

Guide d'échantillonnage des contaminants de l'air en milieu de travail

Institut de recherche Robert-Sauvé en santé
et en sécurité du travail (IRSST)

T-06





NOS RECHERCHES travaillent pour vous!

Solidement implanté au Québec depuis 1980, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) est un organisme de recherche scientifique reconnu internationalement pour la qualité de ses travaux.

Pour en savoir plus

Visitez notre dépôt institutionnel PhareSST! Vous y trouverez une information complète et à jour. De plus, toutes les publications éditées par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement.

www.pharesst.irsst.qc.ca

Pour connaître l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement :

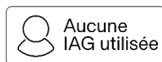
- au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par l'Institut et la CNESST (preventionautravail.com)
- au bulletin électronique [InfoIRSST](#)

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2025
ISBN 978-2-89797-331-5 (8^e édition, version 8.2, 2025)

<https://doi.org/10.70010/CLOP5833>

Divulgarion de l'utilisation de
l'intelligence artificielle générative (IAG)



© Institut de recherche Robert-Sauvé en santé
et en sécurité du travail, 2025

Ce document est sous une licence Creative Commons.
[Attribution - Utilisation non commerciale - Pas d'œuvre dérivée 4.0 International](#). Cette licence autorise l'utilisation et le partage du document, à condition que l'IRSST soit cité en tant que source, que le contenu est diffusé sans modification et qu'il est utilisé à des fins non commerciales. Si vous souhaitez modifier son contenu ou l'utiliser à des fins commerciales, veuillez contacter : publications@irsst.qc.ca



Illustrations des figures 22, 32, 35, 36a) et 37 © Jacques Perreault

IRSST — Service des communications et des relations publiques
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec) H3A 3C2
Téléphone : 514 288-1551
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca

Note au lectorat

Ce guide a été financé par l'IRSST. Les conclusions et recommandations sont celles des autrices et auteurs.

Avis de non-responsabilité

L'IRSST ne donne aucune garantie relative à l'exactitude, la fiabilité ou le caractère exhaustif de l'information contenue dans ce document. En aucun cas l'IRSST ne saurait être tenu responsable pour tout dommage corporel, moral ou matériel résultant de l'utilisation de cette information. Notez que les contenus des documents sont protégés par les législations canadiennes applicables en matière de propriété intellectuelle. Cette publication est disponible en version PDF sur le dépôt institutionnel de l'IRSST (PhareSST).

CONTRIBUTION ET REMERCIEMENTS

La présente version du *Guide d'échantillonnage des contaminants de l'air en milieu de travail* a été réalisée sous la responsabilité de la Direction des laboratoires (DL) de l'IRSST. Cette version provient de la 8.1, publiée en 2012 sous la responsabilité de Guylaine Beauchamp et Daniel Drolet. Les parties 2 et 3 ont fait l'objet d'une refonte majeure, tandis que la partie 1 a subi des ajustements éditoriaux, sans modification du contenu technique.

Les personnes suivantes ont participé à la rédaction de la présente version (par ordre alphabétique) : Simon Aubin, Ousmane Bangoura, Audrey Bernèche-D'Amours, Mickaël Calosso, Pierre-Luc Cloutier, Sébastien Gagné, Mélanie Huard, Delphine Lanoie, Alberto Morales, Mohamed Nejib Saidi et Loïc Wingert.

Un comité conseil externe a été mis en place afin de porter un éclairage scientifique et technique auprès des personnes ayant participé à la rédaction de la présente version. Le comité conseil externe était formé de Stéphane Archambault, Maximilien Debia, Natalie Fortin, Marc-André Huberdeau et Lucie Marcotte (par ordre alphabétique). Des remerciements à (par ordre alphabétique) : Caroline Duchaine, Philippe Duquenne, Pauline Loison, Geneviève Marchand, Thi Thanh Tam Nguyen et Xavier Simon pour leur révision et commentaires sur la section 2.9. Enfin, des remerciements également à Isabelle Maguire et Capucine Ouellet pour leur lecture et commentaires sur l'ensemble des sections.

