d'air lorsque leur utilisation est justifiée par règlement.

Définition de travailleur hors-norme: travailleur dont l'exposition quotidienne mesurée a dépassé la valeur d'exposition admissible du RQMT durant un quart de travail pendant l'année, avec une limite de confiance inférieure qui est égale ou supérieure à cette valeur.

Définition de travailleur possiblement hors-norme: travailleur dont l'exposition quotidienne mesurée a été inférieure à la valeur d'exposition admissible du RQMT mais avec une limite de confiance supérieure égale ou supérieure à cette valeur; également travailleur dont l'exposition quotidienne mesurée a été supérieure à la valeur d'exposition admissible du RQMT mais avec une limite de confiance inférieure égale ou inférieure

à cette valeur.

Définition de travailleur jugé hors-norme: travailleur d'une fonction usuelle (correspondant à un groupe homogène) auquel on attribue, suite à une analyse des données qualitatives ainsi que des résultats de mesure sur un autre travailleur du groupe, une exposition quotidienne dépassant la valeur d'exposition admissible du RQMT durant un quart de travail pendant l'année.

3. OBJECTIFS ENVIRONNEMENTAUX

3.1 Objectif général

Fournir des données environnementales sur l'exposition des travailleurs à la silice cristalline qui supportent la démarche de réduction à la source de l'exposition des travailleurs à des valeurs inférieures aux normes et qui permettent également l'évaluation de l'impact des interventions (diminution du nombre et du taux de travailleurs hors-normes, possiblement hors-normes et jugés hors-normes).

3.2 Objectifs intermédiaires

3.2.1 Évaluer l'exposition des travailleurs à la silice cristalline de façon à ce que les données environnementales générées soient suffisamment fiables pour supporter les actions et stratégies de promotion et/ou de prévention pour le contrôle à la source par le milieu de travail des expositions hors-normes, possiblement hors-normes et jugées hors-normes afin de prévenir l'apparition de cas de silicose.

3.2.2 Évaluer l'exposition à la silice cristalline des travailleurs de façon à ce que les données environnementales générées soient le plus valides et standardisées possible afin de permettre leur agrégation sur une base régionale.

3.2.3 Répertorier sur une base locale et régionale les travailleurs, les fonctions et les établissements où l'on rencontre des expositions à la silice cristalline supérieures, possiblement supérieures ou jugées supérieures aux normes avant la mise en place de mesures correctrices et à partir de ces données estimer l'ampleur du problème d'exposition des travailleurs de la région de Montréal-Centre.

3.2.4 Réévaluer l'exposition des travailleurs hors-normes et possiblement hors-normes après une période permettant la mise en place des mesures de contrôle.

3.2.5 Mettre à jour le répertoire des travailleurs et évaluer l'impact des interventions en terme de réduction des surexpositions à la silice cristalline.

3.3 Objectifs spécifiques

3.3.1 Identifier les établissements et les fonctions où l'on rencontre des travailleurs exposés à la silice.

3.3.2 Évaluer l'exposition à la silice cristalline (quartz, cristobalite et tridymite) des travailleurs, conformément au protocole.

3.3.3 À l'aide des données d'exposition recueillies, supporter les activités locales de promotion et de prévention.

3.3.4 Consolider un répertoire régional des travailleurs hors-normes, possiblement hors-normes et jugés hors-normes et réaliser certaines analyses descriptives afin de caractériser ces milieux de travail en terme de sévérité des expositions rencontrées, secteurs industriels et fonctions à risque.

3.3.5 Établir une liste régionale pour supporter les démarches régionales auprès de la

CSST prévention-inspection pour les travailleurs hors-normes.

3.3.6 Réévaluer les travailleurs surexposés à la silice cristalline, en suivant les mêmes procédures (mettre à jour le répertoire), et évaluer le degré d'atteinte de l'objectif sanitaire du programme.

4. BUT DU PROTOCOLE

Dans le cadre des interventions locales et régionales sur la silice cristalline, fournir aux intervenants des lignes directrices précises et applicables pour supporter la collecte et l'interprétation de données environnementales les plus valides, standardisées et conformes aux objectifs poursuivis et ce, aux meilleurs coûts-bénéfices.

5. AGRESSEURS VISÉS

Le protocole porte sur l'évaluation des trois formes de silice cristalline réglementées au Québec pour lesquelles les Laboratoires de l'Institut de recherche en santé et sécurité du travail du Québec (IRSST) nous fournissent une méthode spécifique d'échantillonnage et d'analyse: le quartz, la cristobalite et la tridymite. Les autres formes de silice cristalline et la silice amorphe ne sont pas visés par l'application du protocole.

6. LA SILICE LIBRE ET LA SILICE COMBINÉE

Dans la nature, la silice libre est formée par la combinaison du silicium avec l'oxygène pour constituer un oxyde disposé en une unité tétraédrique d'un atome de silicium au centre entouré de quatre atomes d'oxygène aux quatre coins (SiO_4). Comme ce tétraèdre est joint à d'autres par des atomes d'oxygène mis en commun, la formule stoechiométrique est SiO_2 .

La silice libre est le constituant majeur de la croûte terrestre. Elle existe sous trois

formes principales, la forme cristalline, cryptocristalline (microcristalline) et amorphe (non-cristalline).

La silice (SiO_2) peut être combinée avec des cations métalliques (aluminium, calcium, fer, magnésium et potassium) pour former des silicates; ainsi lorsque les tétraèdres sont liés à un ou plusieurs oxydes métalliques par des chaînes $-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-$, la silice est dite "combinée". Les silicates minéraux constituent avec la silice libre la majeure partie de la croûte terrestre. L'amiante, le mica, le talc, l'argile et l'ardoise se retrouvent parmi les silicates les plus connus dans le domaine industriel. Différents polymorphes de la silice cristalline et silicates sont documentés ci-après.

6.1 Origine de différentes formes de silice libre

6.1.1 Silice cristalline

Les atomes de silicium et d'oxygène de la silice cristalline ont un arrangement régulier ce qui détermine la formation de cristaux ayant une forme géométrique définie. Il existe six polymorphes naturels de la silice cristalline: le quartz, la cristobalite, la tridymite, la keatite, la coesite et la stishovite. Les trois dernières formes sont généralement rencontrées dans les cratères de météorites puisqu'elles sont formées sous des conditions de pression et température très élevées (Parkes, 1994). Les applications commerciales et industrielles concernent le quartz et la cristobalite.

Quartz

Le quartz est le plus abondant des polymorphes; il est présent dans de nombreuses roches. Par exemple, il constitue le sable de la plupart des plages. De même, le grès est formé de grains de quartz agglomérés avec des argiles alors que le granite est un mélange de quartz, de feldspaths et de micas en granules imbriqués (BIT, 1974).

Cristobalite

La cristobalite se rencontre naturellement dans certaines laves et verres (glassés). La bentonite (bentonite clay) est une argile provenant de cendres volcaniques; la bentonite de l'ouest des États-Unis contient fréquemment de la cristobalite. Cette dernière peut aussi être formée lorsque le quartz ou la silice amorphe est chauffée en laboratoire ou dans certains procédés industriels (Parkes, 1994). Par exemple, la formation de cristobalite à haute température a lieu lors de la calcination de terre diatomée, dans l'industrie des briques de silice et dans les céramiques réfractaires.

Tridymite

La tridymite serait rencontrée dans la nature uniquement dans les roches volcaniques acides. Dans l'industrie, elle pourrait être trouvée en association avec la cristobalite provenant du chauffage du quartz, de la terre diatomée ou de la silice amorphe (ACGIH, 1991). Notons qu'actuellement, les scientifiques auraient des doutes quant à sa présence dans les poussières industrielles.

6.1.2 Silice cryptocristalline ou microcristalline

La silice cryptocristalline ou microcristalline est composée de minuscules cristaux disposés sans orientation régulière les uns par rapport aux autres (BIT, 1974).

Calcedoine (chalcedony), silex (flint), chert, jaspe (jasper)

La silice calcédonique réfère à un groupe de minéraux qui originent de la déposition de squelettes d'animaux marins dont les principales variétés sont la calcédoine, le silex, le chert et le jaspe. Dans ces roches, les cristaux microscopiques sont liés avec de la silice amorphe (Parkes, 1994).

La calcédoine est une roche microcristalline qui remplit les cavités des roches volcaniques. Elle est également associée au silex. Elle peut se former dans certaines conditions de température lors de la cuisson des céramiques lorsque le quartz contenu

dans les silicates se cristallise en de minuscules cristaux (BIT, 1974).

Toutes ces variétés peuvent subir une transformation en cristobalite entre 1200 et 1400°C; le taux de transformation du silex et du chert est plus élevé que celui du quartz (Parkes, 1994).

Tripoli

Le tripoli est une forme naturelle microcristalline du quartz qui se présente en fines particules de 1 à 10 μm de diamètre contenant plus de 89% de silice. Il originerait de la déposition de conglomérats (fragments arrachés à des roches puis agglomérés) avec le calcaire (limestone) qui se serait dissous laissant un minéral très poreux (ACGIH, 1991).

La plupart des réserves mondiales proviennent de mines des États-Unis. Le tripoli ne doit pas être confondu avec la tripolite, une forme de terre diatomée extraite près de Tripoli en Afrique du Nord (ACGIH, 1991).

6.1.3 Silice amorphe (non-cristalline)

La position non régulière des molécules dans l'espace caractérise la silice amorphe; l'arrangement est quelconque dans ce type de silice (BIT, 1974).

Terre diatomée

La terre diatomée ou kieselguhr est la forme de silice amorphe la plus importante associée à des maladies pulmonaires. Elle origine des squelettes de diatomées qui sont des algues unicellulaires microscopiques.

Une cristallisation à différents stades peut être rencontrée dans les dépôts anciens. Entre 1000 et 1723°C, une conversion en cristobalite peut avoir lieu. La conversion en tridymite n'a pas été mise en évidence entre 867 et 1470°C lorsque la silice amorphe

est à l'état pur et sec, cependant en présence d'eau ou de flux, la tridymite pourrait être formée à ces températures. De même, à plus basse température, la cristobalite pourrait être générée en présence de flux. (Parkes, 1994)

Silice amorphe, gel et précipité

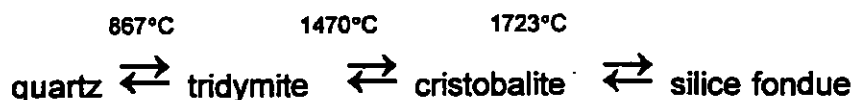
Ces formes de silice amorphe sont produites industriellement par différentes méthodes; dans certaines opérations, les produits silicieux sont chauffés dans des fourneaux. On peut aussi fabriquer de la silice amorphe, précipité ou synthétique en déshydratant du silicate de sodium en utilisant un alcool, ou par combustion du silicate d'éthyle ou encore en brûlant dans l'air du tétrachlorure de silicium (ACGIH, 1991).

Silice fondue (ou silice vitreuse)

La silice fondue ou vitreuse est obtenue lorsque l'un ou l'autre des polymorphes de la silice est fondu (ce qui implique d'atteindre des températures supérieures à 1723°C) puis refroidi rapidement. Elle est alors stable sauf si elle est chauffée à des températures supérieures à 1150°C pendant une longue période comme c'est le cas pour les réfractaires; dans ces conditions, elle se dévitrifie ou recristallise en cristobalite. (Parkes, 1994)

6.2 Processus de cristallisation et d'inversion (Parkes, 1994)

Tel que mentionné précédemment, lorsque certaines conditions de température à des durées données se présentent en laboratoire ou en industrie, les polymorphes de la silice peuvent se transformer; ces transformations peuvent être réversibles. Ainsi:



À pression constante, le α -quartz est stable du zéro absolu à 573°C; entre 573 et 867°C, il se convertit en β -quartz également stable si la température est constante et uniforme

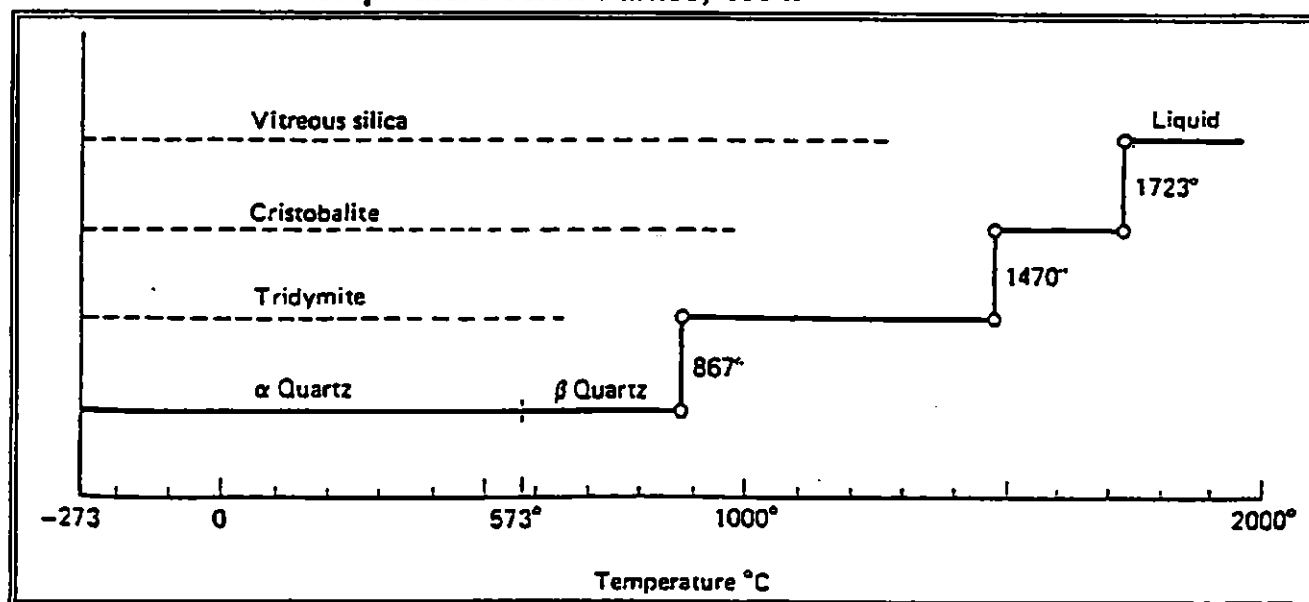
à pression atmosphérique.

Si la température est augmentée entre 867 et 1470°C durant une brève période, le quartz pur se transformerait le plus souvent en cristobalite sans former de tridymite; cette dernière serait rencontrée sous une forme stable seulement si une température inférieure à 1470°C serait maintenue ou encore si on était en présence de certains flux (CaO , Al_2O_3).

La formation de cristobalite à pression atmosphérique a lieu entre 1470 et 1723°C. En maintenant la température dans cet intervalle, ce polymorphe est stable. La cristobalite peut aussi être formée à température plus faible (entre 867 et 1470°C) mais à ces températures elle est métastable c'est-à-dire qu'elle pourrait se transformer en tridymite stable. Le point de fusion de la cristobalite est 1723°C où elle se convertit en silice fondue.

Ce phénomène de cristallisation et d'inversion est illustré au graphique 1.

Graphique 1: Classification des polymorphes de la silice en fonction de la température selon Parkes, 1994.



6.3 Quelques silicates d'importance industrielle souvent reliés au contexte d'exposition et d'évaluation de la silice cristalline (mica, etc.)

L'exposition des travailleurs à la silice cristalline est souvent concomitante à l'exposition à certains silicates. En effet, la silice cristalline et les silicates sont souvent utilisés comme matières premières dans plusieurs secteurs et procédés industriels. De plus, les silicates peuvent dans certains cas être contaminés par la silice cristalline.

La présence de silicates peut rendre l'analyse des échantillons de silice plus complexe en causant des interférences; à cet effet, la méthode d'analyse inclue une étape de vérification de la faisabilité analytique.

Micas

Les micas sont un groupe de minéraux à clivage facile leur donnant un aspect feuilleté lorsque cassés. La muscovite ou mica blanc est un silicate d'aluminium et de potassium. La biotite ou mica noir est un silicate de fer, de magnésium et de potassium (BIT, 1974).

Les feuilles de micas sont surtout utilisées comme isolant électrique dans une variété de produits (tubes à vide, condensateur dans l'industrie électronique, etc.). Le mica en flocons ou en poudre sert au forage des puits de pétrole, dans la fabrication de feutre bituminé pour le recouvrement de toiture, dans le recouvrement protecteur de câbles et de baguettes de soudage, comme agent de charge d'asphaltes, de ciments, de plastiques acoustiques, de peintures et autres matériaux décoratifs (Parkes, 1994).

De plus, le mica se rencontre dans certaines variétés de kaolin (ex: Cornish kaolin) en fonction de son origine (certains états de l'est des États-Unis). Le kaolin a plusieurs applications dans l'industrie dont l'industrie du papier, de la céramique, de la poterie, de la porcelaine.

Notons que lors de l'analyse d'échantillons de silice cristalline recueillis à des postes de travail où l'on rencontre également des poussières respirables de micas, des interférences causées par le mica au niveau de la raie principale du quartz pourront être rencontrées.

Bentonite

La bentonite est une argile provenant de cendres volcaniques qui contient au moins 85% de montmorillonite. De plus, toutes les bentonites ont des impuretés dont la nature et la quantité varient selon l'origine des argiles; la kaolinite, la cristobalite et d'autres formes de silice cristalline peuvent ainsi être rencontrées. Par exemple, la bentonite trouvée dans le Wyoming contient 1 à 23% de silice cristalline. (Parkes, 1994)

Les utilisations majeures de la bentonite concernent entre autres, l'industrie des céramiques, les fonderies (liant des sables), l'industrie des pesticides (insecticides, fongicides), des cosmétiques, des agents de filtration (clarification des vins) et des adsorbants.

La montmorillonite est une autre des substances qui interfère avec le quartz lors des analyses de silice cristalline.

Talc

Le talc se rencontre généralement en association avec les serpentines et les schistes. C'est un silicate de magnésium hydraté qui se présente sous des formes diverses (flocons, granules, "fibres courtes"). Plusieurs contaminants peuvent être associés au talc dans des proportions qui peuvent être importantes selon la qualité du produit. Le quartz peut être rencontré à des niveaux très variables (de négligeable à 20%) (Parkes, 1994).

Le talc sert à la fabrication de fours et de poteries; il peut aussi être employé dans la fabrication des cosmétiques comme charge et lubrifiant sec.

Feldspaths

Ce sont des minéraux à structure lamelleuse composés de silicate d'aluminium anhydre double de potassium ou sodium ou calcium ou plusieurs combinaisons des trois. On distingue les feldspaths orthoclases riches en potassium généralement rencontrés dans des roches acides. Les feldspaths plagioclases qui contiennent du sodium se rencontrent également dans les roches acides avec les orthoclases alors que les plagioclases qui contiennent du calcium sont associés aux roches basiques. Il est à noter que plus les roches sont acides plus elles sont riches en silice libre. Ainsi les orthoclases les plus acides contiennent des quantités importantes de quartz (30%) tandis que les plus basiques en contiennent peu ou pas. (Parkes, 1994)

Les feldspaths qui sont utilisés pour la fabrication des céramiques sont riches en silice et sont connus comme une cause importante de silicose (Parkes, 1994).

Ces minéraux peuvent également interférer avec la raie principale du quartz, si présents en phase majeure lors de l'analyse des échantillons en diffractométrie des rayons X.

Ardoise (slate)

L'ardoise est une roche, argile ou vase sédimentaire devenue compacte suite à une compression et dont le clivage est facile. Généralement, son contenu en quartz est élevé, soit de l'ordre de 30 à 45 % du poids. Lors de la fabrication de poudres, on observe une perte de silice cristalline de telle sorte que ces dernières peuvent avoir une teneur de 25 à 30% de quartz (Parkes, 1994).

Dans l'industrie, l'ardoise est utilisée dans le bâtiment pour les toitures, les marches, les dalles, etc. Les tables de billard et tableaux scolaires peuvent également être en ardoise. Les poudres d'ardoise peuvent être pulvérisées comme matériau de remplissage ou ajoutées aux vernis antirouille, peintures isolantes, stucs et substances bitumineuses de revêtement des routes.

6.4 Les industries, procédés et opérations à risque d'exposition au quartz, à la cristobalite (et à la tridymite)

Des informations détaillées sur certains secteurs industriels, procédés et opérations à risque sont présentées dans la troisième édition de "Occupational Lung Disorders" de W.R. Parkes (1994).

De plus, les "Lignes directrices de surveillance médicale des travailleurs exposés à la silice cristalline" (1995), complètent ces informations avec un tableau-synthèse basé sur une revue de la littérature.

7. NORMES QUÉBÉCOISES DE LA SILICE

7.1 Règlement sur la qualité du milieu de travail (1990)

Six différentes formes de silice apparaissaient dans le Règlement sur la qualité du milieu de travail (L.R.Q., c. S-2.1, r. 15) de 1990: le quartz cristallin (sec), la silice fondue, le tripoli, la cristobalite, la tridymite et la silice amorphe.

Ce Règlement sur la qualité du milieu de travail définissait la valeur concentration moyenne admissible à une poussière contenant plus de 1% de quartz à partir du calcul suivant:

$$\text{concentration moyenne admissible (mg/m}^3 \text{ en poussière respirable)} = \frac{10 \text{ mg/m}^3}{(\% \text{ quartz respirable} + 2)}$$

La concentration des poussières respirables évaluée était comparée à cette valeur calculée.

Les concentrations moyennes admissibles de la silice fondue et du tripoli étaient

déterminées de la même façon que la concentration moyenne du quartz. Pour la cristobalite et la tridymite, les concentrations moyennes étaient égales à la moitié de la concentration moyenne du quartz. Enfin, une concentration moyenne de 20 m.p.p.c. était associée à la silice amorphe.

7.2 Règlement sur la qualité du milieu de travail (1994)

Les valeurs d'exposition admissibles des contaminants chimiques de l'annexe A du RQMT (1990) ainsi que certains articles ont été revues. Les valeurs pour la silice présentées au tableau 1 ont été approuvées par le gouvernement dans le Règlement modifiant le Règlement sur la qualité du milieu de travail, publié le 7 septembre 1994 dans la Gazette officielle.

Le nouveau règlement (RQMT 1994) est en vigueur depuis le 22 septembre 1994. Il n'inclut pas les articles 3 et 8, du paragraphe 3° de l'article 9 et de l'article 10 (donc de l'annexe A) du Règlement modifiant le Règlement sur la qualité du milieu de travail qui entreront en vigueur après une période d'un an.