Avis

La version 8.2 du guide consiste en une mise à jour d'éléments techniques qui ont pu changer depuis la version précédente publiée en 2012. Les nombreux changements effectués dans l'Annexe I du *Règlement sur la santé et la sécurité* (RSST) ont mené à l'introduction de nouvelles notations et définitions entraînant des répercussions significatives sur la mesure de l'exposition professionnelle à des contaminants chimiques dans l'air. Ce guide étant utilisé quotidiennement par de nombreux intervenants en hygiène du travail au Québec, une mise à jour devenait nécessaire pour des raisons liées à l'évolution des techniques de mesures en hygiène du travail et la nature des opérations de la Direction des laboratoires de l'IRSST.

L'utilisation des données incluses dans cette publication ainsi que l'application de ces méthodes et techniques se feront aux seuls risques de l'utilisateur : l'IRSST se dégage de toute responsabilité relative aux erreurs et aux dommages qui découleraient de telle utilisation ou application. Les hyperliens qui se retrouvent dans ce document ont été validés au moment de sa publication.

PRÉAMBULE

Ce guide technique de l'IRSST présuppose l'autonomie de l'utilisateur dans le choix des objectifs de ses interventions et des moyens pour atteindre ces objectifs. Le guide assiste cet utilisateur dans l'obtention de données scientifiques et techniques dont la justesse (exactitude) et la fiabilité (précision) sont connues par rapport à une valeur de référence. Le degré de qualité requis pour atteindre les objectifs d'une intervention doit être déterminé par les responsables de l'intervention.

Contenu du document

Parties réglementaires

- Partie 1 : Stratégie d'échantillonnage
- Partie 3 : Échantillonnage et analyse des contaminants
- Fiches des substances règlementées du *Guide d'échantillonnage des contaminants de l'air en milieu de travail*, disponibles uniquement sur le site Web (www.irsst.qc.ca/laboratoires/analyses/contaminants-air).

Parties non réglementaires

- Partie 2 : Instruments et techniques d'échantillonnage
- Fiches des substances non règlementées du *Guide d'échantillonnage des contaminants de l'air en milieu de travail*, disponibles uniquement sur le site Web (www.irsst.qc.ca/laboratoires/analyses/contaminants-air). Les substances concernées ont une mention "Substance non règlementée" sous le nom de la substance à même la fiche Web.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
1. STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE	2
Introduction	2
1.1 Description de la stratégie d'échantillonnage	2
1.1.1 Exposition potentielle à des contaminants	3
1.1.2 Collecte des informations sur le milieu du travail	5
1.1.3 Évaluation préliminaire de l'exposition	5
1.1.4 Exploration des données disponibles et pertinentes	6
1.1.5 Évaluation approfondie de l'exposition.....	6
1.1.5.1 Le support statistique.....	7
1.1.5.2 Éléments de base du traitement statistique.....	7
1.1.5.3 Limites de confiance	12
1.1.5.4 Décision du dépassement ou du non-dépassement.....	13
1.1.5.5 Choix des travailleurs exposés	14
1.1.5.6 Sélection des conditions représentatives de l'exposition	16
1.1.6 La périodicité du suivi environnemental	18
1.2 Exemples de calcul de l'exposition quotidienne moyenne (EQM), du R _m et de la limite d'excursion.....	19
1.2.1 Pondération de l'exposition par quart de travail	19
1.2.2 Application de la limite d'excursion	22
2. INSTRUMENTS ET TECHNIQUES D'ÉCHANTILLONNAGE	24
Introduction	24
2.1 Unités de concentrations des VEA du RSST (ppm et mg/m ³)	24
2.1.1 Calcul de la concentration d'exposition exprimée en termes de masse ou fibre par volume (mg/m ³ ou en fibre/cm ³).....	25
2.1.2 Calcul de la concentration d'exposition exprimée en ppm (vol/vol)	25
2.1.3 Prémisses scientifiques et types de valeurs de référence.....	26
2.2 Gaz et vapeurs.....	27
2.2.1 Instruments à lecture directe.....	27
2.2.2 Dispositifs colorimétriques à lecture directe	37
2.2.3 Milieux collecteurs pour prélèvement intégré	38
2.2.3.1 Prélèvement actif	38

2.2.3.2	Prélèvement passif	41
2.2.3.3	Sacs de prélèvement	43
2.2.3.4	Prélèvement d'air entier par canister.....	44
2.3	Aérosols.....	45
2.3.1	Définitions générales	45
2.3.1.1	Aérosols solides.....	45
2.3.1.2	Aérosols liquides.....	45
2.3.2	Critères sélectifs de la taille des particules collectées.....	46
2.3.2.1	Particules de la fraction inhalable de l'aérosol (Pi)	48
2.3.2.2	Particules de la fraction thoracique de l'aérosol (P _{thor})	48
2.3.2.3	Particules de la fraction respirable de l'aérosol (Pr)	48
2.3.2.4	Particules totales	49
2.3.2.5	Nanomatériaux	49
2.3.3	Méthodes d'évaluation.....	51
2.3.3.1	Instruments à lecture directe (ILD).....	51
2.3.3.2	Prélèvements intégrés	52
2.3.4	Dispositifs de prélèvement.....	53
2.3.4.1	Sélecteurs granulométriques	53
2.3.4.2	Supports de collecte	57
2.3.5	Membranes filtrantes et leurs propriétés de filtration.....	60
2.3.5.1	Matériaux et structures physiques des filtres	61
2.3.5.2	Porosité des filtres	61
2.3.5.3	Mécanismes de collection des aérosols.....	61
2.3.5.4	Utilisation des filtres	62
2.4	Substances semi-volatiles.....	63
2.4.1	Définitions	63
2.4.1.1	Notation fraction inhalable des particules et phase vapeur (IFV)...	64
2.4.2	Méthodes d'évaluation.....	64
2.4.2.1	Substances non réactives.....	64
2.4.2.2	Substances réactives.....	66
2.5	Cas particuliers	69
2.5.1	Utilisation d'un indicateur pour la mesure de l'exposition à un contaminant chimique complexe.....	69

2.5.1.1	Brai de goudron de houille volatile (fraction soluble dans le benzène)	69
2.5.1.2	Fumées d'asphalte	70
2.5.1.3	Gaz d'échappement des moteurs diesel	70
2.5.1.4	Particules non classifiées autrement (PNCA).....	70
2.5.2	Mesure des composés du chrome hexavalent.....	72
2.5.3	Mesure de l'exposition aux fumées de soudage	73
2.5.3.1	Description sommaire	73
2.5.3.2	Techniques de prélèvement.....	73
2.5.3.3	Emplacement du dispositif sur le travailleur	75
2.5.3.4	Mesure gravimétrique des fumées de soudage.....	76
2.5.3.5	Implications dans le calcul du Rm	77
2.6	Témoins.....	77
2.6.1	Témoins en général.....	77
2.6.2	Témoins d'analyse gravimétrique	78
2.7	Prélèvements d'échantillon de procédé ou de surface	79
2.7.1	Échantillons de procédé	80
2.7.1.1	Produit de référence	80
2.7.1.2	Analyse de composition	80
2.7.2	Mesure de la contamination surfacique	82
2.7.2.1	Tests colorimétriques qualitatifs rapides	82
2.7.2.2	Prélèvements de surface et analyses quantitatives.....	82
2.8	Air comprimé respirable	86
2.9	Risques biologiques (agents microbiens).....	87
2.9.1	Introduction	87
2.9.2	Démarche proposée pour l'évaluation	88
2.9.3	Les bactéries et leurs dérivés	89
2.9.3.1	Bactéries cultivables	89
2.9.3.2	Bactéries du genre <i>Legionella</i>	93
2.9.3.3	Endotoxines	94
2.9.4	Les moisissures.....	95
2.9.4.1	Moisissures cultivables	95
2.9.4.2	Dénombrement et caractérisation de spores de moisissures	96
2.9.4.3	Les structures mycologiques.....	97

2.9.5	Considérations particulières : témoin et délais de conservation	98
2.10	Description des trains de prélèvement	99
2.10.1	Pompes de prélèvement.....	99
2.10.1.1	Pompes personnelles	99
2.10.1.2	Pompes à très haut débit	100
2.10.2.	Débitmètres et mesure des débits	101
2.10.2.1	Corrections pour les variations de température et/ou de pression	104
2.10.3	Ajustement du débit sur le site prélèvement	105
2.10.4	Ajustement du débit hors site de prélèvement	105
3.	ÉCHANTILLONNAGE ET ANALYSE DES CONTAMINANTS.....	106
	Introduction	106
3.1	Considérations particulières pour le laboratoire d'analyse.....	106
3.2	Fiches des substances du <i>Guide d'échantillonnage des contaminants de l'air en milieu de travail</i>	107
3.3	Description des acronymes et de certains éléments des fiches des substances ...	108
3.4	Paramètres de prélèvement et contraintes analytiques	114
3.5	Note au sujet des asphyxiants simples	114
	BIBLIOGRAPHIE	116
	ANNEXE A	Erreur ! Signet non défini.
	Table des acronymes des principes analytiques	124