Tableau 1: Valeurs d'exposition admissibles pour la silice (1994)

Substance	[# CAS]	Valeur d'exposition moyenne pondérée sur 8 heures (mg/m ³)	Valeur d'exposition de courte durée 15 min. (mg/m ³)	Remarque
				Peau/Cancérogène
Silice amorphe, gel	[63231-67-4]	6		[poussière totale, note 1]
Silice amorphe, précipité	[1343-98-2]	6		[poussière totale, note 1]
Silice amorphe, terre diatomée (non calcinée)	[61790-53-2]	6		[poussière totale, note 1]
Silice cristalline, cristobalite	[14464-46-1]	0,05		[poussière respirable]
Silice cristalline, fondue	[60676-86-0]	0,1		[poussière respirable]
Silice cristalline, quartz	[14808-60-7]	0,1		[poussière respirable] C2 note 2
Silice cristalline, tridymite	[15468-32-3]	0,05		[poussière respirable]
Silice cristalline, tripoli	[1317-95-9]	0,1		[poussière respirable]

Note 1: La norme correspond à la poussière ne contenant pas d'amiante et dont le % de silice cristalline est < 1%

Note 2: C2: Effet cancérogène soupçonné chez l'humain.

Pour le quartz, la cristobalite et la tridymite, les modifications adoptées dans l'annexe A (en vigueur le 22 septembre 1995) ne constituent pas une révision importante sur une base toxicologique, des valeurs réglementées (par exemple une poussière contenant 100% de quartz correspondait à une concentration moyenne permise de 0,098 mg/m³ selon le RQMT 1990) mais plutôt à une conversion dans le format utilisé pour les autres poussières toxiques c'est-à-dire en mg/m³ (Dion, 1994). Les résultats des mesures de quartz, de cristobalite et de tridymite sont présentés dans ces unités au niveau des rapports d'analyse de l'IRSST soit en mg/m³ de quartz (cristobalite ou tridymite) respirable et en mg/m³ de poussières respirables.

Dans le cas des équipements de protection personnels, les exigences ont été mises à jour dans l'article 8 (en vigueur le 22 septembre 1994) du nouveau Règlement. Ainsi, l'équipement choisi doit être énuméré dans la NIOSH Certified Equipment List du 30

l'équipement choisi doit être énuméré dans la NIOSH Certified Equipment List du 30 septembre 1993 publiée par le National Institute for Occupational Safety and Health. De plus, l'équipement de protection respiratoire doit être choisi, ajusté et entretenu conformément à la norme CSA Z94.4-93 "Choix, entretien et utilisation des respirateurs".

Cependant, l'application de ces mesures de protection individuelle n'a pas été modifiée et concerne:

- les cas où la technologie existante ne permet pas de respecter les normes;
- les cas de travaux d'entretien, d'inspection ou de réparation hors atelier ou de transport dans des endroits où les normes ne sont pas respectées;
- les situations qui précèdent la mise en place de mesures de contrôle.

Dans le cas particulier d'un travailleur exposé à la poussière du nettoyage par jet d'abrasif, l'exploitant de l'établissement doit s'assurer conformément à l'article 20 du RQMT (1994), qu'il porte une cagoule de sablage à adduction d'air, des gants, des jambières et un vêtement de protection contre les projections d'abrasifs et de métaux.

Les modifications qui ont trait à la silice amorphe (annexe A) se limitent à distinguer la silice amorphe, gel et précipité ainsi que la terre diatomée (non calcinée); en effet, la nouvelle valeur de 6 mg/m³ en poussière totale pour ces formes de silice serait équivalente à 20 m.p.p.c.

Par contre dans les modifications adoptées, le quartz est identifié comme substance à effet cancérigène soupçonné chez l'humain (partie V de l'annexe A) et à ce titre l'employeur doit s'assurer de réduire l'exposition d'un travailleur au minimum, même lorsque son exposition demeure en deçà des normes (article 3 en vigueur le 22 septembre 1995).

Également, le nouveau règlement prévoit des limites d'excursion pour toutes les substances n'ayant pas de valeur d'exposition de courte durée (concentration maximale

sur 15 minutes). Ainsi, si la valeur d'exposition admissible est respectée pour un travailleur, les excursions ne peuvent excéder 3 fois cette valeur pour une durée cumulative supérieure à 30 minutes et ne peuvent excéder 5 fois cette valeur pour quelque durée que ce soit (Annexe A, 3); en vigueur le 22 septembre 1995). Mentionnons que ces limites d'excursions s'appliquent à la silice cristalline même dans les conditions d'exposition où la méthode d'échantillonnage et d'analyse spécifique à ces contaminants n'est pas assez sensible pour démontrer des niveaux d'exposition supérieurs aux valeurs admissibles.

Il est à noter que la silice fondue est classée au Québec (RQMT, 1994) comme une forme cristalline de la silice (en se basant sur la définition de l'Organisation mondiale de la santé) avec une VEA de $0,1 \text{ mg/m}^3$ alors que les recommandations de l'ACGIH 1993-1994 ont adopté un TWA-8heures de $0,1 \text{ mg/m}^3$ tout en classant la silice fondue comme une forme de silice amorphe.

8. CLIENTÈLE CIBLE DU PROTOCOLE

Le protocole de surveillance environnemental doit être mis en application dans les établissements et les secteurs désignés au niveau du programme de prévention de la silicose.

Il doit être mis en application en 1995 par les intervenants en hygiène des CLSC de Montréal-Centre dans tous les établissements des groupes I à III suivis pour la silice dans les programmes de santé (estimé en juin 1993, à 39 établissements avec 2438 travailleurs au total, excluant BTP). De plus, des postes de sablage au jet de sable doivent être évalués par le CLSC Centre-Sud dans certains établissements du secteur BTP.

9. ÉLÉMENTS DU PROTOCOLE

Le protocole décrit de façon détaillée plusieurs éléments reliés à l'identification des établissements ciblés et des travailleurs exposés à la silice, la détermination des fonctions usuelles et leur classification, la stratégie d'échantillonnage, l'analyse des échantillons, la réévaluation de certaines fonctions, l'analyse des résultats et leur interprétation, les recommandations, le suivi environnemental, la surveillance environnementale et l'évaluation de la démarche. Un arbre décisionnel résumant des points saillants de la procédure apparaît à la page suivante.

PROCÉDURES D'ÉVALUATION

Identification des établissements visés et des travailleurs exposés à la silice

Détermination des fonctions usuelles¹ à l'exposition à la silice avec pour chacune de ces fonctions:

Identification des formes de silice cristalline rencontrées

Profil d'exposition (h/j/s/an)²

Évaluation qualitative selon 4 classes³: TF F M E

Pour ce faire, collecte si nécessaire de quelques échantillons d'air (ex: poste source), échantillons de procédé et poussières sédimentées pour objectiver la présence et la forme de silice et vérifier la faisabilité analytique.

Priorisation des établissements et des fonctions usuelles selon le niveau de risque potentiel

Évaluation quantitative de l'exposition des travailleurs des fonctions usuelles par ordre décroissant de risque potentiel (de 1 puis 2 ensuite 3).

1	2	3
Risque de silicose aiguë ou accélérée Exposition massive aux poussières respirables (de l'ordre de 3 x norme ou plus), sablage au jet de sable, utilisation de farines de silice, creusage de tunnel.	Risque de silicose chronique	
Évaluation des fonctions à exposition jugée E et même si jugée M ou F.	Évaluation des fonctions à exposition estimée F M ou E à la cristoballite ou à la tridymite et à exposition jugée E au quartz	Évaluation des fonctions à exposition jugée M et F au quartz
1. Journées de mesures choisies pour correspondre aux pires conditions ie. à l'exposition maximale normale et/ou liée à des tâches polluantes particulières. 2. Évaluation de l'exposition d'un ou de travailleur(s) de la fonction spécifique ou le(s) plus exposé(s), en s'assurant d'évaluer au total au moins 10% des travailleurs de la fonction. 3. Si la fonction spécifique est estimée à exposition F → choix d' 1 travailleur M → choix de 2 travailleurs E → choix de 3 travailleurs 4. Si impossible de déterminer, le(s) travailleur(s) le(s) plus exposé(s) ou si nombre de travailleurs est élevé, choix selon la table⁴ et choisir les travailleurs au hasard. 5. Évaluation répétée sur une autre journée séparée d'au moins 3 semaines, sauf si 1 ou plusieurs travailleurs hors-normes lors de l'intervention initiale.	1. Journée de mesure choisie pour correspondre aux pires conditions ie. à l'exposition maximale normale et/ou liée à des tâches polluantes particulières. 2. Échantillonnage d'un ou de travailleur(s) de la fonction spécifique jugé(s) le(s) plus exposé(s), en s'assurant d'évaluer au total au moins 10% des travailleurs de la fonction. 3. Si la fonction spécifique est estimée à exposition F → choix d' 1 travailleur M → choix de 2 travailleurs E → choix de 3 travailleurs 4. Si impossible de déterminer, le(s) travailleur(s) le(s) plus exposé(s) ou si le nombre de travailleurs est élevé choix selon la table⁴ et choisir les travailleurs au hasard. 5. Évaluation sur une seule journée.	

Réévaluation de certaines fonctions à cause de problèmes rencontrés.

Calcul de la limite de confiance inférieure ou supérieure de chaque TWA-8hrs lorsque pertinent pour identifier une surexposition possible

Si 1 ou plusieurs TWA-8 hrs $\geq N$ ou possiblement $\geq N$ ou jugés $\geq N$ avis au médecin responsable

Rapport environnemental et recommandations

Suivi environnemental des fonctions hors-normes, possiblement hors-normes et jugées hors-normes après 3 ans.

¹ Fonction usuelle: correspond à un groupe homogène d'employés qui travaillent dans des conditions similaires (similitude de travail, similitude d'environnement en terme de procédé, phase de fabrication, ventilation, etc...) et pour lesquels l'exposition devrait être similaire.

² (h/j/s/an): heures par jour, jours par semaine, semaines par année

³ TF: $< 0,1 N$ F: $0,1 N \leq x < 0,5 N$ M: $0,5 N \leq x < N$ E: $\geq N$ où N= VEA

⁴ Table: 20% plus exposé avec probabilité de 90%.

PROCÉDURES D'ÉVALUATION

Identification des établissements visés et des travailleurs exposés à la silice

Détermination des fonctions usuelles¹ à l'exposition à la silice avec pour chacune de ces fonctions:

Identification des formes de silice cristalline rencontrées

Profil d'exposition (h/j j/s s/a)²

Évaluation qualitative selon 4 classes³: TF F M E

Pour ce faire, collecte si nécessaire de quelques échantillons d'air (ex: poste source), échantillons de procédé et poussières sédimentées pour objectiver la présence et la forme de silice et vérifier la faisabilité analytique.

Priorisation des établissements et des fonctions usuelles selon le niveau de risque potentiel

Évaluation quantitative de l'exposition des travailleurs des fonctions usuelles par ordre décroissant de risque potentiel (de 1 puis 2 ensuite 3).

1	2	3
Risque de silicose aiguë ou accélérée Exposition massive aux poussières respirables (de l'ordre de 3 x norme ou plus), sablage au jet de sable, utilisation de farine de silice, creusage de tunnel.	Risque de silicose chronique	
Évaluation des fonctions à exposition jugée E et même si jugée M ou F.	Évaluation des fonctions à exposition estimée F M ou E à la cristobalite ou à la tridymite et à exposition jugée E au quartz	Évaluation des fonctions à exposition jugée M et F au quartz
1. Journées de mesures choisies pour correspondre aux pires conditions ie expositions maximales normales et/ou liées à des tâches polluantes particulières. 2. Évaluation de l'exposition d'un ou de travailleur(s) de la fonction spécifique ou le(s) plus exposé(s), en s'assurant d'évaluer au total au moins 10% des travailleurs de la fonction. 3. Si la fonction spécifique est estimée à exposition F → choix d' 1 travailleur M → choix de 2 travailleurs E → choix de 3 travailleurs 4. Si impossible de déterminer, le(s) travailleur(s) le(s) plus exposé(s) ou si nombre de tr 5. Évaluation répétée sur moins 3 semaines, normes lors de l'	1. Journée de mesure choisie pour correspondre aux pires conditions i.e. à l'exposition maximale normale et/ou liée à des tâches polluantes particulières. 2. Échantillonnage d'un ou de travailleur(s) de la fonction spécifique jugé(s) le(s) plus exposé(s), en s'assurant d'évaluer au total au moins 10% des travailleurs de la fonction. 3. Si la fonction spécifique est estimée à exposition F → choix d' 1 travailleur M → choix de 2 travailleurs E → choix de 3 travailleurs 4. Si impossible de déterminer, le(s) travailleur(s) le(s) plus exposé(s) ou si le nombre de travailleurs est élevé choix selon la table⁴ et	

Table: 20%

9.1 Identification des établissements ciblés et des travailleurs exposés à la silice

La présence de silice cristalline est recherchée dans les établissements ciblés au niveau du programme de prévention de la silicose pour l'application du protocole. L'exposition des travailleurs peut être associée à:

- la fabrication ou l'utilisation de produits et/ou de matériaux contenant de la silice cristalline
- l'utilisation de silice amorphe dont un pourcentage peut être transformé en silice cristalline en cours de procédé (ex: la silice fondue peut donner lieu à la formation de cristobalite lorsque chauffée à très haute température).
- l'utilisation de silice amorphe contaminée par de la silice cristalline à un pourcentage supérieur à 1% (ex: la silice amorphe terre diatomée non calcinée dont une partie des squelettes de diatomés ont été transformés en cristobalite sous l'effet de hautes températures et pressions).
- certaines activités reliées à la présence de silice cristalline (ex: le forage de tunnel).

9.2 Détermination des fonctions usuelles

Pour chaque établissement visé, les fonctions usuelles (correspondant à des groupes homogènes d'employés qui travaillent dans des conditions similaires et pour lesquels l'exposition devrait être similaire) potentiellement exposées à la silice cristalline sont déterminées à partir de données qualitatives et de données quantitatives. Les données descriptives sur l'établissement tels ses procédés industriels, ses équipements, les opérations effectuées, les produits utilisés, etc. sont analysées à cette fin ainsi que s'il y a lieu, les résultats des mesures antérieures effectuées aux différents postes de travail.

Les conditions d'exposition des personnes régulièrement exposées sont analysées mais également celles de travailleurs présents par intermittence près des sources de silice (personnel d'entretien, de nettoyage, du laboratoire, etc.). Une enquête sur les opérations effectuées en début ou en fin de quart de travail (démarrage, pelletage, dilution, nettoyage...), qui peuvent influencer la concentration moyenne journalière au poste de travail, est effectuée ainsi qu'une estimation de l'exposition des travailleurs ("co-workers") au voisinage d'un poste de travail très pollué. Par exemple, les peintres et les soudeurs peuvent être exposés à des niveaux élevés lorsqu'ils sont situés à proximité des opérations de sablage au jet de sable et souvent ils ne portent aucune protection respiratoire (NIOSH, 1992).

Pour chaque fonction potentiellement exposée à la silice:

- la ou les formes de silice cristalline rencontrée(s) est (sont) identifiée(s) et sa (leur) présence confirmée (analyse d'échantillons de procédés, fiches toxicologiques des matières premières, etc.);
- la fréquence et la durée d'exposition en terme d'heures par jour, jours par semaine et semaines par année (h/j, j/s, s/a) sont documentées;
- les niveaux d'exposition sont évalués qualitativement selon quatre intervalles [très faible (TF)= $x < 1/10$ norme, faible (F)= $1/10$ norme $\leq x < 1/2$ norme, moyen (M)= $1/2$ norme $\leq x < \text{norme}$, élevé (E)= $x \geq \text{norme}$]
- le nombre de travailleurs de la fonction est documenté.

Si nécessaire, des échantillons d'air, des échantillons de procédé et des poussières sédimentées sont collectés pour identifier la forme de silice rencontrée et en objectiver la présence dans le milieu de travail ainsi que pour évaluer qualitativement les niveaux d'exposition et vérifier la faisabilité analytique d'évaluer quantitativement la silice

cristalline.

Ainsi, lorsque les données disponibles sont insuffisantes pour permettre de réaliser une évaluation subjective de l'exposition des travailleurs (nouvel établissement, modification importante du milieu de travail depuis la dernière intervention, etc.), des mesures exploratoires interprétées à titre indicatif (c'est-à-dire similaire à une évaluation qualitative) peuvent être effectuées pour aider au processus. Dans ce contexte, les prélèvements d'air restent simples et peu coûteux; ils peuvent être réalisés à l'aide d'un instrument à lecture directe (photomètre, piézobalance), ou limités à des mesures pondérales ou encore réalisés à proximité des sources. On peut par exemple réaliser des mesures près d'une source où les niveaux de contaminants générés sont estimés notablement plus élevés que ceux rencontrés dans la zone respiratoire des travailleurs.

L'utilisation d'instruments à lecture directe lors d'une démarche exploratoire peut s'avérer être un outil précieux pour aider à l'évaluation qualitative de l'exposition des travailleurs soit directement soit par le biais d'une meilleure connaissance des sources, de certaines tâches, etc. Cependant plusieurs problèmes peuvent être associés au mode de détection (principe, système, etc.) ou à la calibration de l'appareil qui doit être effectuée de façon rigoureuse. Ainsi, la piézobalance (TSI 3500) possède un impacteur à l'entrée de l'instrument qui élimine les particules dont le diamètre est supérieur à 5 microns (contrairement au cyclone Dorr-Oliver qui élimine celles dont le diamètre est supérieur à 10 microns). L'interprétation des mesures pour les appliquer à des poussières respirables doit donc être nuancée en conséquence. Les comparaisons entre plusieurs postes peuvent s'avérer complexes ou même impossibles si l'empoussièrement est très différent en terme de granulométrie des aérosols. Compte tenu de ces limites, il s'avère souvent plus pertinent d'effectuer quelques mesures pondérales de poussières respirables lorsque le coût total de ces analyses le permet (nombre de postes limité).

La vérification de la faisabilité analytique permet d'une part de confirmer la présence de silice cristalline au poste de travail; elle permet d'autre part de déterminer selon les

interférences rencontrées, si les échantillons d'air prélevés auprès des travailleurs seront analysés en diffractométrie des rayons X et/ou en spectroscopie infrarouge. Cette vérification est à faire s'il y a eu une recommandation de l'IRSST à cet effet lors d'analyses antérieures ou encore:

- si la composition des matières premières ou produits utilisés est inconnue ou incomplète pour les dossiers actifs sans vérification antérieure ou qui ont été modifiés, ainsi que pour les nouveaux dossiers;
- si l'on a rencontré des problèmes importants lors d'une évaluation antérieure et que les conditions de production sont variables;

Pour ce faire, des échantillons de procédé et/ou des poussières sédimentées sont recueillis au poste de travail et envoyés au Laboratoire avec la liste des produits utilisés à ce poste et les fiches toxicologiques correspondantes, si disponibles (Annexe 1, Info-labo de l'IRSST No 87-05).

Soulignons que ces prélèvements gagnent à être effectués en même temps que l'échantillonnage de la silice chez les travailleurs pour limiter les visites industrielles. Évidemment, si la présence de silice est peu probable et que l'échantillonnage porte sur plusieurs travailleurs, il s'avère plus profitable de confirmer à priori la présence de ce contaminant.

Si le milieu de travail est prêt à modifier certains postes de travail à partir d'informations générées lors de cette étape (dérogation constatée par rapport à l'article 5, 14 ou 19 du RQMT (1994), etc.) ou encore est déjà impliqué dans un processus de contrôle, il y a lieu de ne pas retarder les modifications de postes de travail dans le but d'évaluer l'exposition des travailleurs; il demeure cependant très pertinent d'effectuer cette évaluation lorsqu'elle n'implique pas une prolongation de l'exposition des travailleurs.

Les conditions d'exposition épisodique imprévisibles (ex: renversement accidentel) qui ne peuvent faire l'objet de mesures de contrôle à la source doivent être circonscrites rapidement par le biais d'un programme de protection individuelle des travailleurs.

9.3 Classification des fonctions usuelles de l'établissement

Les fonctions de l'établissement sont classées selon les catégories suivantes:

- A) Fonctions à risque de silicose aiguë ou accélérée
- B) Fonctions à risque de silicose chronique
 - a) exposition à la cristobalite (ou à la tridymite) ainsi que les fonctions estimées à exposition élevée au quartz
 - b) exposition jugée moyenne, faible ou très faible au quartz.

Les fonctions usuelles qui peuvent présenter un risque de silicose aiguë ou accélérée sont associées à des situations d'expositions massives (de l'ordre de 3 fois la norme ou plus), continues ou non, aux poussières respirables de quartz, de cristobalite (ou de tridymite). Ces types de risque sont surtout rencontrés à des postes de sablage au jet de sable, lors de l'utilisation de farine de silice (fabrication de poudres à récurer, de savons abrasifs), lors du creusage de tunnel dans des roches à haute teneur en quartz et de pelletage, manipulation ou chargement de ces roches dans des bateaux ou autres milieux confinés.

Ainsi par exemple, NIOSH (1992) rapporte des cas de silicose aiguë ou accélérée associés au sablage au jet de sable:

- de pierres tombales dans une enceinte ventilée; ces travailleurs portaient des respirateurs à pression négative avec demi-masque et filtres disposables lors des opérations.

Les mesures effectuées ont indiqué une concentration moyenne pondérée sur 8 heures de travail de 3,400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de silice cristalline;

- de conduites de forage de gisements pétrolifères avec un sable de silex et grenat (20.5% de silice cristalline) pour nettoyer la surface intérieure des conduites avant l'application d'une nouvelle couche protectrice; les opérations étaient effectuées dans ces cabinets de sablage mal entretenus et non étanches reliés à un système de ventilation; de plus, les travailleurs ramassaient l'abrasif manuellement à la pelle pour le réutiliser. Les mesures en zones respiratoires des travailleurs de l'atelier de sablage s'élevaient à des concentrations variant de 400 à 700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de silice cristalline;
- de pièces métalliques pour enlever la couche de surface après traitement thermique; le sablage au jet était effectué durant six heures dans une enceinte fermée et les travailleurs portaient un respirateur à adduction d'air avec cagoule; pendant le reste du quart de travail, le sable usé était pelleté dans des trappes au plancher pour récupération. Les travailleurs utilisaient des masques à poussières disposables pour le recyclage du sable. Un échantillon en poste personnel, prélevé à l'extérieur de la cagoule, a indiqué une concentration moyenne supérieure à 10,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$;
- de surfaces avant l'application de peinture; la plupart des travailleurs utilisaient des respirateurs à adduction d'air, mais la cagoule était souvent non reliée à l'alimentation d'air. De plus, ces équipements de protection étaient retirés après les opérations de sablage pour débiter immédiatement la peinture.