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.	Tables de sélection de travailleurs d'un groupe d'exposition similaire	16
Tableau 2.	Évaluation de l'exposition du travailleur Y	21
Tableau 3.	Exposition d'un travailleur à un mélange de solvants	22
Tableau 4.	Instruments à lecture directe disponibles à l'IRSST.....	32
Tableau 5.	ILD disponibles à l'IRSST pour l'évaluation des aérosols.....	52
Tableau 6.	Exemples de cyclones pouvant être utilisés en hygiène du travail	54
Tableau 7.	Dispositifs d'échantillonnage en fraction inhalable disponibles à l'IRSST.....	60
Tableau 8.	Barème de solubilité dans l'eau des ICSCs pour substances potentiellement mesurées dans l'air.....	71
Tableau 9.	Principaux métaux cités au RSST, leur VEMP et type de méthode analytique, regroupés par fraction granulométrique	74
Tableau 10.	Résumé des dispositifs applicables au prélèvement de fumées de soudage disponibles à l'IRSST*	75
Tableau 11.	Agents microbiens analysés à l'IRSST, leurs dispositifs, consignes d'échantillonnage et méthodes d'analyse associées	89
Tableau 12.	Pompes d'échantillonnage disponibles à l'IRSST et leurs températures d'utilisation.....	100
Tableau 13.	Débitmètres disponibles à l'IRSST et leurs débits et températures d'utilisation	104

LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Schéma décisionnel d'évaluation de l'exposition.....	4
Figure 2.	Distribution normale	8
Figure 3.	Distribution log-normale	9
Figure 4.	Distribution normale d'une série d'échantillons de 8 heures	12
Figure 5.	Illustration des limites de confiance inférieure et supérieure	13
Figure 6.	Classification selon les limites de confiance unilatérales.....	14
Figure 7.	Types d'échantillons pour caractériser une exposition de 8 heures (VEMP)	19
Figure 8.	Exemple de dépassement de la limite d'excursion par cumul de temps	23
Figure 9.	Exemple de dépassement de la limite d'excursion par élévation de la concentration	23
Figure 10.	Analyseur de vapeur de mercure Jerome J405 (AMETEK Brookfield)	28
Figure 11.	Détecteur 4 gaz X-am 8000 (Dräger)	29
Figure 12.	Détecteur de gaz Pac 8000 (Dräger).....	29
Figure 13.	Détecteur 4 gaz X-am 5600 (Dräger)	30
Figure 14.	Détecteur ToxiRAE Pro (Honeywell)	31
Figure 15.	Détecteur de gaz DF 110 (KIMO instruments)	31
Figure 16.	Dispositif à plaquettes (Dräger X-act 7000).....	38
Figure 17.	Tubes adsorbants	39
Figure 18.	Tubes de désorption thermique en acier inoxydable	39
Figure 19.	Barboteur a) à bout conique et b) à bout fritté	40
Figure 20.	Dosimètre passif modèle a) 566AT et b) 571AT (Assay Technology).....	42
Figure 21.	Sac de prélèvement.....	44
Figure 22.	Régions du système respiratoire (à titre indicatif).....	47
Figure 23.	Courbe d'efficacité de collection des différentes fractions granulométriques de particules	47
Figure 24.	Schéma d'un train d'échantillonnage.....	53
Figure 25.	Exemples d'impacteurs parallèles : a) respirable à usage unique, b) thoracique à usage unique et c) respirable et réutilisable.....	55
Figure 26.	Exemple d'adaptateur pour la vérification du débit d'un impacteur parallèle	56
Figure 27.	Impacteur en cascade de type Marple	57

Figure 28.	Cassettes et filtre avec nacelle.....	58
Figure 29.	Dispositifs de prélèvement de la fraction inhalable : a) cassette inhalable réutilisable, b) cassette inhalable à usage unique et c) cassette multi-fractions (avec mousse).....	59
Figure 30.	Exemple d'adaptateur pour la vérification du débit d'une cassette inhalable	60
Figure 31.	Mécanismes de collection de particules sur membrane filtrante.....	62
Figure 32.	Cassette munie d'un filtre en FV (IRSST 911) et tube XAD-2 (IRSST 2187).....	65
Figure 33.	Tube OSHA Versatile Sampler (OVS) avec XAD-2 de SKC	65
Figure 34.	IFV Pro Sampler de SKC	66
Figure 35.	Cassettes munies d'un filtre imprégné (vue explosée) a) de type fermée b) inhalable et c) dénudeur et filtre imprégné	67
Figure 36.	a) Barboteur suivi d'une cassette munie d'un filtre imprégné et b) CIP10 (CDL-Tecora, distribué au Canada par Air Sampling Devices) (coupelle de solution collectrice ou option mousse filtrante)	68
Figure 37.	Soudeur avec cassette à l'intérieur du casque	76
Figure 38.	Prélèvement de surface par a) aspiration et b) essuyage.....	83
Figure 39.	Schéma du prélèvement de surface par essuyage (étapes 1 à 3) et par aspiration (étapes 1 et 2)	85
Figure 40.	Valise d'échantillonnage pour l'air comprimé respirable	87
Figure 41.	Train de prélèvement pour l'impaction de microorganismes sur gélose à l'aide d'un impacteur Andersen 1 étage (N-6), aussi appelé « ensemble impacteur »	91
Figure 42.	Dispositifs de prélèvement de surface: a) écouvillon et b) éponge	92
Figure 43.	Train de prélèvement pour les endotoxines.....	95
Figure 44.	Train de prélèvement pour les spores de moisissures	97
Figure 45.	Lame autocollante pour le prélèvement des structures mycologiques.....	98
Figure 46.	Ajustement du débit d'un train d'échantillonnage	102
Figure 47.	Ajustement du débit d'un train d'échantillonnage avec un cyclone a) avec jarre (méthode non recommandée) et b) sans jarre	103
Figure 48.	Synthèse du processus de correction de débit sur le site d'échantillonnage	105
Figure 49.	Capture d'écran de la page web d'une fiche de substance	108
Figure 50.	Capture d'écran d'une fiche de substance non réglementée disponible sur le site Web de l'IRSST	109

LISTE DES ÉQUATIONS

Équation 1.	Concentration normalisée (rapport de la concentration mesurée et de la valeur de référence).....	10
Équation 2.	Moyenne arithmétique	10
Équation 3.	Écart-type (s)	10
Équation 4.	Le coefficient de variation (représente l'écart-type relatif à la moyenne d'une série de mesures).....	10
Équation 5.	Moyenne géométrique (M.G.)	11
Équation 6.	Écart-type géométrique (s).....	11
Équation 7.	Coefficient de variation total	11
Équation 8.	Limite de confiance inférieure	13
Équation 9.	Limite de confiance supérieure	13
Équation 10.	Calcul de l'EQM (mg/m ³ ou ppm)	19
Équation 11.	Calcul du facteur R _m (somme des fractions du mélange)	20
Équation 12.	Conversion de ppm TP vers ppm TPN.....	26
Équation 13.	Efficacité de prélèvement des particules de la fraction inhalable E _i	48
Équation 14.	Efficacité de prélèvement des particules de la fraction thoracique E _t	48
Équation 15.	Efficacité de prélèvement des particules de la fraction respirable E _r	49
Équation 16.	Équation des gaz parfaits.....	104
Équation 17.	Équation des gaz parfaits avec substitution du volume par le débit.....	105

INTRODUCTION

La [Loi sur la santé et sécurité du travail](#) (RLRQ, c. S-2.1) a comme objet l'élimination à la source des dangers pour la santé, la sécurité et l'intégrité physique des travailleurs. Pour atteindre ces objectifs, le présent guide décrit les méthodes visant à quantifier le degré d'exposition des travailleurs pour implanter les moyens de contrôle adéquats. Des valeurs d'exposition admissibles (VEA) aux substances chimiques ont été fixées à l'Annexe I du [Règlement sur la santé et la sécurité du travail](#) (RSST, RLRQ, c. S-2.1, r. 13) et aussi dans le [Règlement sur la santé et la sécurité du travail dans les mines](#) (RSSM, RLRQ, c. S-2.1, r. 14). L'article 44 du RSST intitulé « Méthodes » spécifie que :

« Ces gaz, ces fumées, ces vapeurs, ces poussières et ces brouillards présents dans le milieu de travail doivent être prélevés et analysés de manière à obtenir une précision équivalente à celle obtenue en appliquant les méthodes décrites dans le *Guide d'échantillonnage des contaminants de l'air en milieu de travail* publié par l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail. »

L'article 44 du RSST et l'article 103.1 du RSSM spécifient que la stratégie d'échantillonnage « doit être appliquée selon les pratiques usuelles de l'hygiène industrielle résumées » dans le présent guide.