À l'exception des situations à risque de silicose aiguë ou accélérée énumérées précédemment (sablage au jet, utilisation de farine de silice, creusage de tunnel, exposition massive à des poussières respirables de silice cristalline), les travailleurs des autres fonctions sont identifiés à risque de silicose chronique.

9.4 Stratégie d'échantillonnage lors de l'évaluation quantitative de l'exposition des travailleurs

L'évaluation quantitative de l'exposition des travailleurs est réalisée en fonction de priorités d'intervention et selon certains éléments de stratégie spécifiques au type de risque (silicose aiguë ou accélérée versus silicose chronique).

9.4.1 Priorités d'intervention et cibles

En tenant compte des contraintes de fonctionnement (conditions de mesurage, etc.) et de l'optimisation des journées d'échantillonnage, les priorités d'intervention sont:

- en premier lieu, les établissements où l'on rencontre des fonctions usuelles classées à risque de silicose aiguë ou accélérée, peu importe si le niveau d'exposition de ces fonctions est estimé faible, moyen, élevé ou encore de l'ordre de 3 fois la norme ou plus;
- puis les fonctions classées à risque de silicose chronique à exposition estimée élevée, moyenne ou faible à la cristobalite (et/ou à la tridymite), et celles à exposition estimée élevée au quartz;
- et ensuite celles à risque de silicose chronique à exposition estimée moyenne ou faible au quartz.

9.4.2 Scénario pour l'évaluation de l'exposition des travailleurs

Le scénario privilégié pour l'évaluation de l'exposition des travailleurs est le scénario d'exposition maximale ("worst case"). Dans le cas des fonctions classées à risque de silicose chronique, une seule campagne d'échantillonnage est effectuée. Dans le cas des fonctions classées à risque de silicose aiguë ou accélérée, les mesures sont

répétées au cours de l'année lors d'une deuxième campagne séparée d'au moins trois semaines d'intervalle, à l'exception des fonctions pour lesquelles les résultats de l'intervention initiale ont indiqué la présence d'un ou de plusieurs travailleurs hors-normes.

Conditions d'exposition lors des journées évaluées

Pour les fonctions dont l'exposition est reliée à des activités effectuées sur une base journalière ou presque, la (les) journée(s) d'échantillonnage est (sont) choisie(s) pour qu'elle(s) corresponde(nt) le mieux possible aux expositions maximales rencontrées sur une base régulière. Pour les fonctions dont l'exposition est reliée à des tâches polluantes particulières qui ne sont pas effectuées de façon régulière, la (les) journée(s) est (sont) choisie(s) de manière à couvrir ces tâches.

Les principaux facteurs contributifs à analyser pour identifier les conditions maximales sont (Hervé-Bazin, 1989):

- . le nombre de sources d'émission de silice cristalline ainsi que l'importance et la position de chacune de ces sources;
- . les procédés de fabrication (de type continu ou discontinu, manuel ou automatisé, etc.) ou les conditions d'utilisation (matières premières, quantités utilisées, etc.) ou les conditions de traitement (température, etc.);
- . les tâches et les postes de travail;
- . la présence et l'efficacité de la ventilation (peut être mis en évidence avec des tubes fumigènes);
- . les variations saisonnières;
- . les conditions atmosphériques extérieures (température, humidité relative, pression, vitesse et direction des vents) particulièrement lors de travaux réalisés à l'extérieur, et leurs effets sur les conditions rencontrées à l'intérieur (portes ouvertes, efficacité de la ventilation, etc.).

Sélection des travailleurs

Pour sélectionner les travailleurs lors de l'échantillonnage, le(s) travailleur(s) de la fonction spécifique jugé(s) le(s) plus exposé(s) est (sont) choisi(s). Le nombre de travailleurs à considérer pour une fonction donnée, varie selon le niveau d'exposition estimé pour le groupe et en s'assurant de plus d'évaluer au moins 10% des travailleurs.

L'observation de plusieurs paramètres peut permettre d'identifier les travailleurs à risque maximum, entre autres:

- . la proximité des sources et le temps passé dans les zones polluées;
- . la mobilité des travailleurs;
- . les opérations de début et de fin de quart de travail (démarrage, pelletage, nettoyage, etc.);
- . la dispersion des poussières dans l'air en fonction des dispositifs de ventilation locale et générale, des turbulences et mouvements d'air, et ce particulièrement si le procédé implique un chauffage ou une combustion;
- . les techniques de travail.

Si la fonction usuelle est estimée à exposition:

Faible	⇒	1 travailleur est choisi lors de la (des) journée(s)
Moyenne	⇒	2 travailleurs sont choisis lors de la (des) journée(s) (si la fonction spécifique comprend 2 travailleurs ou plus)
Élevée	⇒	3 travailleurs sont choisis lors de la (des) journée(s) (si la fonction spécifique comprend 3 travailleurs ou plus; sinon tous les travailleurs sont retenus).

S'il est impossible de déterminer le(s) travailleur(s) de la fonction usuelle jugé(s) le(s) plus exposé(s) durant la (les) journée(s) ciblée(s) ou encore si le nombre de travailleurs de la fonction usuelle est supérieur à 50, un nombre de travailleurs suffisant est retenu

pour s'assurer avec une probabilité de 90% qu'au moins un travailleur parmi les 20% plus exposés soit évalué (cf tableau 2); lors de la sélection de ce nombre minimal de travailleurs pour l'échantillonnage, ces travailleurs sont choisis au hasard.

Tableau 2: Table de sélection de travailleurs d'une fonction usuelle

Nombre de travailleurs de fonction	6	7-9	10-14	15-26	27-50	51-∞
Nombre de travailleurs mesurés	5	6	7	8	9	11

9.4.3 Durée de mesure et nombre d'échantillons

Pour établir la valeur d'exposition moyenne pondérée sur 8 heures de chaque travailleur évalué, la collecte des poussières respirables couvre au moins 70% du quart de travail (excluant la période de pauses et de repas); la période échantillonnée doit inclure les expositions maximales.

Compte tenu des ressources impliquées et des résultats d'analyse obtenus antérieurement dans le cadre des PSSE, la durée totale d'échantillonnage retenue par jour par travailleur doit permettre de recueillir un minimum de 800 litres pour le quartz (et de 1000 litres pour la cristobalite ou la tridymite). Notons que cette stratégie peut être réalisée avec l'utilisation de 2 trains d'échantillonnage en parallèle, suivie d'un jumelage des filtres lors de l'analyse.

Dans les cas où l'empoussièrement est important au poste de travail, la collecte de plusieurs échantillons couvrant la période totale échantillonnée (70% du quart ou plus) permet de réaliser les analyses au niveau du domaine d'application de la méthode qui a une limite supérieure de 3 000 µg de poussière.

Lorsque le quart de travail est de plus de 8 heures, la méthode de Brief & Scala n'est pas conseillée pour l'interprétation des résultats des poussières. La période visée pour

la vérification du respect de la norme durant une journée donnée est choisie pour correspondre aux 8 heures en continu où l'on présume rencontrer une exposition maximale. La durée de mesure est établie et le calcul de la concentration moyenne pondérée est réalisé par rapport à la période de 8 heures sélectionnée.

Lorsque les tâches/procédés à risque couvrent une durée inférieure à deux heures dans la journée, les mesures effectuées en poste personnel, visent à vérifier le respect des limites d'excursion plutôt que le respect des VEA:

- en échantillonnant pendant toute la durée de la tâche ou de l'opération à risque s'il est possible de recueillir au moins 100 litres d'air durant une journée donnée (équivalent à 2 trains d'échantillonnage pendant 30 minutes);
- en accumulant au moins 100 litres d'air sur plusieurs journées de travail, s'il n'est pas possible de collecter ce volume d'air durant la même journée.

9.4.4 Types de prélèvements

Les échantillons doivent être recueillis en zone respiratoire tel que mentionné dans le RQMT (1994). Soulignons que certains auteurs ont démontré une absence de corrélation entre les niveaux ambiants et individuels; une partie de la pollution est parfois générée par l'individu lui-même (vêtements empoussiérés, etc.) ou modifiée par lui de façon imprévisible (INRS, 1989).

Dans le cas où des mesures en zone respiratoire ne sont pas réalisables (par exemple pour des raisons de sécurité), les échantillons peuvent être prélevés en postes fixes à moins de 0,5 mètre du travailleur. Ces résultats peuvent être utiles pour guider le choix des équipements de protection respiratoire. Cependant, leur interprétation en regard du respect de la VEA pour le travailleur, ne peut être effectuée dans un contexte légal.

Les échantillons sont prélevés à l'extérieur des équipements de protection respiratoire à l'exception des cagoules à adduction d'air lorsque l'utilisation de ces dernières est justifiée (article 8 du RQMT 1994: travaux d'entretien, de réparation, d'inspection, de transport, pendant la mise en place des mesures de contrôle, technologie inexistante; article 20 du RQMT 1994: postes de nettoyage par jet d'abrasif). Dans ces derniers cas, le niveau d'exposition du travailleur est évalué en respectant les procédures du point 9.4.3 avec le milieu-capteur localisé à l'intérieur de la cagoule (lorsque son installation est possible); de plus, un échantillonnage (qui peut être d'une durée plus limitée) à l'extérieur de la cagoule permet de situer les niveaux d'empoussièrement rencontrés dans la zone respiratoire du travailleur et le niveau de risque associé.

9.4.5 Analyse sommaire des coûts et réajustements

La stratégie d'échantillonnage retenue pour l'évaluation quantitative de l'exposition des travailleurs a été élaborée en fonction des objectifs poursuivis mais également dans le contexte d'intervention du réseau visant en majorité des petites et moyennes entreprises.

Pour s'assurer que les ressources investies demeurent raisonnables, les dossiers d'établissement où l'application de cette stratégie lors de l'intervention initiale correspondrait à l'analyse de plus de 50 échantillons doivent être revus avec les responsables, pour juger selon le cas, de la pertinence:

- appliquer intégralement les éléments de stratégie;
- de recueillir des données qualitatives supplémentaires au préalable pour mieux définir les groupes homogènes ou cibler les travailleurs à risque maximum;
- de demander à l'employeur de réaliser l'évaluation environnementale;
- etc...

9.5 Instruments de mesure et étalonnage

Le train d'échantillonnage comprend une pompe portative, un cyclone de nylon Dorr-Oliver et une cassette avec filtre à membrane en chlorure de polyvinyle prépesé d'une porosité de 0,8 micron dont le diamètre est de 37 mm (filtre CPV # 902).

Le cyclone est construit pour fonctionner à un débit réel de 1,7 litres par minute aux conditions du site d'échantillonnage si on veut séparer les poussières respirables selon la courbe de l'ACGIH; à cet effet, ce dispositif doit être nettoyé périodiquement (avec de l'eau savonneuse sans employer un instrument qui pourrait rayer la surface intérieure, puis rincé et séché à fond) et l'écrou du pot de poussière doit être bien serré lors de son utilisation pour en assurer l'étanchéité. Lors du réglage du débit et de l'étalonnage de la pompe, le cyclone est intégré au train d'échantillonnage pour être conforme aux standards de bonne pratique en hygiène. L'étalonnage à 1,7 L/min est effectué avec un étalon primaire (débitmètre électronique à bulles tel le Gilibrator), sur le site d'échantillonnage ou à un endroit où les conditions de température sont similaires à celles rencontrées aux postes évalués. Le débit est réglé et maintenu en cours d'échantillonnage, à l'intérieur de la plage de 1,6 à 1,8 L/min (intervalle de tolérance par rapport à la valeur de 1,7 L/min) aux conditions réelles du site pour obtenir un partage granulométrique conforme à celui de l'ACGIH.

Cependant, lorsque l'échantillonnage doit nécessairement être effectué dans des conditions limites de température (inférieure à 15°C ou supérieure à 35°C), le choix de l'étalon (rotamètre, débitmètre de masse, etc.) et de la pompe est ajusté aux conditions spécifiques rencontrées. Les appareils retenus doivent donc au minimum, avoir une plage de fonctionnement (spécifications du fabricant) incluant les conditions rencontrées et, si possible, être optimisés en fonction des résultats des essais de l'IRSST sur les performances des pompes (Roberge et Beaudet, 1994).

De plus, des pompes à boîtier blindé doivent être utilisées lorsqu'en présence de

perturbations électriques au poste de travail (radio-fréquences, champ magnétique, décharges électrostatiques).

Les données de température au site d'étalonnage et aux postes évalués ainsi que les données de pression à Dorval sont recueillies et conservées au dossier afin d'être en mesure d'effectuer respectivement:

- A) les calculs du pourcentage de variation du débit de la pompe
- B) les calculs du débit standard moyen

A) Calculs du pourcentage de variation du débit de la pompe:

Le pourcentage de variation du débit de la pompe est établi à partir des débits standards selon les équations suivantes.

Calcul du débit standard initial: $Q_{ni} = Q_i (P_i/T_i) (T_n/P_n)$

Calcul du débit standard final: $Q_{nf} = Q_f (P_f/T_f) (T_n/P_n)$

Calcul du % de variation de la pompe: $[(Q_{ni} - Q_{nf})/Q_{ni}] \times 100$

T_i: température au site lors de l'étalonnage initial (en usine)

T_f: température au site lors de l'étalonnage final (en usine)

P_i: pression au site lors de l'étalonnage initial (donnée météo de Dorval si on ne dispose pas d'un baromètre)

P_f: pression au site lors de l'étalonnage final (donnée météo de Dorval si on ne dispose pas d'un baromètre)

Q_i: débit effectif lors de l'étalonnage initial (en usine)

Q_f: débit effectif lors de l'étalonnage final (en usine)

T_n: température à 298°K

P_n: pression à 760 mm Hg

Qni: débit standard initial

Qnf: débit standard final

Si la variation de débit obtenue est supérieure à 5% et que les échantillons sont conservés, les résultats de mesure doivent être interprétés avec beaucoup de réserves.

À partir des données de température recueillies en cours d'échantillonnage, la variation du débit peut être attribuée:

- à un mal fonctionnement de la pompe si les températures ont été relativement stables; les échantillons peuvent d'ailleurs être rejetés avant l'analyse compte tenu du coût élevé des analyses de silice;
- aux écarts de température (en plus du mal fonctionnement de la pompe) si la température a fluctué largement; les échantillons sont généralement conservés si ces fluctuations de température sont inhérentes au poste de travail.

B) Calculs du débit standard moyen:

Des corrections sont appliquées pour tenir compte des variations du volume en fonction de la température et de la pression ambiante, puisque les normes de concentration admissible doivent être rapportées à des conditions normales de température et de pression (IRSST, 1994).

$$Q_n = Q_e (P_e/T_e) (T_n/P_n)$$

T_e: température moyenne (°K) durant la période échantillonnée aux postes évalués

T_n: température à 298°K

P_e: pression moyenne (mm Hg) durant la période évaluée (à partir des données météo de Dorval ou d'un baromètre)

Pn: pression à 760 mm Hg

Qé: débit effectif moyen (L/min) aux conditions du site d'échantillonnage
 $[(Q_i + Q_f)] / 2$

Qn: débit normalisé

Il est à noter que si l'étalonnage des pompes a été réalisée à l'aide d'un rotamètre, le calcul du débit normalisé doit être modifié en conséquence (voir Info-Labo No 93-02 à l'annexe 2 et/ou le guide d'échantillonnage des contaminants de l'air en milieu de travail de l'IRSST, 1994).

Mentionnons de plus qu'il existe un logiciel de calcul et de correction de débit ainsi qu'un document de support développés à cette fin (Dufresne et Simon, 1993).

9.6 Échantillonnage

Les travailleurs évalués doivent effectuer leur travail normalement sans simuler certaines opérations qui ne devraient pas être réalisées durant la journée de l'échantillonnage. Le mesurage doit être effectué de façon à perturber le moins possible les activités réalisées par les travailleurs.

Un filtre témoin est associé à chaque lot de filtre et chaque série d'échantillons. Le point 3 de l'Info-Labo 86-06 de l'IRSST (annexe 3) présente des informations supplémentaires sur l'utilisation des témoins.

Pour optimiser les interventions, il est de bonne pratique de collecter des échantillons de procédés et/ou de poussières sédimentées lors de chaque campagne d'évaluation de silice cristalline dans un milieu de travail. Ainsi ces échantillons sont envoyés au laboratoire ou si non pertinent au moment de l'envoi des filtres, ils sont entreposés puis rejetés lorsque l'analyse a été complétée sans présenter de problèmes d'interférences.

En plus des paramètres reliés aux échantillons (numéro du filtre, numéro de la pompe, etc.), les données suivantes doivent être consignées et archivées au dossier de l'établissement:

- nom de l'employé
- fonction usuelle
- tâches effectuées pendant la période mesurée
- emplacement de travail
- activités dans la zone de travail environnant le travailleur évalué et toute activité inhabituelle dans la zone
- horaire de travail et pauses pour le calcul des concentrations moyennes pondérées sur 8 heures de travail (TWA-8hres)
- identification de l'équipement ou machinerie utilisée
- produits utilisés contenant de la silice (nom commercial, quantité approximative)
- données sur l'étalonnage des pompes incluant les données de température et de pression atmosphérique correspondantes
- direction et vitesse des vents lors d'un échantillonnage à l'extérieur d'un bâtiment avec la position relative du travailleur (au vent "upwind": placé en amont du vent par rapport à la source de poussière; sous le vent "downwind": placé en aval du vent par rapport à la source de poussière).

9.7 Analyse des échantillons

Les analyses sont réalisées par l'IRSST qui reçoit les directives nécessaires au jumelage des filtres pour l'analyse de la silice cristalline s'il y a lieu.

Lors de l'envoi d'échantillons, il est essentiel de fournir au Laboratoire les informations sur la présence aux postes de travail de substances susceptibles de produire des interférences lors des analyses, si ces informations ne sont pas disponibles suite à une vérification antérieure de la faisabilité analytique.

Selon la méthode analytique 206-2 de l'IRSST, les substances suivantes interfèrent avec la raie principale du quartz:

- micas (biotite ou mica noir et muscovite ou mica blanc)
- potasse
- feldspaths
- potassiques (microcline, sanidine)
- plagioclases (albite, oligoclase, andésine labrador, bitownite, anorthite)
- montmorillonite
- sillimanite
- zircon
- graphite
- carbure de fer
- clinoferrosilite
- wollastonite
- sanidine
- leucite
- orthoclase
- anglésite

De plus, les éléments suivants sont mentionnés dans la méthode:

- Lors du dosage de la cristobalite et de la tridymite, les feldspaths peuvent causer des interférences.
- Les patrons de diffraction de trois composés de phosphate d'aluminium (JCPDS 10-423, 11-500, 20-44) sont pratiquement identiques à ceux du quartz, de la cristobalite et de la tridymite, respectivement.
- La raie secondaire du quartz est voisine de la raie primaire de la cristobalite; la

raie secondaire de la cristobalite coïncide avec une raie du quartz; la tridymite, présente en quantité suffisante interférera avec tous les pics principaux (primaire, secondaire et tertiaire) du quartz et de la cristobalite.

Rappelons cependant que les contraintes attendues lors de l'analyse du quartz ou de cristobalite en présence de tridymite sont plutôt théoriques et que cette situation n'a pas été rencontrée en pratique.

Tel que mentionné précédemment, les échantillons pour vérifier la faisabilité analytique peuvent être collectés aux postes de travail en même temps que les échantillons d'air auprès des travailleurs. Selon les informations disponibles au dossier, les échantillons de procédés et de poussières sédimentées:

- peuvent être envoyés au Laboratoire avec une demande d'analyse qui spécifie que la faisabilité analytique doit être vérifiée avant l'analyse des filtres CPV;
- peuvent être envoyés au Laboratoire avec une note de vérifier la faisabilité analytique seulement si besoin est. Un formulaire de demande d'analyse doit alors être complété si la vérification est effectuée;
- peuvent être conservés par l'intervenant qui joint une note à la demande d'analyse des filtres CPV à l'effet que ces prélèvements sont disponibles sur demande.

Lors de l'analyse, le filtre à membrane CPV est pesé de façon à obtenir une valeur gravimétrique pour les poussières respirables; puis il est réduit en cendres dans un four à plasma d'oxygène. Les cendres sont reprises dans l'isopropanol, redéposées sur filtre approprié. L'analyse quantitative de la silice cristalline est effectuée par diffractométrie de rayons X (DRX) (méthode IRSST 206-2) et/ou par spectroscopie infrarouge (méthode IRSST 78-1) s'il y a des interférences en DRX.

Récemment, la limite inférieure de linéarité de la méthode analytique 206-2 a été réduite à 20µg de quartz par filtre. La limite de détection pour le plan principal de diffraction du quartz pur est maintenant de 6µg par filtre. Cependant, des mesures quantitatives ne peuvent être réalisées au niveau de la limite de détection. En effet, l'expérience montre un degré de concordance très pauvre entre les résultats lorsque la masse de quartz est inférieure à 20µg.

9.8 Réévaluation

9.8.1 Problèmes d'échantillonnage et d'analyse

L'examen des rapports d'analyse du Laboratoire permet d'identifier les fonctions usuelles à réévaluer compte tenu des problèmes analytiques rencontrés. À cet effet, des informations supplémentaires sur l'interprétation des remarques d'analyse des Laboratoires de l'IRSST sur la silice cristalline sont présentées à l'annexe 4.

L'échantillonnage est repris si le volume d'air prélevé est insuffisant pour réaliser l'analyse de l'échantillon dans le domaine d'application de la méthode (sauf dans le cas de vérification du respect des limites d'excursion).

De même, une analyse d'échantillons de procédés et/ou poussières sédimentées est réalisée si la faisabilité analytique n'a pas été démontrée, si la présence d'interférences conduit à une sous-estimation ou une surestimation possible du résultat et si elle est recommandée par l'IRSST au niveau des remarques d'analyse (remarques R7 et R9, annexe 4).

Suite à cette vérification, les échantillons correspondants auprès des travailleurs sont repris si recommandé par le Laboratoire.

9.8.2 Problèmes de détermination des groupes homogènes et d'évaluation qualitative de l'exposition de ces groupes

Les résultats d'analyse permettent de comparer les valeurs d'exposition obtenues avec les valeurs attendues (évaluation qualitative de l'exposition) pour chacune des fonctions usuelles. L'intervenant doit juger de la pertinence de réévaluer les travailleurs d'une fonction usuelle donnée compte tenu de l'écart entre ces valeurs d'une part mais également des nouvelles informations recueillies lors de l'échantillonnage. Ainsi, par exemple, une réévaluation peut ne pas être jugée pertinente lors d'un écart important (exposition mesurée élevée alors qu'estimée faible avant l'échantillonnage) si les données nécessaires à l'identification d'une nouvelle source ont été obtenues lors des mesures et ne remettent pas en question l'homogénéité de l'exposition des travailleurs de la fonction.

9.9 Analyse des résultats et interprétation

Les résultats d'analyse qui servent au calcul de la concentration moyenne pondérée sur 8 heures sont établis à partir du débit normalisé (standard) et non du débit effectif.

S'il y a lieu, la validité des résultats est interprétée en regard des variations de masse des filtres témoins correspondants (cf Info-labo de l'IRSST No 91-03, annexe 5).

Dans quelques milieux de travail, l'évaluation quantitative de l'exposition des travailleurs de certaines fonctions usuelles peut s'avérer impossible à réaliser à cause de problèmes analytiques incontournables lors de la détermination de la teneur en silice cristalline; on peut alors vérifier s'il est possible de rencontrer des travailleurs hors-normes en se basant sur le pire cas (en attribuant un pourcentage égal à 100% de silice cristalline aux poussières respirables prélevées). Il est important de souligner que ces situations sont rares si on respecte les directives de l'IRSST (volume minimal à prélever et identification des interférences).

D'autre part, notons que le pourcentage de silice cristalline dans l'échantillon de procédé ou dans la poussière sédimentée ne peut pas être utilisé pour établir la teneur en silice cristalline dans la poussière respirable prélevée dans la zone respiratoire d'un travailleur.

Les résultats en mg/m^3 de quartz, de cristobalite (ou de tridymite) respirable des prélèvements recueillis auprès d'un même travailleur lors d'une journée donnée servent au calcul de la concentration moyenne pondérée sur 8 heures de travail en utilisant la formule suivante:

$$\text{Concentration moyenne pondérée sur 8hres} = \frac{(C_1T_1 + C_2T_2 + \dots + C_nT_n)}{T_1 + T_2 + \dots + T_n}$$

où $T_1 + T_2 + \dots + T_n = 8$ heures

C_n = concentration mesurée d'une substance à un poste de travail n (mg/m^3 ou ppm)

T_n = temps d'exposition à cette substance au même poste de travail n (heures)

Une valeur nulle est attribuée aux périodes non-mesurées si elles n'ont pas été observées et/ou que des données factuelles permettant de poser un jugement professionnel sur l'exposition du travailleur durant ces périodes, ne sont pas disponibles. Si la valeur attribuée à ces périodes est basée sur le jugement professionnel, elle est justifiée lors de la présentation des résultats.

Rappelons que si le quart de travail est de plus de 8 heures, la période de 8 heures à exposition maximale aura été sélectionnée comme période à évaluer. Le calcul de la concentration moyenne pondérée sur 8 heures de travail est donc effectué en fonction de la période choisie.

Les surexpositions possibles sont identifiées en calculant lorsque pertinent la limite de

confiance supérieure (LCS) ou la limite de confiance inférieure (LCI). Les coefficients de variation intra-laboratoire de 19% pour le quartz et de 21% pour la cristobalite obtenus à l'IRSST avec des standards sont utilisés lors de ces calculs qui sont documentés à l'annexe 6. Notons que dans le cas de mélanges complexes, les coefficients de variation ne sont pas déterminés et pourraient être plus importants. Les concentrations moyennes pondérées sur 8 heures de travail sont interprétées conformes aux normes, hors-normes ou possiblement hors-normes.

Lorsque les journées de mesure et les travailleurs n'ont pas été choisis au hasard et que le nombre total de résultats pour une fonction usuelle est limité, les résultats des mesures ne peuvent faire l'objet que de statistiques descriptives limitées (exposition minimale et maximale, fraction des expositions supérieures à la norme, nombre de résultats, etc); ils ne doivent pas servir à poser un jugement statistique (intervalle de tolérance, intervalle de confiance sur la moyenne).

Si les travailleurs d'une fonction usuelle ont été choisis au hasard pour un échantillonnage durant une journée donnée, en respectant le nombre requis pour un groupe homogène selon la table de sélection, il sera alors possible de mieux caractériser l'exposition du groupe mais uniquement pour cette journée spécifique si on ne dispose pas d'un nombre suffisant de mesures (de l'ordre de 30 valeurs d'exposition moyenne pondérée pour la fonction) effectuées durant des journées choisies au hasard.

Dans le cas où les tâches/procédés à risque couvrent une durée inférieure à deux heures dans la journée, les calculs sont réalisés pour vérifier le respect des limites d'excursion. Le calcul de la valeur d'exposition moyenne pondérée sur 8 heures de travail peut être effectué si on a obtenu des résultats quantitatifs sans réserve.

Lors de la rédaction du rapport environnemental, la portée des résultats est précisée (par exemple: seuls les travailleurs présumés les plus exposés ont été échantillonnés; l'intervention a été limitée à la vérification de la conformité par rapport à la norme). De

même, la distinction entre les travailleurs hors-normes, possiblement hors-normes et jugés hors-normes est établie de façon claire.

Lorsque les mesures démontrent la présence de travailleurs hors-normes, ces derniers sont signalés au médecin responsable et également les travailleurs possiblement hors-normes ou jugés hors-normes.

De plus, les remarques de l'IRSST associées à l'analyse des échantillons recueillis auprès des travailleurs sont notées avec les résultats ou encore les rapports d'analyse sont annexés. Également, la teneur en silice cristalline des échantillons (pourcentage de quartz, de cristobalite ou de tridymite) est calculée et présentée avec les résultats dans le rapport environnemental.

9.10 Suivi environnemental

Une réévaluation de l'exposition des travailleurs hors-normes et possiblement hors-normes est réalisée trois ans après le début de l'intervention initiale, en suivant les procédures du protocole.

Il est à souligner que l'application des mêmes critères de sélection des journées, des fonctions et des travailleurs à évaluer ne correspond pas nécessairement à l'évaluation des mêmes conditions d'exposition ni de la population visée lors de l'intervention initiale. Suite aux mesures, le répertoire des travailleurs hors-normes, possiblement hors-normes et jugés hors-normes est mis à jour.

9.11 Surveillance et évaluation

L'équipe régionale établit le répertoire des hors-normes et produit des analyses concernant l'ampleur du problème et les caractéristiques des expositions rencontrées (fonctions CCDP à risques, sévérité des expositions, etc).

De plus, l'équipe régionale détermine le degré d'atteinte des objectifs poursuivis à partir des indicateurs d'évaluation du programme.

10. LIMITES DU PROTOCOLE ET DES DONNÉES RECUEILLIES

Le présent protocole a été élaboré dans le contexte d'un objectif de réduction à la source de l'exposition des travailleurs de la région Montréal-Centre à la silice cristalline à des valeurs inférieures aux normes afin de prévenir la silicose.

Les établissements ciblés par l'intervention et la répartition des ressources tentent de s'ajuster le plus possible à la nature du risque et à l'évolution de cette maladie (silicose aiguë ou accélérée versus silicose chronique). Cependant, les autres effets délétères d'une exposition à la silice cristalline (par exemple le quartz est une substance à effet cancérigène soupçonné chez l'humain) ne font pas l'objet de mesures préventives recommandées dans le protocole.

Il y a lieu de faire une mise en garde sur l'utilisation éventuelle des données générées dans le cadre du protocole à d'autres fins (épidémiologie, indemnisation, vérification de l'efficacité des moyens de contrôle à la source etc.); en effet, la stratégie retenue du scénario d'exposition maximale ("worst case scenario") ne permet pas de documenter pour une fonction usuelle donnée la distribution des expositions sur une base annuelle et ses caractéristiques (moyenne, écart-type, etc.). De même, cette approche est basée sur l'identification de groupes homogènes à partir de données qualitatives dans de nombreux cas et non à partir de mesures effectuées auprès d'un nombre représentatif de travailleurs des groupes. Les résultats de mesure dans la zone respiratoire d'un travailleur donné confirme donc son niveau d'exposition pour la journée évaluée, mais ne confirment pas les niveaux d'exposition attribués aux autres travailleurs de la fonction. Pour ces derniers, l'évaluation est basée sur le jugement professionnel de l'intervenant qui apprécie l'applicabilité des valeurs mesurées sur quelques travailleurs aux autres travailleurs de la fonction usuelle par des inférences basées sur des

observations, des analogies et l'intuition (AIHA, 1989).

Également, les modalités de réévaluation ne correspondent pas nécessairement au suivi des mêmes travailleurs ni d'une fonction visée lors de l'intervention initiale et ne permettent pas un suivi de la performance des modifications apportées à des sources d'exposition.

Enfin, il faut souligner qu'un protocole de surveillance environnementale inclut deux types d'éléments:

- les éléments d'expertise qui réfèrent à des notions de bonnes pratiques en hygiène industrielle afin d'obtenir des résultats de qualité;
- les éléments stratégiques plus arbitraires qui sont fonction des objectifs poursuivis et des ressources disponibles.

À titre d'éléments d'expertise mentionnons par exemple le choix des normes, la méthode d'étalonnage des pompes et le choix du nombre de travailleurs à évaluer dans un groupe à l'aide d'une table de sélection.

D'autre part, les éléments stratégiques du protocole concernent par exemple les points suivants pour lesquels il n'existe pas de justifications basées sur des évidences scientifiques:

- choix de un à trois travailleurs à risque maximum selon le niveau d'exposition estimé pour la fonction (faible à élevé);
- utilisation d'une table de sélection pour le choix des travailleurs lorsque le nombre de travailleurs de la fonction est supérieur à 50;
- réalisation de deux campagnes d'échantillonnage pour les travailleurs à risque de silicose aiguë ou accélérée et d'une seule campagne pour les travailleurs à risque de silicose chronique.

11. BIBLIOGRAPHIE

A Strategy for Occupational Exposure Assessment, AIHA Exposure Assessment Strategies Committee 1986-1989, Hawkins, Norwood and Rock, American Industrial Hygiene Association.

Boucher, S. Lignes directrices de surveillance médicale des travailleurs exposés à la silice cristalline. Éléments d'un exercice de qualité, 1995.

Brière, C., Gauthier, R., Pelletier, P. et Villemure-Picotte, L. Document d'information sur la silice, Hôpital Maisonneuve-Rosemont, 1984.

CAN/CSA-Z107.56-M86 Méthode de mesure de l'exposition au bruit en milieu de travail. Une Norme nationale du Canada, Association canadienne de normalisation, 1986.

Damiano, J. A Guideline for Managing the Industrial Hygiene Sampling Function, Am. Ind. Assoc. J. 50 (7). 1989.

Dion, C. La surveillance environnementale de la silice cristalline, Info-Labo No 94-01, IRSST, 1994.

Documentation of the threshold limit values and biological exposure indices, sixth edition, volume 1, ACGIH, 1991

Drolet, D. Les variations de masse de mon filtre-témoin... et alors? Info-Labo, IRSST, 1991.

Dufresne, D. et Simon, E. Débit version 1.1 Logiciel de calcul et de correction de débit, CLSC Montréal-Nord et CAE Électronique. 1993.

Encyclopédie de médecine, d'hygiène et de sécurité du travail, volume II, Bureau International du Travail, 1974.

Goyer, N. Ici et là à propos des méthodes analytiques, Info-Labo No 86-06, IRSST, 1986.

Gravel, R. et Lazure, L. Exemples de calcul de débit, Info-Labo No 93-02, IRSST, 1993.

Guide intérimaire de surveillance médico-environnementale pour la silice, Commission de la santé et de la sécurité du travail, 1994.

Guide d'échantillonnage des contaminants de l'air en milieu de travail, 6e édition revue et mise à jour, Direction des laboratoires, IRSST, 1994.

Hervé-Bazin, B. Guide d'évaluation de l'exposition au risque toxique sur les lieux de travail par échantillonnage de l'atmosphère, Cahiers de notes documentaires No 135, INRS, 1989.

Hygiène du travail. Groupe d'auteurs. Édition Le griffon d'argile. 1985.

Leidel, N.A., Busch, K.A. and Lynch, J.R. Occupational exposure sampling strategy manual, U.S. Department of Health, Education and Welfare, NIOSH, 1977.

Ménard, L., Cloutier, Y. et Goyer, N. Stratégie d'évaluation exploratoire d'un milieu de travail. Méthode de laboratoire. Direction des laboratoires, IRSST, 1987.

NIOSH Alert. Request for assistance in Preventing Silicosis and Deaths From Sandblasting, Centers for disease control, U.S. Department of Health and Human Services, NIOSH, 1992.

Norme européenne Atmosphère des lieux de travail - Conseils pour l'évaluation aux agents chimiques aux fins de comparaison avec des valeurs limites et stratégie de mesurage, Comité Européen de Normalisation, Projet prEN 698, 1992.

Méthodes analytiques No 1. Méthodes de laboratoires. Analyse de quartz, de cristobalite et de tridymite dans les poussières aéroportées - Redéposition sur filtre d'argent. Méthode analytique 206-1. IRSST. 1989.

Ostiguy, C. et C. Dion Comment obtenir des résultats quantitatifs pour l'analyse de la silice cristalline? Info-Labo No 87-05, IRSST, 1985.

Parkes, W.R. Occupational Lung Disorders, Third edition, Butterworth Heinemann, 1994.

Projet de règlement modifiant le Règlement sur la qualité du milieu de travail. Éditeur officiel du Québec, décembre 1993.

Rapport, S.M. Assessment of long-term exposures to toxic substances in air, Ann. occup. Hyg. 35(1). 1991.

Règlement modifiant le Règlement sur la qualité du milieu de travail. Éditeur officiel du Québec, septembre 1994.

Règlement sur la qualité du milieu de travail. S-2.1, r15. Éditeur officiel du Québec, février 1990.

Règlement sur la qualité du milieu de travail. S-2.1, r15. Éditeur officiel du Québec, septembre 1994.

1994-1995 Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices, ACGIH, 1994.

ANNEXE 1
Info-Labo de l'IRSST No 87-05

INFO - LABO

RESPONSABLE
Nicole Goyer



IRSST
Institut de recherche
en santé et en sécurité
du travail du Québec

Ce document est publié par la Direction des laboratoires de l'IRSST

COMMENT OBTENIR DES RÉSULTATS QUANTITATIFS POUR L'ANALYSE DE LA SILICE CRISTALLINE?

Auteurs: Claude Ostiguy et Chantal Dion

SOMMAIRE

Afin de mieux répondre aux différents besoins des intervenants en santé et sécurité du travail du Québec, le programme Hygiène et Toxicologie de l'IRSST a développé différentes techniques permettant l'analyse quantitative de certaines formes cristallines de la silice (quartz, cristobalite, tridymite). Le texte fait référence au quartz, mais la même approche est utilisée pour les trois formes cristallines. Le présent document est destiné aux coordonnateurs, hygiénistes, inspecteurs, techniciens et à tous les intervenants en santé et sécurité du travail qui, dans le cadre de leur mandat, veulent s'assurer d'obtenir des résultats significatifs dans l'analyse des polymorphes de la silice. Il vise à démontrer l'importance de la vérification de la faisabilité analytique et du choix de la technique d'échantillonnage appropriée. La démarche proposée est résumée sous forme de tableau décisionnel (voir annexe).

L'ANALYSE QUANTITATIVE DU QUARTZ

La détermination quantitative du quartz dans les poussières aéroportées représente une donnée très importante pour l'évaluation d'un poste de travail en milieu industriel d'autant plus que la norme

québécoise de poussières respirables permmissible est fonction de la teneur en silice cristalline. Par contre, un manque de connaissance des contaminants retrouvés en milieu de travail et des limites des techniques d'échantillonnage et d'analyse conduit trop souvent à des résultats semi-quantitatifs qui ne sont que très peu utiles.

Nous tenterons dans ce document de proposer aux intervenants en santé et sécurité du travail une démarche permettant de doser les différents polymorphes de la silice de façon quantitative.

a) La faisabilité analytique

Avant de lancer un programme complet d'échantillonnage pour la détermination du quartz en milieu de travail, il est essentiel d'en vérifier la faisabilité analytique. C'est la première étape devant conduire à la décision finale. S'il a déjà été démontré que l'analyse est réalisable au poste de travail considéré et que les conditions environnementales n'ont pas changé, on peut alors passer à l'étape subséquente et décider de la technique d'échantillonnage la plus appropriée. Par contre, si la faisabilité analytique n'a jamais été démontrée, il est essentiel de commencer par caractériser le quartz dans un échantillon de procédé ou de poussières sédimentées (composition :

INFO - LABO

quartz). Ces échantillons (minimum 3 g) sont recueillis de façon à être représentatifs du poste de travail. A leur arrivée au laboratoire, ils sont préparés et l'analyse du quartz est réalisée par diffraction des rayons X (DRX).

Cette analyse ne permet pas d'évaluer l'exposition d'un travailleur au quartz, mais permet d'obtenir le pourcentage de quartz dans la poussière, aidant ainsi l'intervenant à structurer sa stratégie d'échantillonnage. Finalement, elle permet de voir s'il y a interférences lors de l'analyse. S'il n'y a pas d'interférences en DRX, une détermination quantitative (méthode QZ2) peut être réalisée au plan principal de diffraction du quartz dont la limite inférieure de quantification est de 50 µg. Dans certains cas où l'on a interférences au plan principal, on se servira plutôt du plan secondaire pour déterminer la teneur en quartz si celui-ci n'a pas d'interférences. La limite de quantification est alors de 250 µg.

Dans les cas où il y a interférences, le responsable du groupe des poussières contactera l'intervenant pour décider s'il y a lieu de réaliser une analyse de composition totale. Lors d'une telle analyse, les interférences sont identifiées à l'aide de la DRX et/ou de la microscopie à lumière polarisante (MLP). Les résultats permettent d'établir si l'analyse du quartz peut être réalisée de façon quantitative, soit par DRX, soit par spectroscopie infrarouge (IR). La spectroscopie IR est aussi limitée à cause de nombreux problèmes d'interférences d'où l'importance de connaître la composition de la poussière avant de décider de la technique analytique à utiliser. Pour les cas où il y a interférences dans les deux techniques, la DRX peut toujours produire un résultat semi-quantitatif qui conduira normalement à une surévaluation de la quantité réelle de quartz.

Lors d'une demande d'analyse de faisabilité analytique, il serait très avantageux d'inclure à votre demande la liste des produits normalement utilisés au poste de travail. Ce n'est qu'à partir d'une bonne connaissance de la nature de la poussière, de sa composition et des interférences à l'analyse qu'on peut envisager un échantillonnage représentatif et efficace du poste de travail considéré permettant une détermination quantitative du quartz.

b) L'échantillonnage

Une fois la faisabilité analytique démontrée, il s'agit de sélectionner la bonne technique d'échantillonnage. Pour les techniques développées à la direction des laboratoires dans l'analyse du quartz, l'IRSST utilise deux types de membranes : le filtre d'argent 25 mm (méthode QZ1) et le filtre de chlorure de polyvinyle (CPV) de 37 mm (méthode QZ3) :

Le filtre d'argent 25 mm :

Lorsqu'il est démontré que l'analyse est réalisable en DRX, sans interférences, on peut échantillonner les poussières respirables sur membrane d'argent de 25 mm de diamètre à un débit de 1,7 L/min, utilisant un cyclone de nylon.

Cette technique permet aussi d'effectuer une mesure gravimétrique des poussières respirables. La poussière retenue sur la membrane d'argent est directement analysée par DRX (méthode QZ1) et ne demande aucune manipulation en laboratoire. Le dépôt de poussière doit être uniforme à la surface pour conduire à un résultat quantitatif.

Notons qu'environ 80% des résultats de QZ1 issus de nos services sont semi-quantitatifs surtout pour des raisons de non-uniformité du dépôt. De plus,

INFO - LABO

il faut que la quantité de poussière se situe entre 100 et 3 000 $\mu\text{g}/\text{filtre}$ et que la masse de quartz soit d'au moins 50 $\mu\text{g}/\text{filtre}$ si l'on veut une réponse quantitative. Une masse de quartz située entre 15 et 50 μg permettrait normalement de confirmer la présence du quartz, mais conduirait à une réponse semi-quantitative. Une masse de quartz inférieure à 15 μg constitue la limite de détection de l'appareil et la présence de quartz ne peut être confirmée. La poussière recueillie sur filtre d'argent étant irrécupérable, le matériel ne peut pas être utilisé dans l'analyse par spectroscopie infrarouge si l'on a des interférences dans l'analyse du quartz par DRX.

A cause des nombreuses contraintes reliées à l'utilisation du filtre d'argent, l'intervenant qui désire une analyse quantitative du quartz devra, avant de sélectionner un filtre d'argent pour l'échantillonnage, s'assurer des points essentiels suivants :

- la faisabilité analytique en DRX (référence au numéro de demande d'analyse);
- la certitude de l'obtention d'un dépôt uniforme de poussières;
- une masse d'au moins 50 μg de quartz.

Si l'une de ces trois conditions n'est pas respectée, il est recommandé d'échantillonner sur filtre CPV.

Le filtre CPV de 37 mm :

Afin de contrer plusieurs problèmes rencontrés avec les filtres d'argent, la méthode QZ3 (IRSST 206-1) a été mise au point. Elle consiste à échantillonner sur filtre CPV 37 mm précédé d'un cyclone, à un débit de 1,7 L/min et à réaliser l'analyse du quartz sur les poussières respirables.

Le filtre CPV est pesé à son retour au laboratoire de façon à obtenir une valeur gravimétrique de poussières comme dans le cas du QZ1. Le filtre est ensuite calciné, la poussière est récupérée et redéposée sur un filtre d'argent pour réaliser l'analyse du quartz. Comparativement à la méthode QZ1, les avantages sont nombreux. La redéposition réalisée en laboratoire permet d'obtenir un dépôt uniforme pour la plupart des échantillons, ce qui est difficilement réalisable en milieu de travail. De plus, si la masse de poussières sur certains filtres est trop basse pour produire une analyse du quartz, on peut les combiner subséquentement. Finalement, selon les interférences, la méthode analytique choisie à l'aide de l'étude de faisabilité permettra au besoin une détermination quantitative du quartz en IR avec la même sensibilité qu'en DRX. Ces avantages favorisent l'utilisation de cette méthode dans la plupart des cas. Lors de l'envoi au laboratoire d'échantillons captés sur membrane CPV, l'intervenant devra noter sur ses demandes d'analyse les résultats de l'étude de faisabilité (référence au numéro de demande d'analyse).