Afin d'assister les intervenants en milieu de travail, l'IRSST publie, révisé périodiquement et diffuse le [Guide d'échantillonnage des contaminants de l'air en milieu de travail](#). Ce guide comprend une première partie sur la stratégie d'échantillonnage. La deuxième partie décrit succinctement les différentes techniques d'évaluation utilisables dans une démarche d'hygiène du travail selon la nature des substances : gaz et vapeurs ou aérosols. Il est important de noter que certaines de ces techniques sont exploratoires et ne sont pas des méthodes standard à l'IRSST. De même, des techniques d'évaluation sont données pour les agents microbiens bien qu'aucune VEA ne leur soit attribuée. Cette partie contient également de l'information sur l'analyse d'échantillons provenant de procédé et sur l'étalonnage du système d'échantillonnage. La troisième partie spécifie, pour chacune des substances énumérées à l'Annexe I du RSST, les méthodes d'échantillonnage et d'analyse. On y retrouve également de l'information sur l'échantillonnage et l'analyse d'un nombre limité de substances non réglementées, mais tout de même offertes dans le cadre du service analytique des laboratoires de l'IRSST.

Autres guides disponibles et publiés par l'IRSST

- [Guide d'ajustement des valeurs d'exposition admissibles \(VEA\) pour les horaires de travail non conventionnels](#). (Drolet, 2015) Ce guide décrit le processus de réduction des valeurs d'exposition moyenne pondérées (VEMP) selon les substances de l'Annexe I et selon le type d'horaire de travail. Ce guide doit être utilisé de concert avec le présent document.
- [Guide de surveillance biologique de l'exposition : stratégie de prélèvement et interprétation des résultats](#) (Sarazin *et al.*, 2022) et [Guide de prélèvement des échantillons biologiques](#) (Gagné, 2019) La surveillance biologique vise à documenter l'exposition des travailleurs par la mesure du contaminant, de métabolites ou de tout autre paramètre dans une matrice biologique. Elle est utilisée dans un contexte de prévention et peut constituer une démarche complémentaire à la surveillance environnementale décrite dans le présent guide.

1. STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE

Introduction

Basée sur les démarches américaines (Leidel *et al.*, 1977) et européennes (Comité européen de normalisation [CEN], 1995), condensée et adaptée au contexte du réseau québécois de santé et de sécurité au travail, cette section sur la stratégie d'échantillonnage rappelle aux utilisateurs qu'un résultat représentatif s'obtient par une stratégie réaliste, adaptée aux objectifs d'une intervention et supportée par un traitement statistique approprié. L'ensemble des étapes doit être soumis à un programme d'assurance-qualité et certaines étapes à un programme de contrôle de qualité.

Que ce soit pour des objectifs de prévention tels que poursuivis par la plupart des intervenants en santé au travail ou pour des objectifs de respect du RSST ou du RSSM, la stratégie proposée vise à vérifier des niveaux de concentration de contaminants par rapport à des valeurs de référence. Ces valeurs sont, soit les valeurs d'exposition moyenne pondérée (VEMP), les valeurs d'exposition moyenne ajustée (VEMA), les valeurs d'exposition de courte durée (VECD), les valeurs plafonds et les limites d'excursion établies par le RSST, soit tout simplement des valeurs de référence adoptées comme balises à des actions préventives ou correctives. Par exemple, des organismes professionnels, tel l'American Conference of Governmental Industrial Hygienists ([ACGIH](#)), gouvernementaux ou de sources diverses proposent des valeurs de référence. Dans ce chapitre, nous utiliserons le terme « valeur de référence » pour englober toutes ces valeurs cibles.

Cette stratégie ne s'applique pas directement à des études épidémiologiques ou toxicologiques. Elle ne s'applique à des actions du type retraits préventifs, refus de travail, plaintes, implantation du programme de santé spécifique aux établissements, que si l'un ou l'autre des objectifs de l'intervention peut être relié à la vérification de niveaux de concentration d'un ou plusieurs contaminants par rapport à une valeur de référence.

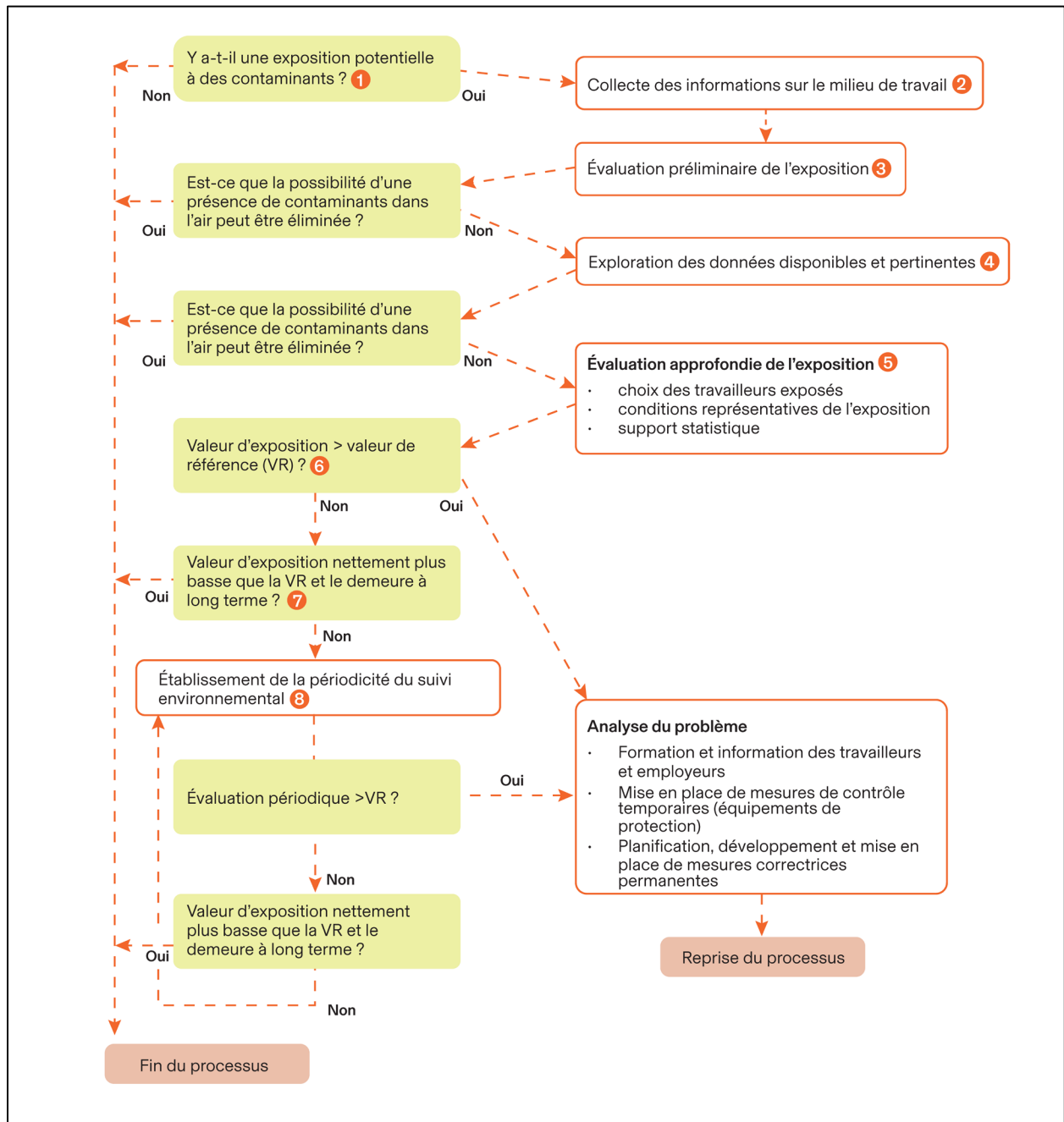
1.1 Description de la stratégie d'échantillonnage

Avant de procéder à l'évaluation d'un milieu de travail, il importe de bien définir les objectifs de l'intervention et de suivre une démarche rationnelle. Le schéma décisionnel de la Figure 1 présente le cheminement logique d'une intervention qui vise à mesurer l'exposition des travailleurs à des contaminants présents dans leur milieu de travail. Dans le contexte du présent guide d'échantillonnage, l'évaluation de l'exposition consiste à comparer les concentrations du ou des contaminants auxquels peut être exposé le travailleur à des valeurs de référence.