Il faut aussi noter qu'en raison de la présence de certaines interférences, il existe des échantillons qui seront impossibles à doser pour leur teneur en quartz aussi bien par IR que par DRX; dans ces cas, le laboratoire ne dispose pas actuellement d'autres méthodes analytiques qui permettent une détermination quantitative du quartz. Toutefois, une détermination semi-quantitative pourra toujours être réalisée par la DRX.

Il arrivera aussi que l'intervenant soit limité dans ses visites industrielles et que tous les échantillons doivent être recueillis la même journée; dans un tel cas, il est important de récupérer un échantillon de procédé ou de poussières déposées où la composition peut, à l'occasion, différer de celle de

INFO - LABO

la poussière respirable, et de collecter simultanément plusieurs échantillons sur filtre CPV. Il s'agit ensuite de préciser clairement sur les feuilles de demande d'analyse de commencer par examiner la faisabilité de l'analyse et d'indiquer les filtres pouvant être combinés au besoin si les données gravimétriques de poussières sont faibles.

CONCLUSION

La première étape dans l'analyse du quartz en milieu de travail consiste à déterminer la faisabilité analytique. Suite aux résultats obtenus lors de cette étude préliminaire, la méthode analytique (DRX ou IR) aura été déterminée et la technique d'échantillonnage appropriée pourra être sélectionnée de façon à obtenir des résultats quantitatifs.

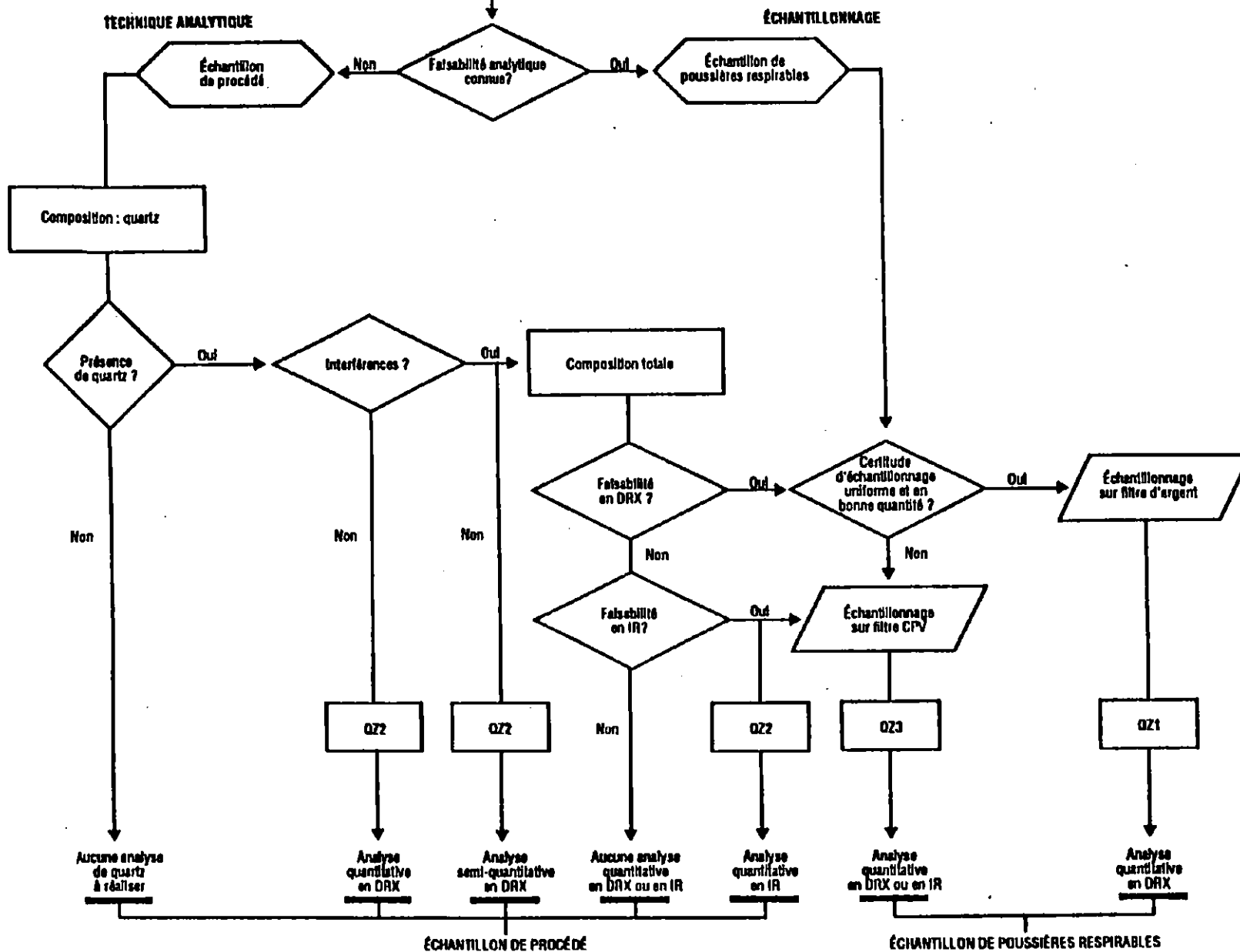
Malgré les efforts constants du personnel du programme Hygiène et Toxicologie de la Direction des laboratoires pour améliorer le service aux intervenants en santé et sécurité du travail en développant des techniques complémentaires plus performantes, il demeurera toujours des échantillons pour lesquels la détermination quantitative du quartz et de ses polymorphes sera impossible.

ANNEXE : Schéma décisionnel

Claude Ostiguy, chimiste
Directeur
Programme Hygiène et toxicologie

Chantal Dion, chimiste
Responsable Groupe de poussières
Programme Hygiène et toxicologie

Schéma décisionnel pour l'analyse du quartz



ANNEXE 2
Info-Labo de l'IRSST No 93-02

INFO-LABO

RESPONSABLE
Alain Lajoie



IRSST
Institut de recherche
en santé et en sécurité
du travail du Québec

Ce document est publié par la Direction des laboratoires de l'IRSST

Exemples de calcul de débit

Auteurs : Rodrigue Gravel et Louis Lazure

Une question facile : qu'est-ce qu'une pompe? Plusieurs peuvent y répondre... mais lorsqu'on ajoute les mots débit constant, débit massique et débit volumique, le nombre de réponses diminue. Si l'on ajoute la notion de débit réel et débit normalisé très rares seront ceux qui pourront inclure dans leurs réponses les formules à utiliser lors de l'ajustement du débit de leur pompe sans consulter le guide d'échantillonnage¹.

Prenons pour acquis qu'une pompe est un outil mécanique qui permet de déplacer un gaz. Lorsque le déplacement est régulier, c'est à dire si le débit mesuré au début, pendant et à la fin de l'échantillonnage demeure à l'intérieur de $\pm 5\%$, on parle de débit constant. Les pompes actuellement disponibles lorsqu'elles répondent à toutes les spécifications du manufacturier gardent un débit constant pour la durée de l'échantillonnage.

Quelle est la différence entre une pompe volumique et une pompe massique?

Une pompe est à débit volumique lorsqu'elle garde un débit réel constant en dépit de tout changement de température et de pression barométrique. Si les conditions réelles diffèrent des conditions normalisées, le débit normalisé peut être obtenu en utilisant les formules du guide d'échantillonnage.

Au contraire, une pompe massique aura un débit normalisé constant. C'est le débit réel qu'il faudra calculer. Pour qu'une pompe soit vraiment massique, elle devrait avoir un capteur de température et un

capteur de pression barométrique. Sur le marché, actuellement, aucune pompe ne possède ces deux capteurs. Toutefois, certains modèles de pompes qui ne possèdent aucun capteur ont tout de même été classés massiques suite à l'étude du comportement du débit lorsque l'on fait varier la température en fonction du débit initial², d'où l'importance de vérifier le comportement d'une pompe avant de la classer.

L'étalonnage sur le site élimine le problème d'avoir à classer le débit d'une pompe (volumique ou massique) puisqu'on utilise la même formule de correction du débit.

Est-il possible d'ajuster le débit réel ou normalisé d'une pompe dans un laboratoire et de l'utiliser par la suite sur le terrain?

Oui il est possible de le faire lorsque le comportement d'une pompe a été bien étudié (variation du débit lorsque les écarts de température et pression barométrique sont importants) et que la pompe répond aux spécifications du manufacturier. Pour ce faire, une pompe doit avoir un débit régulier (la bille du rotamètre doit demeurer stable), un filtre d'entrée propre, s'arrêter lorsque l'entrée d'air est obstruée, ne pas avoir de fuite interne et l'indicateur de batterie doit afficher «pleine capacité».

Regardons maintenant, à l'aide d'exemples, comment utiliser les formules du guide d'échantillonnage.

Exemple 1 :

Je dois échantillonner deux travailleurs dans une mine

INFO-LABO

pour les poussières totales. J'aimerais ajuster le débit dans mon bureau à 2 L/min aux conditions normalisées (pour les rapporter au laboratoire) avec un débitmètre à bulles et en utilisant les formules du guide d'échantillonnage des contaminants de l'air. J'ai une pompe à débit volumique et une pompe à débit massique pour réaliser ce travail.

Les conditions dans mon bureau sont :
765 mm Hg et 297 °K

Les conditions dans la mine sont :
870 mm Hg et 297 °K

La formule du guide d'échantillonnage pour une pompe à débit volumique est :

$$Q_n = \frac{Q_c P_e T_n}{P_n T_e} = \frac{L \text{ mm Hg } ^\circ K}{\text{min mm Hg } ^\circ K}$$

où :

n = conditions à 298°C et 760 mm de Hg

e = conditions au site d'échantillonnage

c = conditions au site d'étalonnage

ainsi :

$$Q_c = \frac{Q_n P_n T_e}{P_e T_n} = Q_e$$

$$= \frac{2 \times 760 \times 297}{870 \times 298} = 1,74 \text{ L/min}$$

La pompe devra être ajustée à 1,74 L/min dans mon bureau puisque j'utilise un débitmètre à bulles et que le débit réel hors du site d'échantillonnage est égal au débit réel sur le site. À des fins d'analyses en laboratoire le débit indiqué sur le rapport sera de 2,0 L/min.

Avec la pompe à débit massique la formule sera :

$$Q_n = \frac{Q_c P_c T_n}{P_n T_c} = \frac{L \text{ mm Hg } ^\circ K}{\text{min mm Hg } ^\circ K}$$

ainsi :

$$Q_c = \frac{Q_n P_n T_c}{P_c T_n}$$

$$= \frac{2 \times 760 \times 297}{765 \times 298} = 1,98 \text{ L/min}$$

La pompe devra être ajustée à 1,98 L/min avec le débitmètre à bulles dans mon bureau.

Je peux vérifier quel sera le débit réel au site d'échantillonnage avec la formule des gaz parfaits :

$$= \frac{1,98 \times 765 \times 297}{870 \times 297} = 1,74 \text{ L/min}$$

À des fins d'analyses en laboratoire, le débit indiqué sur le rapport sera de 2 L/min.

Exemple 2 :

Je dois échantillonner deux travailleurs dans une mine pour les poussières respirables. J'aimerais ajuster le débit dans mon bureau à 1,7 L/min aux conditions réelles d'échantillonnage dans la mine avec un débitmètre à bulles en utilisant les formules du guide d'échantillonnage. J'ai une pompe à débit volumique et une pompe à débit massique pour réaliser ce travail.

Pour la pompe à débit volumique, je dois ajuster le débit à 1,7 L/min dans le bureau puisque le débit sur le site d'échantillonnage sera le même. Pour rapporter les résultats aux conditions normalisées au laboratoire je devrai alors utiliser la formule des gaz parfaits.

$$Q_n = \frac{Q_c P_e T_n}{P_n T_e} = \frac{L \text{ mm Hg } ^\circ K}{\text{min mm Hg } ^\circ K}$$

$$= \frac{1,7 \times 870 \times 298}{760 \times 297} = 1,95 \text{ L/min}$$

La pompe devra être ajustée à 1,7 L/min avec le débitmètre à bulles dans mon bureau et je rapporterai 1,95 L/min au laboratoire.

INFO-LABO

Pour la pompe à débit massique, je désire un débit de 1,7 L/min aux conditions réelles sur le site d'échantillonnage. Je dois calculer par la formule des gaz parfaits le volume correspondant dans mon bureau :

$$Q_c = \frac{Q_e P_e T_c}{P_c T_e} = \frac{L \text{ mm Hg } ^\circ K}{\text{min mm Hg } ^\circ K}$$

$$= \frac{1,7 \times 870 \times 297}{765 \times 297} = 1,93 \text{ L/min}$$

Pour rapporter les résultats au laboratoire aux conditions normalisées je peux utiliser un ou l'autre des débits en corrigeant avec la formule des gaz parfaits :

$$Q_n = \frac{Q_e P_e T_n}{P_n T_e} = \frac{L \text{ mm Hg } ^\circ K}{\text{min mm Hg } ^\circ K}$$

$$= \frac{1,7 \times 870 \times 298}{760 \times 297} = 1,95 \text{ L/min}$$

où :

$$Q_n = \frac{Q_c P_c T_n}{P_n T_c} = \frac{L \text{ mm Hg } ^\circ K}{\text{min mm Hg } ^\circ K}$$

$$= \frac{1,93 \times 765 \times 298}{760 \times 297} = 1,95 \text{ L/min}$$

La pompe devra être ajustée à 1,93 L/min avec le débitmètre à bulles dans mon bureau et je rapporterai 1,95 L/min au laboratoire.

Lors de l'utilisation des formules, le paramètre le plus difficile à obtenir est la pression barométrique. Si aucun baromètre n'est disponible sur le site d'échantillonnage et que je connais l'élévation de ce poste ainsi que la pression barométrique et l'élévation dans mon bureau ou du centre de météo je peux calculer la variation de pression d'un poste à l'autre par la formule :

$$P_3 = P_1 - 760 + P_2$$

où :

P_3 = pression barométrique (site d'échantillonnage)

P_2 = pression barométrique actuelle (bureau)

$$P_1 = 760 \left(1 - \frac{0,0065 \times Z}{288,15} \right)^{5,25} \quad (3)$$

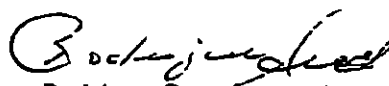
où :

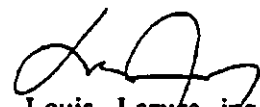
P_1 = pression barométrique calculée (mm Hg)

Z = écart entre les élévations (mètres)

L'ajustement du débit à l'extérieur du site d'échantillonnage est possible mais nécessite souvent plus de travail. Si les écarts de pression et de température sont importants, la pompe utilisée devra être au préalable évaluée par des tests de débit afin de connaître son comportement. Enfin, lors de l'utilisation des autres modèles de débitmètres il ne faut pas oublier d'adapter les formules selon le besoin.

En terminant, vous trouverez en annexe un tableau synthèse regroupant différents modèles de pompes en fonction du type de débit ainsi que les formules de correction du débit à appliquer selon le site d'étalonnage et le débitmètre utilisé.


Rodrigue Gravel, technicien


Louis Lazure, ing.

Références :

- ¹ Guide d'échantillonnage des contaminants de l'air en milieu de travail, Direction des laboratoires, août 1992.
- ² Guide technique, IRSST, Évaluation de pompes personnelles d'échantillonnage, avril 1993.
- ³ Météorologie générale, École nationale de la météorologie, 3e édition, 1986.

INFO-LABO

Tableau synthèse de différents modèles de pompes

Modèles de pompes	Étalonnage	
	Hors site	Sur le site
Pompes de type débit volumique		
GN5 Gil-Air GilAir5 Flow Lite ET	1,4,5 1,4,6 1,4,7	1,3,5 1,3,6 1,3,7
Pompes de type débit massique		
PCXR7 Airchek 50	2,4,5 2,4,6 2,4,7	2,3,5 2,3,6 2,3,7
Pompes de type débit non classifié		
Mg 4 P-2500 P-4000 HFS 113 Flow Lite PRO	Non recommandé	2,3,5 2,3,6 2,3,7
Formules - Correction de débit		
1 = Pompes type débit volumique. 3 = sur le site d'échantillonnage 5 = Débitmètre à bulles 7 = Débitmètre de masse		
2 = Pompes type débit massique 4 = hors du site d'échantillonnage 6 = Rotamètre		
$Q_n = Q_e (P_e/T_e) (T_n/P_n)$ $Q_n = Q_m ((P_e/T_e) (T_n/P_n))^n$ $Q_n = Q_c (P_e/T_e) (T_n/P_n)$ $Q_n = Q_m ((T_n/P_n) (T_c/P_c))^n (P_e/T_e)$ $Q_n = Q_{déb m} (P_e/T_e) (T_c/P_c)$ $Q_n = Q_c (P_c/T_c) (T_n/P_n)$ $Q_n = Q_m ((P_c/T_c) (T_n/P_n))^n$ $Q_n = \text{Aucune correction}$	$= 1,3,5 = 2,3,5$ $= 1,3,6 = 2,3,6$ $= 1,4,5$ $= 1,4,6$ $= 1,4,7$ $= 2,4,5$ $= 2,4,6$ $= 2,4,7 = 2,3,7 = 1,3,7$	
Q = Débit (L/min) P = Pression (mm Hg) T = Température (°K)	m = Conditions de la courbe d'étalonnage du rotamètre n = Conditions à 298°K et 760 mm Hg é = Conditions au site d'échantillonnage	c = Conditions au site d'étalonnage déb m = Débit étalon du débitmètre de masse

ANNEXE 3
Info-Labo de l'IRSST No 86-06

INFO - LABO

RESPONSABLE
Nicole Goyer



IRSST
Institut de recherche
en santé et en sécurité
du travail du Québec

Ce document est publié par la Direction des laboratoires de l'IRSST

ICI ET LÀ À PROPOS DES MÉTHODES ANALYTIQUES

Auteur: Nicole Goyer

1 - Analyse de métaux

Au laboratoire de l'IRSST, l'analyse des métaux recueillis sur filtres se fait par absorption atomique. Cette technique dose toutes les formes du métal et les résultats inscrits sur les rapports d'analyse correspondent aux concentrations du métal pur et non de ses composés. Une différenciation peut être faite, pour certains métaux, entre les composés solubles et insolubles lors de la mise en solution du filtre avant l'analyse. Une mise en solution dans l'eau chaude permet de doser spécifiquement le métal provenant des composés solubles alors qu'une mise en solution dans l'acide dose celui de tous les composés. La quantité de métal provenant des composés insolubles est obtenue par différence.

Lors de l'interprétation du résultat par rapport à une norme du "Règlement sur la qualité du milieu de travail", survient parfois une ambiguïté. Pour certains métaux et leurs composés, la norme spécifie que la concentration est donnée en métal pur : c'est le cas pour Sb, Ba, Cd, Co, Sn, Hg, Mo, Pt, Pb, Se, Te, Tl, Ti, W, Zn. Pour les autres, la norme ne spécifie pas, pour tous les composés, la forme du métal à laquelle elle fait référence. Pour solutionner cette imprécision, il est recommandé de se référer aux valeurs américaines (desquelles sont inspirées les nôtres) qui spécifient la forme réglementée, habituellement le métal pur. Cependant, c'est le règlement du Québec qui a force de loi et ces imprécisions sont alors soumises à la décision du juge.

2- Analyse du chrome et des chromates

Deux méthodes sont disponibles pour doser le chrome et ses composés.

La méthode IRSST # 39-1 utilise des filtres de chlorure de polyvinyle 5 um et l'analyse se fait par colorimétrie. Cette méthode est spécifique au chrome hexavalent, Cr (VI), c'est-à-dire les chromates et l'acide chromique. Le résultat est donné en mg/m³ de chromate, CrO₄.

La méthode IRSST # 3-1 utilise des filtres en esters de cellulose 0,8 um et l'analyse se fait par absorption atomique. Elle dose donc toutes les formes de chrome : chromeux, chromique et métal. Le résultat est donné en mg/m³ de chrome, Cr. Cette technique permet également de doser plusieurs métaux sur un même échantillon.

3- Utilisation des témoins

Lors du prélèvement en milieu de travail, un échantillon témoin est nécessaire pour chaque groupe spécifique d'analyses et pour chaque environnement de travail. Le témoin doit être traité de la même façon que les échantillons : il est ouvert sur le lieu d'échantillonnage, refermé immédiatement, emballé et expédié avec les échantillons.

INFO - LABO

L'analyse du témoin permet de s'assurer qu'il n'y a pas d'interférences provenant du milieu capteur et qu'il n'y a pas eu contamination ou altération des échantillons sur le terrain ou au laboratoire. Les résultats obtenus sont donnés en microgrammes (ug) et ils ne sont pas soustraits des valeurs obtenues pour les échantillons puisque rien ne permet d'affirmer que ces derniers ont réagi de façon identique au témoin face aux contraintes externes.

Dans le cas des mesures gravimétriques, les variations de poids des témoins sont données en ug et en % de la norme. Pour le calcul de ce pourcentage, on divise la variation de poids obtenue par chacun des volumes d'échantillonnage des échantillons correspondants et on compare ces concentrations à la norme de poussières totales ou respirables. Ce pourcentage de variation dépend du volume échantillonné et n'est pas relié au pourcentage d'erreur de la méthode de prélèvement et d'analyse.

4- Limite de détection et limite inférieure de linéarité d'une méthode

La limite de détection d'une méthode correspond à la quantité minimale de la substance pour laquelle un signal analytique peut être perçu.

La limite inférieure de linéarité d'une méthode correspond à la quantité minimale de la substance pour laquelle le signal analytique est proportionnel à la quantité, donc sur la droite de linéarité de la méthode.

Ces deux limites peuvent être identiques.

Les limites inférieures de linéarité des méthodes de l'IRSST sont données à l'annexe II du "Guide d'échantillonnage des contaminants de l'air en milieu de travail", juillet 1986. Elles sont données en ppm ou en ug ; dans ce dernier cas, la concentration minimale s'obtient en divisant la quantité par le volume

d'échantillonnage recommandé dans ce même guide.

5- Pourcentage d'erreur d'une méthode

Au laboratoire, pour la majorité des analyses, l'erreur totale due à l'analyse est de $\pm 5\%$. Le pourcentage spécifique à chaque contaminant est donné dans la méthode analytique correspondante.

Si on fixe à $\pm 5\%$ l'erreur sur le volume d'échantillonnage, on obtient alors une erreur globale de :

$$\sqrt{(5\%)^2 + (5\%)^2} = 7,1\%$$

Ceci n'inclut pas la représentativité statistique de l'échantillonnage. Pour qu'une évaluation soit statistiquement valable, un nombre minimal d'échantillons est nécessaire. Cette notion est explicitée dans le document de NIOSH "Statistical Methods for the Determination of Non Compliance with Occupational Health Standards".

Nicole Goyer, chimiste

ANNEXE 4

**Démarche de réévaluation de la silice cristalline
en fonction des remarques d'analyse de l'IRSST**

Démarche de réévaluation de la silice cristalline en fonction des remarques d'analyse

La démarche d'échantillonnage et d'analyse de la silice cristalline doit suivre un processus rigoureux pour maximiser l'obtention de résultats quantitatifs pouvant être interprétés sans réserves. Le respect de certaines règles de base nous assure d'atteindre ce but dans la majorité des cas.

Lorsque l'on constate que le contexte d'intervention ne permet pas leur mise en oeuvre sans impliquer des limitations importantes au processus (échantillonnage de courte durée, informations insuffisantes sur le poste de travail, etc.), il nous semble justifié de se questionner à priori sur la pertinence d'effectuer des mesures.

Processus:

Le processus séquentiel à respecter pour situer la problématique sous-jacente à la reprise des évaluations de silice cristalline est illustré à l'aide d'un diagramme.

Les échantillons d'air sont recueillis sur les filtres appropriés et à un débit conforme; le volume minimal à respecter est de 800 litres pour le quartz et de 1000 litres pour la cristobalite ou la tridymite. Dans les cas où les volumes d'air collectés sont inférieurs à ces valeurs, il est probable que la quantité de silice cristalline présente sur la membrane soit trop faible pour réaliser l'analyse dans le domaine d'application de la méthode. Si tel est le cas, le rapport d'analyse des Laboratoires indiquent une note à cet effet (remarques R-1, R-2, R-4, R-5 ou R-13). Notons que ces résultats ne doivent pas être interprétés non décelés (nd) et l'évaluation doit être reprise pour obtenir un résultat quantitatif.

La faisabilité analytique doit être démontrée sur des échantillons de procédés ou des poussières sédimentées pour déterminer si les échantillons seront analysés en diffractométrie des rayons X et/ou en spectroscopie infrarouge. Cependant, les données nécessaires à l'identification des substances interférentes peuvent déjà être suffisantes au dossier de l'établissement du Laboratoire de l'IRSST, selon les demandes d'analyses

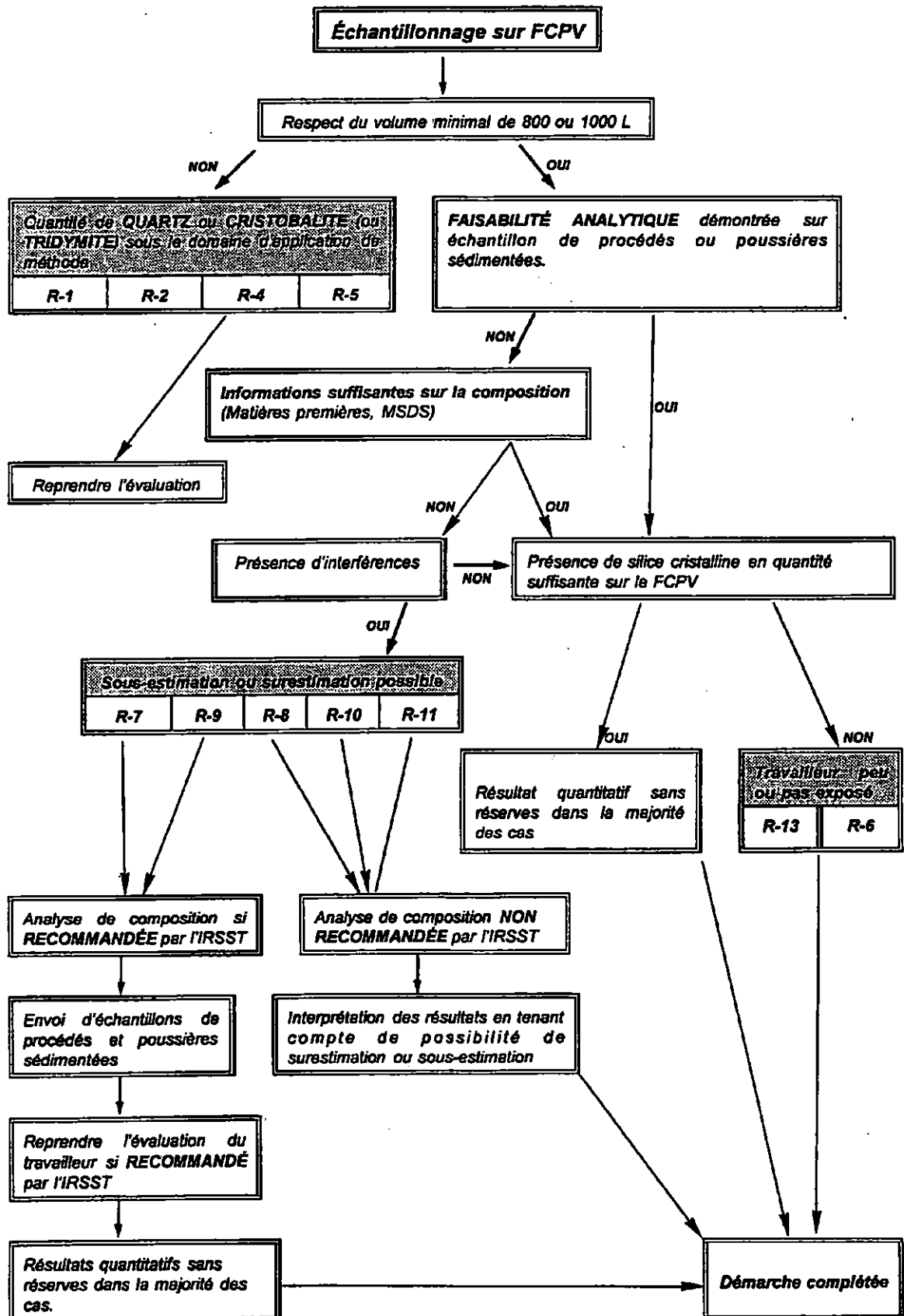
antérieures. Dans le cas contraire, les informations sur la composition des matières premières doivent être transmises à cette fin.

Lorsque la faisabilité analytique est démontrée, la majorité des résultats d'échantillonnage devraient être quantitatifs sans réserves si une quantité suffisante de silice cristalline est présente sur les filtres. Dans le cas contraire, comme le volume minimal a été respecté, la présence d'une quantité insuffisante de silice cristalline correspond à une situation où le travailleur n'est pas exposé ou encore est peu exposé à ce contaminant; le rapport d'analyse étiquette ces résultats à l'aide de remarques (R-6 et R-14). La démarche d'évaluation est alors complète à ce stade.

Lorsque la faisabilité analytique n'a pas été démontrée et qu'il y a présence d'interférences lors de l'analyse des échantillons, les Laboratoires jugent au cas à cas la pertinence soit d'interpréter ces résultats avec réserves (en tenant compte des possibilités de sous-estimation ou de surestimation) soit de vérifier la faisabilité analytique et de reprendre l'évaluation du travailleur et ce, en fonction des possibilités d'obtenir un résultat quantitatif sans réserves s'il y a poursuite de l'évaluation. Les remarques présentes au niveau des rapports d'analyse indiquent une recommandation de poursuivre la démarche (R-7, R-9) ou n'en indiquent pas (R-8, R-10 et R-11). Dans ce dernier cas, les résultats des mesures doivent être interprétés en conséquence dans le rapport environnemental.

Une liste des remarques d'analyse de l'IRSST est présentée suite au diagramme avec certaines précisions sur leur interprétation (présence de silice cristalline confirmée ou pas, hors domaine d'application de la méthode, etc.).

DÉMARCHE DE RÉÉVALUATION DE LA SILICE CRISTALLINE SELON LES REMARQUES D'ANALYSE



INTERPRÉTATION DES REMARQUES D'ANALYSE

No	"Remarque d'analyse" et commentaires	Présence de silice cristalline non confirmée	Présence de silice cristalline confirmée	Hors domaine application de la méthode	Résultat quantitatif sous ou surestimé	Évaluation à reprendre ou à poursuivre	Démarche complétée
R-1	"La quantité de silice cristalline présente sur le filtre étant faible (< 20µg), l'analyse a été réalisée en-dessous du domaine d'application de la méthode".		X	X		X	
R-2	"La quantité de poussières déposées sur le filtre étant faible (< 100µg), l'analyse de quartz ne sera pas effectuée".			X		X	
R-3	"La quantité de poussières déposées sur le filtre étant élevée (> 3000µg), l'analyse de quartz ne sera pas effectuée. À la demande de l'intervenant, l'IRSST peut fournir un résultat quantitatif avec la mention de sous-estimation possible.		X	X	X		
R-4	"Le guide d'échantillonnage de l'IRSST suggère un volume minimal de 800 L pour le dosage du quartz et de 1000 L pour la cristobalite". Remarque associée à R-1 et R-2.						
R-5	"Pour obtenir un résultat quantitatif, une quantité plus élevée de quartz et/ou de poussières est nécessaire. Il est recommandé d'échantillonner plus longtemps ou sur plusieurs cassettes; les filtres pourront être combinés si la quantité de poussières est insuffisante".		X	X		X	
R-6	"Trace: seul un pic de faible intensité est observé au plan principal de diffraction. La présence de silice cristalline ne peut donc être confirmée".	X					X
R-7	"Présence de deux pics au plan principal de diffraction du quartz; il serait souhaitable de faire une analyse qualitative d'un échantillon de procédé pour déterminer les interférences possibles".		X		X	X	
R-8	"Sauf un pic est observé au plan principal de diffraction du quartz. La présence de quartz ne peut donc être confirmée; possibilité d'interférences".	X			X		

INTERPRÉTATION DES REMARQUES D'ANALYSE (suite)

No	"Remarque d'analyse" et commentaires	Présence de silice cristalline non confirmée	Présence de silice cristalline confirmée	Hors domaine application de la méthode	Résultat quantitatif sous ou surestimé	Évaluation à reprendre ou à poursuivre	Démarche complétée
R-9	"L'analyse a été effectuée par diffractométrie des rayons X et par spectroscopie infrarouge. En raison d'interférences, seul le résultat d'IR est fourni. Toutefois, le résultat peut être sous-estimé. Une analyse de composition est suggérée afin de déterminer les interférences".		X		X	X	
R-10	"Présence d'une interférence aux plans principal et secondaire de diffraction du quartz. Le résultat peut être surestimé".		X		X		
R-11	"La tridymite ne peut être mise en évidence lorsqu'il y a présence de quartz et de cristobalite. Ce polymorphe de la silice cristalline est d'ailleurs très peu documenté dans la littérature". Remarque suite à une demande d'analyse de la cristobalite et la tridymite sur un même échantillon, compte tenu de la méthode d'analyse (cf interférences) et que l'existence de la tridymite a suscité des doutes au niveau du milieu scientifique.						
R-12	"Absence de pic au plan tertiaire de diffraction du quartz. La présence de quartz ne peut être confirmée".	X					
R-13	"Trace: La quantité de quartz présente sur le filtre étant faible (< 6 µg), l'analyse a été réalisée près de la limite de détection de l'appareil. La quantité de quartz ne peut être confirmée.	X		X			X

ANNEXE 5
Info-Labo de l'IRSST No 91-03

INFO - LABO

RESPONSABLE
Alain Lajoie



IRSST
Institut de recherche
en santé et en sécurité
du travail du Québec

Ce document est publié par la Direction des laboratoires de l'IRSST

LES VARIATIONS DE MASSE DE MON FILTRE-TÉMOIN ... ET ALORS ?

Auteur : Daniel Drolet

Il arrive fréquemment lors de l'évaluation de la concentration pondérale des poussières que les intervenants en santé et sécurité du travail soient confrontés à des variations plus ou moins importantes du poids du "fameux" filtre-témoin. Comment ces variations doivent-elles être interprétées en regard de la validité des résultats des échantillons? Les résultats sont-ils valables? À cette question simple, la réponse est plutôt du type oui ... non ... peut-être! La réponse dépend à la fois des circonstances de l'échantillonnage, du résultat obtenu et des niveaux d'intervention. Il appartient donc à chacun de poser un jugement sur la validité de tel ou tel résultat. Le rejet d'un résultat donné ne peut être basé que sur l'importance de la variation d'un témoin.

La variation de masse d'un filtre-témoin entre les moments de pré-pesée et de pesée nous laisse présumer que le même phénomène a pu se produire pour le filtre-échantillon. Cependant, pour ce dernier, la variation de masse du filtre est "cachée" par la masse de la poussière recueillie. Cette variation de masse peut être décomposée en deux parties : d'une part, l'intensité de cette variation (exprimée en μg) et d'autre part le sens (négatif ou positif) de la variation, une variation négative signifiant que le filtre est plus "léger" à la pesée qu'à la pré-pesée. Les causes de variations sont multiples¹. Elles peuvent être occasionnées par la variation du degré hygrométrique de l'air en fonction des moments de pré-pesée et pesée (cas des filtres d'esters de cellulose mélangés (ECM)), de l'évaporation possible du solvant résiduel utilisé lors de la fabrication des filtres (cas des filtres de chlorure de polyvinyle (CPV)) et de la perte de fibres qui adhèrent aux éléments de la cassette (cas des filtres de fibres de verre). Malgré les quelques précautions qu'il nous est possible de prendre au laboratoire de mesures gravimétriques de l'IRSST, il est

impossible d'éviter complètement ces variations de masse des filtres. Nous tentons par contre d'en réduire l'intensité à l'aide de diverses procédures (pré-conditionnement des filtres CPV et application d'un modèle mathématique de corrections des masses pour les filtres ECM²). Toutefois, les variations de masse persistent malgré tout et elles ne sont pas liées à la performance des micro-balances utilisées à l'IRSST. En effet, la pesée quotidienne d'un poids inerte équivalent approximativement au poids des filtres est très reproductible ($\pm 3 \mu\text{g}$).

À l'IRSST, chaque résultat de concentration pondérale est calculé sans correction aucune en ce qui a trait à la variation de témoin. L'interprétation de ces variations devient donc un élément essentiel du processus d'évaluation des poussières. La règle primordiale à appliquer lors de l'interprétation consiste à comparer l'intensité de la variation du témoin au poids des poussières collectées. Si les valeurs absolues de ces deux résultats sont proches l'une de l'autre ou si la variation de masse est supérieure à la quantité de poussières collectées, il faut tout de suite se dire que les résultats doivent faire l'objet d'une analyse plus élaborée et être traités avec circonspection. Illustrons cette règle à l'aide d'un exemple :

Échantillonnage :
120 minutes
1,7 L/min

Résultats d'analyse :
Échantillon : 0,070 mg
Témoin : -0,053 mg

Dans ce cas, la masse de poussières (0,070 mg) nous mène à une concentration pondérale de $0,35 \text{ mg/m}^3$. En assumant l'hypothèse que les filtres témoin et échantillon ont réagi de la même façon et présentent la même variation, le résultat devient alors de $0,60 \text{ mg/m}^3$ $[(70 \mu\text{g} + 53 \mu\text{g}) / (1,7 \times 120)]$. L'erreur systématique causée par cette variation (0,60 -

INFO - LABO

0,35)/0,35 est de 71 %, ce qui est énorme ... mais le résultat peut quand même être utile malgré tout. En effet, si le niveau d'intervention pour cette situation spécifique a été pré-défini à 1,25 mg/m³ (25 % de la concentration moyenne admissible de poussières respirables ne contenant pas de silice), le résultat est parfaitement utilisable puisqu'avec ou sans correction pour le témoin, la valeur obtenue se situe bien en deçà du seuil d'intervention.

L'exemple suivant nous permet de juger de l'importance d'une faible quantité de poussières prélevées:

Échantillonnage:

20 minutes

1,7 L/min

Résultats d'analyse:

Échantillon : 0,070 mg

Témoin : -0,017 mg

Dans cette situation, la variation du témoin n'est que de 17 µg. Par contre, le volume d'échantillonnage n'est que de 34 L. Le résultat pour l'échantillon est donc de 2,1 mg/m³. En assumant une fois de plus l'hypothèse que les filtres témoin et échantillon ont réagi de la même façon, le résultat serait alors de 2,6 mg/m³ ((70+17)/34). L'erreur systématique sur le résultat serait ici de 24 % ((2,6-2,1)/2,1), c'est-à-dire, trois fois moins qu'à la situation précédente. Malgré cela, le résultat peut-être difficilement interprétable si le niveau d'intervention est de 2,5 mg/m³. Ce cas illustre bien qu'un faible volume d'échantillonnage conjugué à une petite quantité de poussières collectées peut générer un résultat difficilement interprétable et ce, même si la variation du témoin est faible.

Imaginons maintenant à l'aide d'un autre exemple (avec les mêmes paramètres d'échantillonnage que ci-haut) que la quantité de poussières collectées ait été de 1,250 mg. Le résultat aurait donc été de 36,8 mg/m³. En tenant compte de la variation de témoin (en ajoutant 17 µg) le résultat calculé passe à 37,3 mg/m³. L'erreur systématique devient de 1,4 %. Le résultat ne change à peu près pas que l'on tienne compte ou non du témoin. La quantité de poussières collectées était suffisamment grande pour minimiser ainsi l'effet de la variation du témoin. Enfin, dans une perspective d'hygiène du travail, l'interprétation d'un résultat à 36,8 ou à 37,3 sera généralement la même.

À l'IRSST, une remarque est inscrite sur le rapport d'analyse lorsque la variation du témoin peut devenir non négligeable. Cette remarque vous informe que la variation du témoin par rapport à la concentration équivalente à la norme de 5 ou

10 mg/m³ est supérieure à 5%. Le calcul qui a été fait dans ce cas est basé sur le raisonnement suivant : quelle serait la concentration en mg/m³ si la variation du témoin était divisée par le volume d'échantillonnage du filtre-échantillon auquel il est apparié? Pour les exemples 1 et 2, les concentrations ainsi calculées seraient de 0,26 et 0,50 mg/m³. Si les valeurs ainsi calculées sont supérieures à 5% de 5 mg/m³ ou 10 mg/m³ dépendant de la norme applicable, une remarque sera alors inscrite sur le rapport d'analyse. La présence ou l'absence de cette remarque ne doit pas par contre être une indication de la validité d'un résultat. Elle ne permet que d'attirer l'attention sur le niveau d'importance de la variation en regard de la norme applicable, sans plus.

Conclusion

Il est donc important que la quantité de poussières collectées soit assez grande pour atténuer l'effet de la variation du témoin et pour augmenter la validité du résultat de l'échantillon. Ce facteur est particulièrement important lors de l'utilisation de filtres ECM pour la mesure de la concentration pondérale des fumées de soudage. En effet, les filtres ECM peuvent présenter d'importantes variations de masse (quelque fois jusqu'à 300 µg) malgré l'utilisation d'un modèle mathématique de correction des masses. Des erreurs systématiques importantes peuvent survenir si la quantité de poussières recueillies est faible que ce soit en raison d'un faible débit ou d'un court temps d'échantillonnage.

Daniel Drolet

Daniel Drolet, chimiste

Programme Hygiène et Toxicologie

Références

1. Kauffer, E., Vigneron, J.C. et J.F. Fabries : "Mesure de la concentration pondérale des polluants atmosphériques en hygiène professionnelle : étude de quelques média filtrants". *Analisis*, Vol. 17, 7, p.389-393, 1989.
2. Beaulieu, P., Perrault, G. et C. Roy : "Mesure de poussières dans l'air ambiant : correction de la masse des membranes filtrantes d'esters de cellulose en fonction de l'humidité atmosphérique". *Analisis*, Vol. 14, 2, p.74-78, 1986.

ANNEXE 6
Calcul des limites de confiance

L'ANALYSE STATISTIQUE
DES RÉSULTATS EN HYGIÈNE INDUSTRIELLE

Cours de formation dispensé dans le cadre

du 15^{ième} congrès de l'AHIQ

Luc Ménard, CIH, hygiéniste industriel

Support conseil à la prévention-inspection, CSST

Introduction

Le contenu de cette formation vise à faire connaître et à faire comprendre l'importance de l'approche statistique pour le traitement des mesures en hygiène industrielle. Les notions de statistique sont introduites afin de familiariser les participants avec les types de distribution d'un groupe d'échantillon en hygiène industrielle et les divers paramètres qui permettent de les caractériser. L'interprétation des résultats et leur validité pour déterminer la conformité ou la non-conformité des expositions doivent passer par ces considérations statistiques.

Les concepts abordés au cours de cette session de formation sont parfois abstraits, mais nous tenterons de les illustrer avec des exemples concrets auxquels vous avez probablement été confrontés au cours de vos interventions terrains. Afin de mieux situer le contexte de l'utilisation des statistiques en hygiène industrielle, il importe d'introduire les aspects d'une évaluation approfondie. Également, puisque la sélection des travailleurs, des méthodes d'évaluation et des périodes d'échantillonnage revêt une importance certaine dans l'évaluation approfondie des expositions des travailleurs, une section sur ces notions est présenté dans les paragraphes qui suivent.

1 - Évaluation approfondie

L'évaluation approfondie d'un milieu de travail nécessite une démarche rigoureuse appuyée sur des bases statistiques afin d'assurer une représentativité des échantillonnages. NIOSH a clairement défini les règles à respecter dans son document de référence "Occupational Exposure Sampling Strategy Manual". La section qui suit, tout en conservant l'essence du document se veut un résumé allégé de l'approche de NIOSH.

1.1 ♦ Nature de l'intervention

Les interventions en milieu de travail peuvent prendre différentes formes selon les objectifs poursuivis et la stratégie de mesure qui en découlera, sera adaptée aux objectifs spécifiques de l'intervention. Très souvent, ces interventions servent à déterminer le degré d'exposition d'un travailleur ou d'un groupe de travailleurs cibles afin de vérifier la conformité ou la non-conformité aux normes fixées par règlement ou aux valeurs de référence. Les mesures nécessaires pour caractériser ce type d'exposition doivent se faire préférentiellement à l'aide d'un dispositif porté par le travailleur. Lorsque l'appareil est plus encombrant, il peut servir à mesurer les concentrations en zone respiratoire à l'aide d'une sonde ou d'un appareil portable. Dans certaines circonstances, à cause de contraintes de méthode de mesure personnelle ou pour connaître des niveaux de concentration moyenne à un poste ou une aire de travail, il s'avère que l'échantillonnage en ambiance générale ou en poste fixe sont les plus appropriés. La caractérisation d'une source d'émission pour des fins de contrôle gouverne

également le choix des méthodes de mesures et les instruments utilisées (instruments plus sophistiqués non portatifs).

1.2 ♦Sélection des méthodes d'évaluation

Les méthodes d'évaluation sont choisies selon des critères de disponibilité, de portabilité, de contraintes de temps, de coût et d'espace, les caractéristiques physiques des lieux d'utilisation et finalement l'objectif visé par l'intervention. Le besoin de détecter la présence ou un ordre de grandeur de concentration d'un contaminant peut parfaitement justifier l'utilisation des tubes détecteurs au lieu d'une méthode standard de prélèvement et d'analyse. Le nombre de périodes échantillonnées dépend de l'organisation de la production, des contraintes de saturation des milieux capteurs, de la capacité de fonctionnement des appareils de mesure, du temps disponible pour l'intervention, etc... Cette sélection doit toujours prendre en considération que la qualité des mesures doit primer.

1.3 ♦Sélection des travailleurs

Les travailleurs les plus à risque devraient être évalués de façon prioritaire selon les procédés de fabrication mis en cause et les habitudes personnelles de travail. Parmi une population homogène de travailleurs, le choix des individus se fait de façon aléatoire. Des tables de nombres aléatoire sont disponibles. En général la situation québécoise se prête mal à l'utilisation de ces tables puisque le nombre de travailleurs par fonction similaire est la plupart du temps faible, ce qui oblige à évaluer pratiquement tous les travailleurs. Le nombre de travailleurs à évaluer parmi un groupe à risque d'exposition homogène est déterminé selon les balises de probabilité que nous désirons satisfaire. Les tables suivantes donnent le nombre de travailleurs à échantillonner pour une population à risque homogène.

Table A1		Au moins un travailleur parmi les 10 % à exposition supérieure, probabilité de 90 %											
Grosueur du groupe	8	9	10	11-12	13-14	15-17	18-20	21-24	25-29	30-37	38-40	40-50	51-∞
Employés mesurés	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	22

Table A2		Au moins un travailleur parmi les 10 % à exposition supérieure, probabilité de 95 %										
Grosueur du groupe	12	13-14	15-16	17-18	19-21	22-24	25-27	28-31	32-35	35-41	42-50	51-∞
Employés mesurés	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	29

Table A3		Au moins un travailleur parmi les 20 % à exposition supérieure, probabilité de 90 %				
Grosueur du groupe	6	7-9	10-14	15-26	27-50	51-∞
Employés mesurés	5	6	7	8	9	11

Table A4		Au moins un travailleur parmi les 20 % à exposition supérieure, probabilité de 95 %						
Grosueur du groupe	7-8	9-11	12-14	15-18	19-26	27-43	44-50	51-∞
Employés mesurés	6	7	8	9	10	11	12	14

1.4 ♦ Sélection des périodes d'échantillonnage

Les périodes d'échantillonnage sont choisies en fonction de déterminer avec la plus grande représentativité les expositions des travailleurs afin de vérifier la conformité ou non-conformité à la valeur de référence. La durée et le nombre de prélèvements ainsi que le type de norme à appliquer influencent la décision à prendre. La mesure d'une exposition est effectuée habituellement sur la période complète de l'application d'une norme (8 heures pour une concentration moyenne pondérée dans le temps et 15 minutes pour une concentration maximale). Lors des interventions pour la mesure de l'exposition, quatre situations peuvent se présenter.

Échantillon unique pour la période complète

L'échantillon est prélevé pour la période complète d'application de la norme de 8 heures ou de la norme de 15 minutes pour la concentration maximale ou la valeur plafond. Voir illustration à la figure 1.

Échantillons consécutifs pour la période complète

Deux ou plusieurs échantillons de durées de prélèvement égales ou différentes

sont collectés couvrant la période entière de travail, habituellement 8 heures. Du point de vue statistique cette stratégie est considérée comme la plus représentative et limite également les cas de contamination d'un échantillon en permettant d'identifier par comparaison un échantillon suspect.

Échantillon consécutifs pour une période partielle

Un ou plusieurs échantillons sont prélevés pour une portion seulement de la période de travail. La période d'échantillonnage couvre entre 4 et 8 heures. Des échantillons multiples couvrant un total de moins de 4 heures devraient normalement être considérés comme des échantillons ponctuels et traités en conséquence dans l'interprétation statistique de la conformité (voir section 4).

Échantillons ponctuels

Dans certains cas, il est impossible à cause de contraintes de méthode ou d'instruments de mesure de prélever des échantillons en continue. Les tubes détecteurs et les instruments à lecture directe sont des exemples où des échantillonnages ponctuels sont nécessaires. Une série de prélèvements individuels est effectuée à des intervalles aléatoires durant la période complète de travail ou d'application de la norme.

Plusieurs facteurs influencent le choix d'une stratégie plutôt qu'une autre. La disponibilité et le coût des équipements d'échantillonnage et d'analyse, l'accès au lieux de travail, la variabilité des procédés, la précision et l'exactitude des méthodes et le nombre d'échantillons nécessaires sont tous des facteurs à considérer pour le choix d'une stratégie. Des quatre stratégies décrites, la meilleure consiste à prélever plusieurs échantillons sur la période complète de travail. Cependant les coûts augmentent avec le nombre croissant d'analyse à réaliser. L'échantillon couvrant une période partielle et l'échantillonnage ponctuel viennent ensuite et nécessitent une interprétation statistique plus complexe.

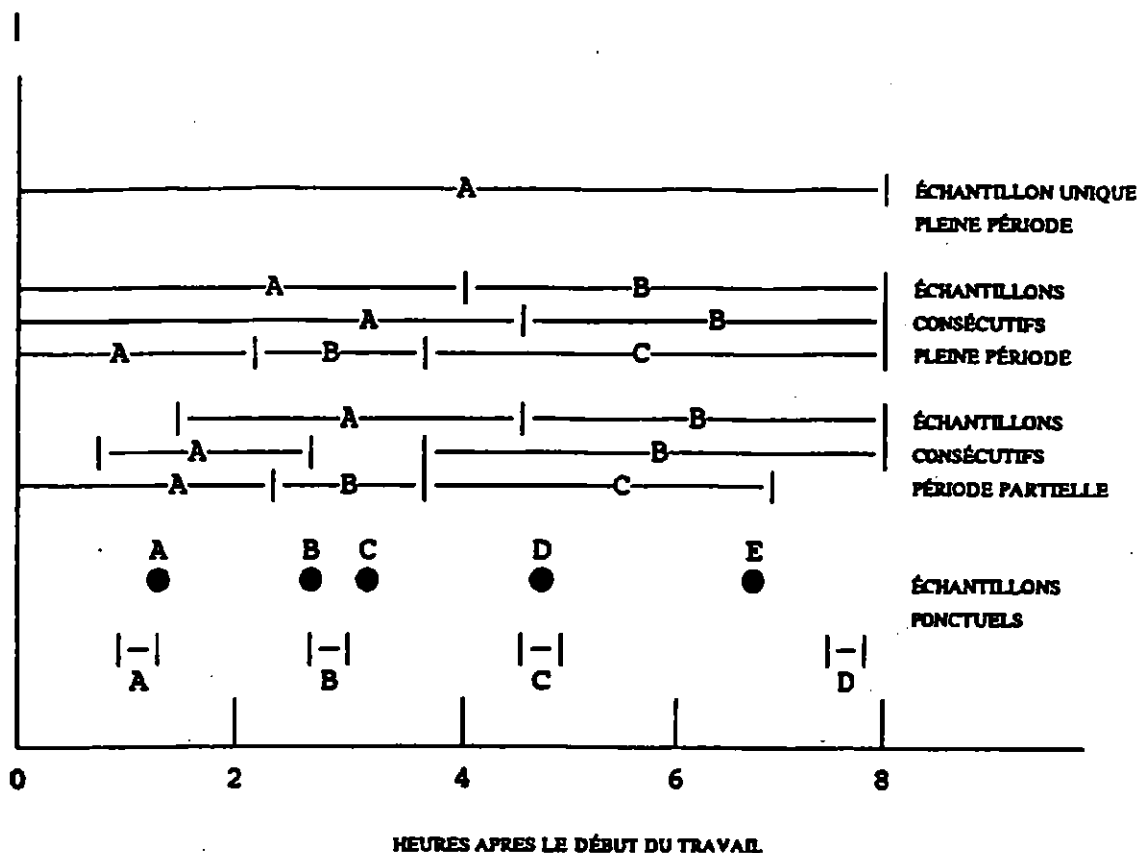


Figure 1: Types d'échantillon pour caractériser une exposition de 8 heures

2. •Précision des méthodes de prélèvement et d'analyse

Afin de bien caractériser l'exposition d'un groupe de travailleurs, l'hygiéniste industriel doit être conscient que toute mesure instrumentale ou analytique comporte une certaine marge d'erreur. L'utilisation des statistiques permet de quantifier, dans certains cas seulement, les erreurs sans toutefois les éliminer. De ces considérations découle que les mesures d'expositions sont des valeurs approximatives que nous espérons le plus rapproché de la réalité. La mise en oeuvre et le maintien de bons programmes d'assurance qualité et une formation appropriée pour l'utilisation des instruments de prélèvement et de mesure vise à restreindre significativement les erreurs.

Les principales sources de variation qui affectent les estimations des mesures d'exposition des travailleurs sont de deux types, des erreurs aléatoires et des erreurs systématiques. Les *erreurs aléatoires* sont quelquefois appelées erreurs statistiques puisqu'elles peuvent être quantifiées par analyse statistique. Elles peuvent être attribuables à l'imprécision des

méthodes d'analyse et de prélèvement aussi bien qu'aux variations imprévisibles des concentrations d'heures en heures ou d'un jour à l'autre. Les erreurs systématiques peuvent être corrigées lorsque détectées et sont dues à des facteurs instrumentaux aussi bien qu'à des erreurs humaines. Elles ne peuvent être quantifiées statistiquement. Afin de mieux comprendre les nuances entre ces deux types d'erreurs en voici quelques exemples.

Parmi les erreurs aléatoires notons:

- la fluctuation dans les débits des pompes;
- certaines erreurs dans les méthodes analytiques;
- les fluctuations dans les concentrations des contaminants au cours de la même journée;
- les fluctuations des concentrations des contaminants d'une journée à l'autre

Des exemples d'erreurs systématiques:

- l'étalonnage ou l'utilisation non-adéquats des instruments;
- les erreurs dans l'enregistrement des résultats de mesures dues au dérèglement d'instruments;
- les baisses soudaines d'efficacité ou les bris des équipements de ventilation;
- les changements dans les conditions ambiantes dus à des défauts de fabrication ou à des conditions d'opération différentes.

Les erreurs aléatoires ne peuvent être prévenues mais peuvent être quantifiées et contrôlées jusqu'à un certain niveau par l'application de programmes d'assurance qualité sévères.

La représentation d'une série de mesures environnementales servant à caractériser une exposition ou une concentration d'ambiance peut prendre deux formes selon les types de mesures effectuées ou les caractéristiques du milieu ambiant soit une **distribution normale**, soit une **distribution lognormale**. La distribution normale donne une représentation graphique en forme de cloche symétrique tandis que la distribution lognormale donne une cloche évasée vers la droite (voir illustration figure 2 et 3).

Les caractères fluctuants des concentrations et des périodes de mesure de plus ou moins longue durée d'un échantillon sont des facteurs qui influenceront le type de distribution d'une série de mesures.

Les résultats d'échantillonnages ponctuels, l'exposition sur 8 heures d'un travailleur d'une journée à l'autre, l'exposition sur 8 heures d'un groupe de travailleurs d'une même fonction, se répartissent habituellement selon une distribution lognormale.

Par contre, une série de mesures analytiques effectuées sur un même échantillon et une série de résultats d'étalonnage avec un même standard auront tendance à se distribuer normalement.

2.1 Paramètre de la distribution normale

Les paramètres décrivant la distribution normale sont présentés dans le texte qui suit. Pour faciliter l'interprétation et la comparaison des résultats, on utilise régulièrement les valeurs de concentration normalisées. Elles sont obtenues en divisant la valeur trouvée par la valeur de référence qui est fonction du produit dosé et de l'objectif de l'hygiéniste.

$$x = \frac{X}{V.R.} \quad (1)$$

x = Concentration normalisée

X = Concentration trouvée

$V.R.$ = Valeur de référence

La moyenne arithmétique et l'écart-type se calculent comme suit:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2)$$

$\bar{x}$ = Moyenne arithmétique

x_i = Concentration normalisée

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3)$$

σ = Écart-type arithmétique

Le coefficient de variation représente l'écart-type relatif à la moyenne d'une série de mesures.

CV = Coefficient de variation

$$Cv = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (4)$$

σ = Écart-type

$\bar{x}$ = Moyenne arithmétique

2.2 Paramètres de la distribution lognormale

Pour une distribution lognormale, la moyenne géométrique et l'écart-type se calculent comme suit:

$$\log M.G. = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log x_i \quad (5)$$

M.G. = Moyenne géométrique (valeur Normalisée)

x_i = Concentration normalisée

$$\log s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\log x_i - \log G.M.)^2} \quad (6)$$

s = Écart-type géométrique (valeur normalisée)

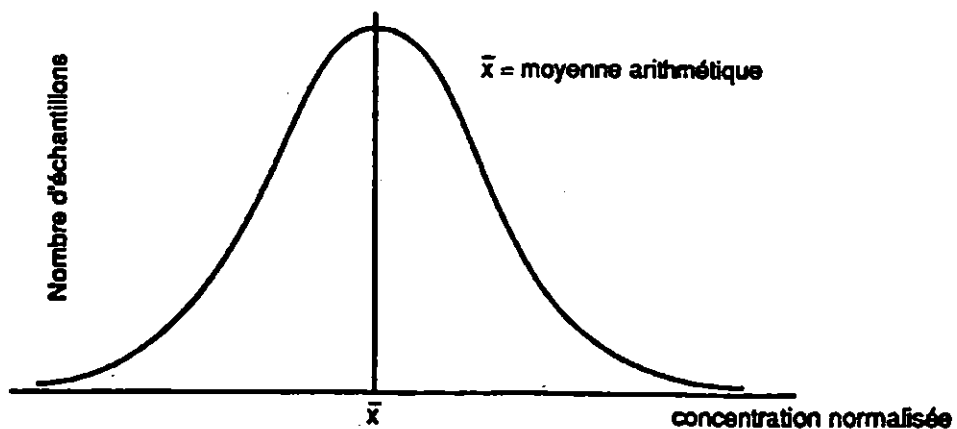


Figure 2 : Distribution normale

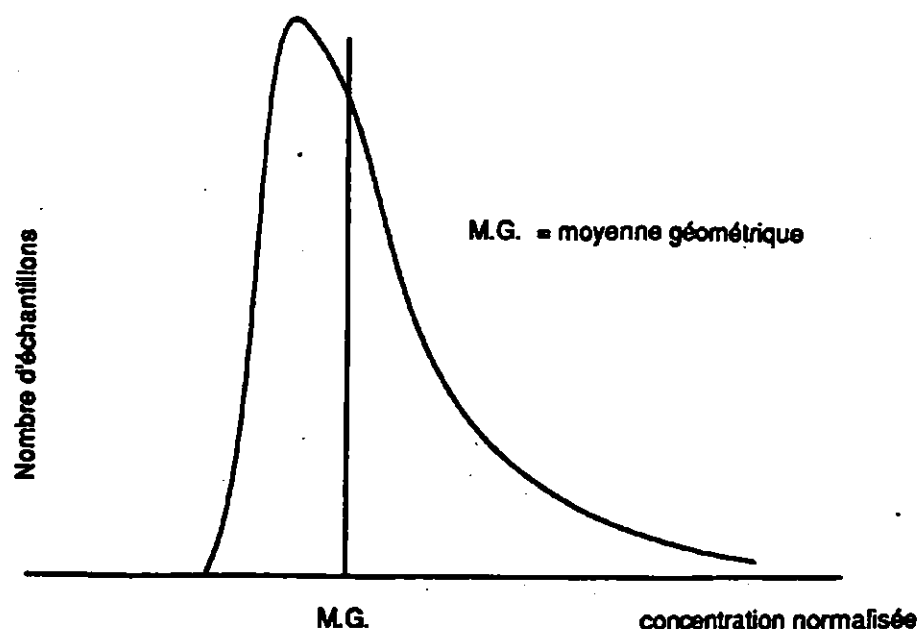


Figure 3 : Distribution lognormale

Le coefficient de variation se définit comme étant l'écart-type relatif à la moyenne d'une série de mesures. Les coefficients de variation reportés habituellement sont reliés aux instruments de prélèvement et aux méthodes analytiques.

2.3 ♦ Précision sur l'échantillonnage

La précision de l'échantillonnage due aux pompes seulement est habituellement estimée à 0,05 (5 %). C'est d'ailleurs cette précision que les manufacturiers de pompes de prélèvement s'engagent à rencontrer dans leurs spécifications. Donc le coefficient de variation pour l'échantillonnage (CV_E) est fonction de l'ensemble des étapes menant à la prise d'échantillon et peut être quantifié par l'intervenant en fonction de ses procédures d'assurance-qualité.

2.4 ♦ Précision sur l'analyse

Pour les méthodes analytiques, les coefficients de variation sont déterminés par des séries d'échantillons obtenues par génération et par comparaison à des standards. Les coefficients de variation analytiques (CV_A) sont inclus dans la description de la plupart des méthodes analytiques disponibles à l'IRSST.

2.5 ♦ Coefficient de variation totale

Le coefficient de variation totale devrait tenir compte des erreurs reliées à l'échantillonnage (CV_E) et aux procédures analytiques (CV_A). Le coefficient de variation totale se calcule par la somme quadratique des erreurs.

$$CV_T = \sqrt{(CV_E)^2 + (CV_A)^2} \quad (7)$$

Puisque nous ne disposons pas des CV_E réels, nous utiliserons un CV_E estimé à 0,05 (5%) lors du calcul du CV_T pour la publication de nos méthodes analytiques.

3 • Analyse statistique des résultats d'échantillonnage

L'analyse statistique des résultats d'échantillonnage vise à déterminer le degré de certitude auquel nous pouvons nous attendre pour une mesure ou une série de mesures effectuées pour déterminer un niveau d'exposition de travailleurs. Le traitement statistique qui suit introduit des paramètres permettant d'établir à quel niveau de confiance une exposition rencontre ou ne rencontre pas les normes.

3.1 ♦ Limites de confiance

Un ensemble de mesures se répartit habituellement selon une distribution normale ou lognormale. La distribution normale se représente graphiquement sous forme caractéristique d'une cloche (voir figure 4). Une distribution lognormale survient principalement lorsque des échantillons de courte durée sont prélevés ou que des fluctuations importantes sont attribuables aux procédures. Pour une déviation lognormale, le logarithme des valeurs de concentration est utilisé et la représentation graphique prend alors la forme d'une distribution normale. La déviation standard (σ) caractérise l'étalement de la cloche dont la moyenne ($\bar{x}$) se situe au centre de la distribution. L'espace sous la cloche et l'axe des x compris entre la moyenne et $\pm 1.96 \sigma$ contient 95 % des mesures. L'étalement à $\pm 1 \sigma$ contient 68 % des valeurs.

Pour déterminer s'il y a dépassement de la valeur de référence sélectionnée avec une limite de confiance de 95%, il faut que sous la courbe de distribution en cloche, 95% des résultats excède cette valeur de référence. On parle alors de limite de confiance inférieure (LCI) où le 5% des résultats les plus faibles sont ignorés. Mathématiquement, cette coupure (LCI) regroupera tous les résultats sous la courbe entre les valeurs $-1,645 \sigma$ et l'infini. (Voir figure 5.)

De la même façon, pour déterminer qu'il y a non-dépassement de la valeur de référence sélectionnée avec une limite de confiance de 95%, il faut que sous la courbe de distribution en cloche, 95% des résultats se situent à une valeur inférieure à la valeur de référence. On parle alors de limite de confiance supérieure (LCS) où

le 5% des résultats les plus élevés est ignoré. Cette coupure (LCS) regroupera tous les résultats sous la courbe entre les valeurs $+1,645 \sigma$ et $-\infty$. (Voir figure 5.)

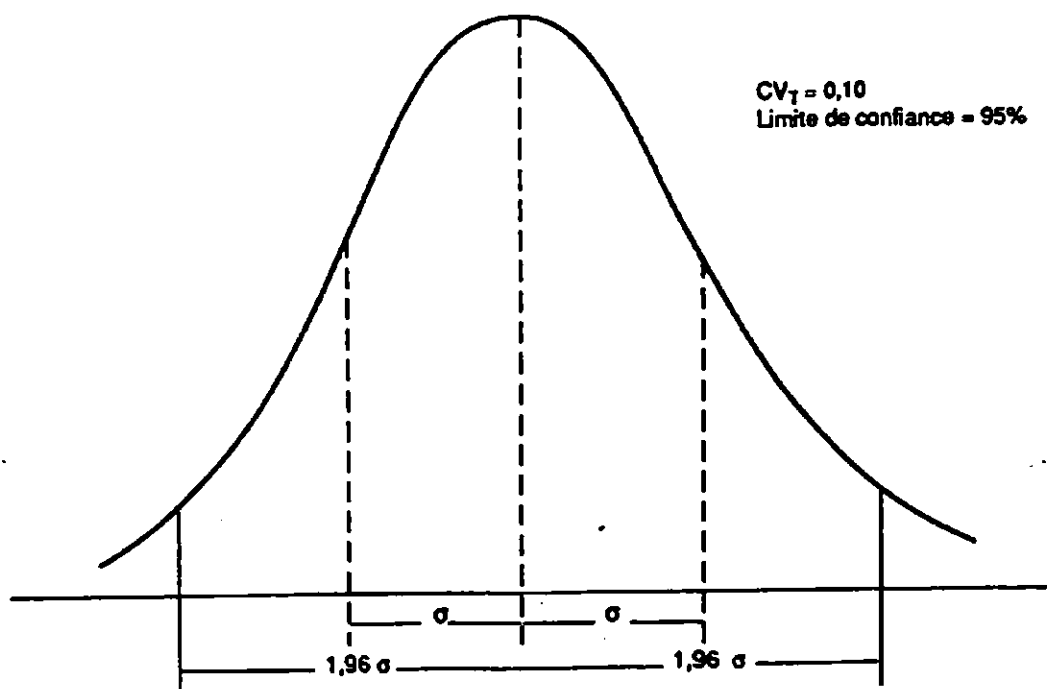


Figure 4: Distribution normale d'une série d'échantillons de 8 heures

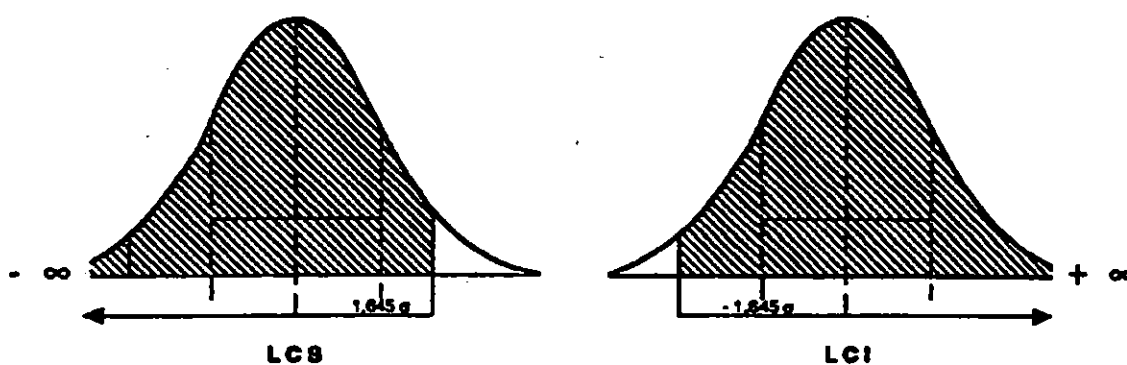


Figure 5: Illustration d'une limite de confiance unilatérale inférieure et supérieure

3.2 ♦ Décision du dépassement et du non-dépassement

À l'aide du coefficient de variation totale de la valeur normalisé de la mesure ou d'un groupe de mesures, on peut calculer les limites de confiance supérieures et inférieures. Trois situations peuvent se présenter : une exposition non-conforme, une exposition conforme ou une surexposition possible. Les trois situations sont illustrées dans la figure 6.

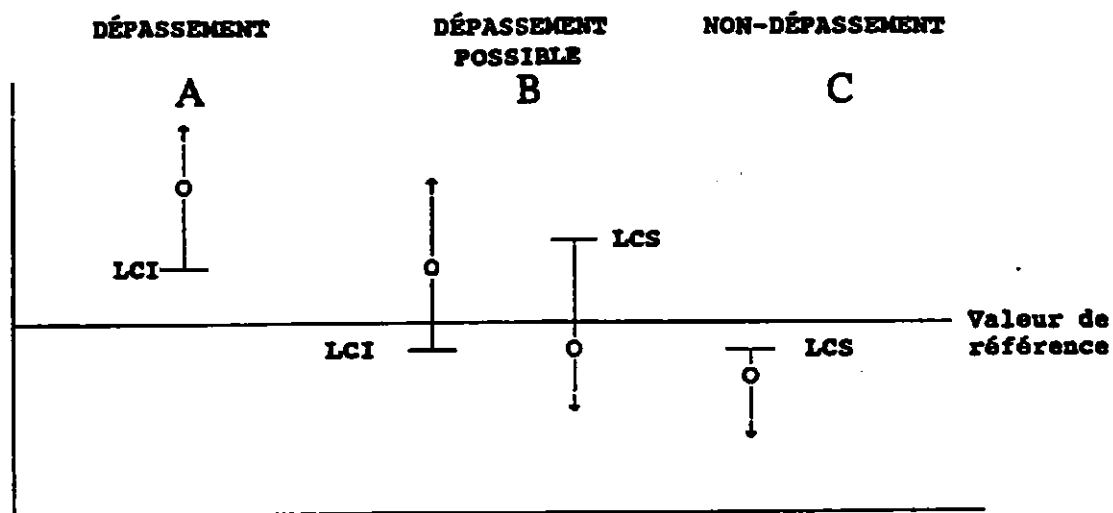


Figure 6: Classification selon les limites de confiance unilatérales

3.3 ♦ Calcul des doses d'exposition

Le calcul de la dose d'exposition pour une série de mesures couvrant la période complète de travail est effectué à l'aide de la formule suivante:

$$\text{Concentration moyenne } (C_m) = \frac{C_1 T_1 + C_2 T_2 + \dots + C_n T_n}{T_1 + T_2 + \dots + T_n} \quad (8)$$

où C = concentration mesurée pendant un temps T

T = temps en heures de la période échantillonnée pour un total de 8 heures.

Pour un mélange de solvants ayant les mêmes propriétés on utilise le coefficient de la somme des fractions d'un mélange. Ce calcul est effectué

a l'aide des concentrations moyennes permises pour chacun des solvants et de la valeur de la mesure pour 8 heures d'exposition pour chaque solvant.

$$R_m = \frac{C_1}{M_1} + \frac{C_2}{M_2} + \dots + \frac{C_n}{M_n} \quad (9)$$

où R_m = somme des fractions du mélange

C_n = concentration de chacun des solvant dans l'air

M_n = concentration moyenne admissible pour chaque solvant

Lorsque le R_m dépasse l'unité (1), la concentration admissible du mélange est dépassée et l'exposition est non conforme.

4. •Classification des expositions pour une norme de concentration moyenne (8 heures)

La section qui suit présente les cas les plus courants qui surviennent et qui nécessite un traitement statistique pour pouvoir déterminer en deça d'une certaine marge de confiance le dépassement ou non d'une valeur de référence. Ce type de traitement est surtout nécessaire pour établir la conformité ou la non-conformité d'exposition de travailleur par un organisme gouvernemental ou la direction d'un établissement. Il peut aussi être utile pour les programme de surveillance des travailleur afin de mettre en place des mécanisme de contrôle.

4.1 Échantillon unique, période complète

Pour un échantillon unique couvrant la période complète de 8 heures, on calcule la concentration normalisée à l'aide de la l'équation (1). La limite de confiance inférieure (LCI) et la limite de confiance supérieure (LCS) se calcule comme suit:

$$LCI(95\%) = x - (1.645) (CV_p) \quad (10)$$

LCI(95%) = Limite de confiance inférieure

x = Valeur de concentration normalisée (voir équation 1)

$$LCS(95\%) = x + (1.645) (CV_p) \quad (11)$$

LCS(95%) = Limite de confiance supérieure

x = Valeur de concentration normalisée (voir équation 1)

On peut alors classer l'exposition selon le système suivant:

- Si LCI est $>$ que 1, classer comme non-conforme.
- Si LCI est $<$ que 1 ou que LCS est $>$ que 1, classer comme surexposition possible.
- Si LCS est $<$ que 1, classer comme conforme.

Voir illustration à la figure 6 pour une meilleure compréhension.

4.2 • Échantillons multiples, période complète

Pour plusieurs échantillons couvrant la période complète de 8 heures pour une exposition uniforme, on procède au calcul de l'exposition moyenne pondéré sur 8 heures à l'aide de l'équation 8. La concentration moyenne (C_m) trouvée est divisée par la valeur de référence (V.R.) et la somme quadratique des temps est utilisée pour pondérer de façon relative les périodes respectives d'échantillonnage. Les limites de confiance se déterminent comme suit:

$$LCI(95\%) = \left(\frac{C_m}{V.R.} \right) - 1.645(CV_T) \frac{\sqrt{T_1^2 + T_2^2 + \dots + T_n^2}}{T_1 + T_2 + \dots + T_n} \quad (12)$$

$$LCS(95\%) = \left(\frac{C_m}{V.R.} \right) + 1.645(CV_T) \frac{\sqrt{T_1^2 + T_2^2 + \dots + T_n^2}}{T_1 + T_2 + \dots + T_n} \quad (13)$$

où C_m est la concentration moyenne trouvée, V.R. est la valeur de référence et T_1 à T_n sont les périodes d'échantillonnage en minutes ou en heures avec un total de 480 min. ou 8 hres.

- Si LCI est $>$ 1, classer comme exposition non-conforme.
- Si $C_m/V.R.$ est $>$ que 1 et que $LCI \leq 1$ ou que $C_m/V.R.$ est $<$ que 1 et que $LCS \geq 1$ classer comme surexposition possible.
- Si $C_m/V.R.$ est $<$ 1 et que LCS est $<$ que 1, classer comme conforme.

4.3 • Échantillons multiples, période complète (échantillons non-uniformes)

Pour une exposition non-uniforme couvrant la période complète de travail, on utilise les relations suivantes pour déterminer la conformité.

$$LCI(95\%) = \left(\frac{C_m}{V.R.} \right) - \frac{1.645(CV_T) \sqrt{T_1^2 X_1^2 + \dots + T_n^2 X_n^2}}{(V.R.) (T_1 + \dots + T_n) \sqrt{1 + CV_T^2}} \quad (14)$$

$$LCS(95\%) = \left(\frac{C_m}{V.R.} \right) + \frac{1.645(CV_T) \sqrt{T_1^2 X_1^2 + \dots + T_n^2 X_n^2}}{(V.R.) (T_1 + \dots + T_n) \sqrt{1 - CV_T^2}} \quad (15)$$

La même logique de classification s'applique que pour la section 4.2.

4.4 • Échantillons multiples consécutifs, période partielle

Pour un échantillonnage partiel composé d'échantillons consécutifs, on utilise le même cheminement que les deux exemples précédent pour calculer les limites de confiance inférieure et supérieure.

Le calcul de la limite de période partielle se calcule comme suit:

$$PPL = \left[\frac{\text{période du standard (8 hres)}}{\text{temps d'échantillonnage total}} \right] \quad (16)$$

La classification des expositions pour la conformité ou non-conformité se fait comme suit:

- Si $LCI > PPL$ classer comme exposition non conforme.
- Si $C_m/V.R. > PPL$ et $LCL \leq PPL$ ou que $C_m/V.R. \leq PPL$ et que $LCS \geq PPL$, classer comme surexposition possible.
- Si $C_m/V.R. < PPL$ et que $LCS < PPL$ classer comme conforme.

Note: Dans cet exemple, on assume que la période non-échantillonnée a une

exposition nulle (0). Si ce n'est pas le cas on soutient l'hypothèse que durant les périodes non-échantillonnées l'exposition est la même que durant les périodes ayant fait l'objet d'échantillonnage. Dans les deux cas, on calcule avec les formules pour périodes complètes données précédemment (4.1, 4.2 ou 4.3 selon le cas).

Cependant, le fait d'échantillonner moins de 8 heures pour statuer sur le respect ou non des normes a pour effet de réduire de beaucoup la fiabilité des résultats (voir la figure 7). La décision d'échantillonner moins de 8 heures doit se faire en toute connaissance de cette implication. Des mesures d'expositions mesurées sur moins de 8 heures sont définitivement plus difficiles à soutenir statistiquement lorsque contestées.

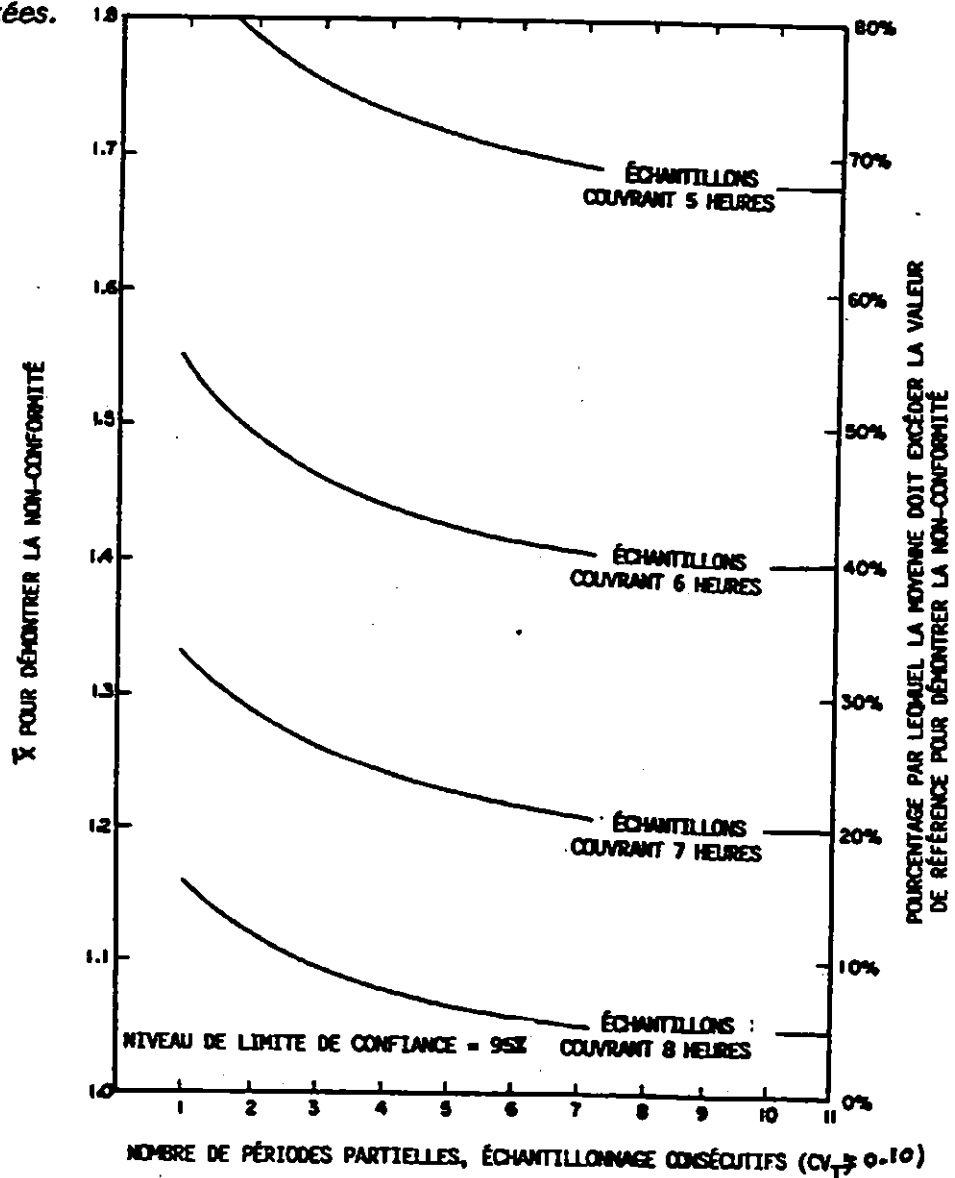


Figure 7 : Effet d'un échantillonnage multiple de durée variable sur la démonstration de la non-conformité

4.5 • Échantillons ponctuels (moins de 30 échantillons)

Pour des échantillons ponctuels pris au hasard au cours de la période complète de travail, on doit procéder de la façon suivante pour déterminer la conformité de l'exposition.

Les valeurs normalisées sont calculées pour chacune des concentrations instantanées (équation 1) et ensuite les valeurs logarithmiques ($y_1 = \log x_1$). Ensuite la moyenne arithmétique ($\bar{y}$) et la déviation standard (s) des valeurs logarithmiques des concentrations normalisées sont trouvées par les équations (2) et (3) respectivement.

À l'aide de la charte présenté à la figure 8 identifier un point ayant les coordonnées $\bar{y}$ et s . À l'aide de ces deux paramètres et du nombre de mesures effectuées, on détermine la conformité, la surexposition possible ou la non-conformité à la valeur de référence.

La meilleure estimation de l'exposition moyenne est obtenue à l'aide du graphe de la figure 9 par les paramètres $\bar{y}$ et s . Sur l'axe de droite se trouve la valeur estimative de X^* moyen/V.R.. Si $\bar{y}$ et s sont à l'extérieur du domaine, la formule suivante donne l'estimation de l'exposition moyenne normalisée. X^* moyen est obtenu en multipliant le rapport de l'équation 17 par la valeur de la valeur de référence (V.R.).

$$\frac{\overline{X^*}}{V.R.} = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \dots + x_n) \quad (17)$$

4.6 • Échantillons ponctuels (30 échantillons et plus)

Pour un grand nombre d'échantillons de courte durée, par exemple des mesures prise sur toute la période à l'aide d'un instrument à lecture directe, on peut considéré ces mesures comme une mesure continue et le traité comme tel. L'ensemble des mesures sont normalisée et on détermine la moyenne arithmétique et l'écart-type. Le calcul des limites inférieure et supérieure de confiance sont trouvées à l'aide des équations suivantes:

$$LCI(95\%) = \bar{x} - \frac{1.645 \sigma}{\sqrt{n}} \quad (18)$$

L'interprétation de la conformité et de la non-conformité est identique à la section 4.1. Il n'est pas nécessaire d'utiliser le CV_T pour des grandes séries de mesures puisque l'écart-type des mesures donne une bonne indication de l'étalement des mesures en dehors des erreurs analytiques et d'échantillonnage.

$$LCS(95\%) = \bar{x} + \frac{1.645 \sigma}{\sqrt{n}} \quad (19)$$

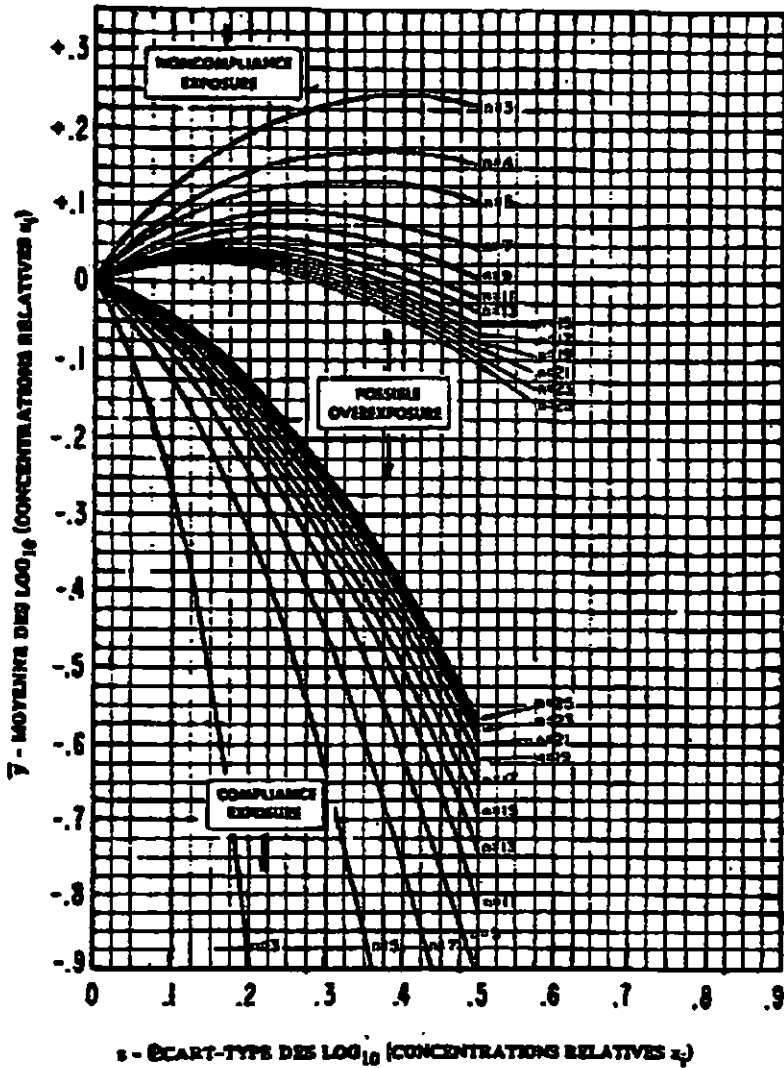


Figure 8: Charte de classification des mesure d'exposition par échantillonnage ponctuel

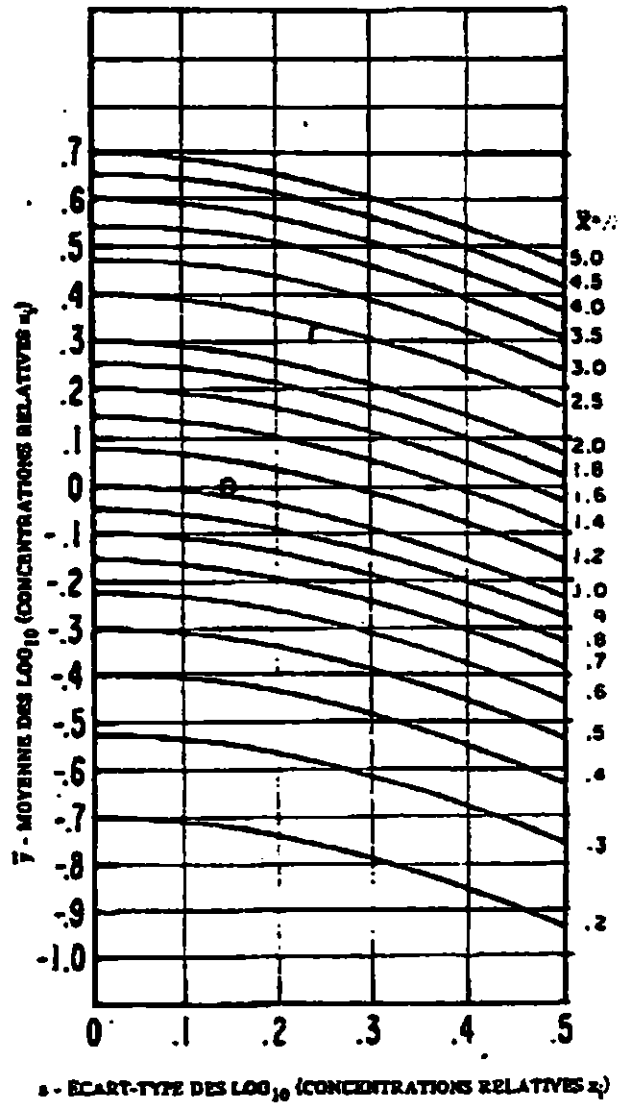


Figure 9: Graphe pour l'estimation de l'exposition moyenne normalisée et l'exposition moyenne

Références bibliographiques:

- 1 - Leidel, N.A., Busch, K.A. and Lynch, J.R. Occupational Exposure Sampling Strategy Manual. US Department of Health, Education and Welfare, NIOSH.
- 2 - Guide d'échantillonnage des contaminants de l'air. Groupe de travail, Direction des laboratoires, IRSST, août 1993.

F 9886

ex.2

Boucher, S.

E-3011

Lignes directrices de surveillance
~~médicale des travailleurs exposés~~
~~aux poussières respirables conte-~~
~~nant de la silice cristalline.~~

F 9886

ex.2