1.1.1 Exposition potentielle à des contaminants

La première étape d'évaluation d'un milieu de travail (1) consiste à identifier les expositions potentielles à des contaminants. Cette identification s'obtient par consultation ou préparation d'une liste de tous les contaminants, produits et réactifs, qui peuvent contribuer à l'exposition du travailleur. Cette liste inclut, selon le cas, les produits de départ, les impuretés, les produits intermédiaires, finaux et secondaires. Dans le contexte québécois, la consultation des fiches de données de sécurité (*Système d'information sur les matières dangereuses utilisées au travail (SIMDUT)*) peut faciliter jusqu'à un certain point le travail de documentation. Les VEA ou, en leur absence, des valeurs de référence sont colligées pour chacun des contaminants. Comme dans plusieurs étapes subséquentes, la décision qui mène à la fin du processus de l'intervention spécifique enclenche une série d'actions qui dépend du contexte organisationnel de l'intervenant tel que la préparation d'un rapport.

Figure 1. Schéma décisionnel d'évaluation de l'exposition



1.1.2 Collecte des informations sur le milieu du travail

La deuxième étape (2) réunit les informations sur les procédés et procédures afin d'évaluer le potentiel d'exposition aux contaminants identifiés. Cette étape sert à décrire généralement les éléments suivants :

- Les tâches;
- L'organisation du travail;
- Le ou les procédés;
- La cartographie du milieu;
- Les moyens et les procédures de sécurité;
- Les sources d'émission;
- La ventilation et autres moyens de contrôle à la source;
- Les durées d'exposition.

Les registres de santé et de sécurité disponibles dans l'établissement ou au point de service du réseau gouvernemental de SST devraient être consultés pour orienter l'intervention et éviter les duplications inutiles.

1.1.3 Évaluation préliminaire de l'exposition

La troisième étape (3), l'évaluation préliminaire de l'exposition, cherche à relier les expositions potentielles et les informations sur le milieu de travail pour tenter d'établir la plausibilité d'une exposition. Cette étape prend en considération les paramètres du procédé ou les modalités d'exécution du travail qui peuvent provoquer l'émission du contaminant dans l'environnement du travailleur. Ce sont dans le cas du procédé :

- La localisation et les caractéristiques de chaque source;
- Le nombre de sources d'émission;
- Les taux d'émission de chaque source;
- La dispersion du contaminant par les déplacements d'air;
- La nature et l'efficacité des moyens de contrôle (ventilation ou élimination à la source).

Les paramètres à considérer dans les modalités d'exécution des tâches sont, la plupart du temps :

- La proximité du travailleur des sources d'émission;
- La durée de la présence du travailleur près des sources d'émission;
- Les modes opératoires qui peuvent causer ou augmenter les émissions.

Les méthodes rapides d'évaluation qualitative peuvent permettre de détecter la présence ou l'absence de tel ou tel contaminant. Les tubes détecteurs, même s'ils sont peu sélectifs et peu précis, donnent des indications intéressantes sur la présence et les concentrations relatives de plusieurs contaminants. Les instruments à lecture directe sont également des outils très utiles à cette étape.

1.1.4 Exploration des données disponibles et pertinentes

Si l'évaluation préliminaire conclut à la possibilité de la présence de contaminant dans l'air, il devient nécessaire de recueillir des informations quantitatives sur les expositions potentielles.

Ces informations quantitatives sont obtenues à la quatrième étape (4) par exploration des données disponibles et pertinentes provenant de résultats collectés précédemment dans le milieu même du travailleur, dans des installations et procédés similaires ou calculés à partir de données, hypothèses ou prémisses satisfaisantes. Si l'exploration de ces données ne permet pas de comparer l'exposition aux valeurs de référence, il faut alors procéder à une évaluation approfondie de l'exposition.

1.1.5 Évaluation approfondie de l'exposition

L'évaluation approfondie de l'exposition (5) nécessite une démarche rigoureuse, appuyée sur des bases statistiques afin d'assurer la représentativité des échantillonnages et l'interprétation correcte des résultats.

Toutefois, par souci d'efficacité et d'optimisation de l'utilisation des ressources, mais sans sacrifier l'objectivité scientifique, les exigences de l'évaluation approfondie de l'exposition peuvent être adaptées aux résultats de la comparaison des mesures de concentration avec les valeurs de référence. En effet, lorsque des données objectives indiquent qu'une exposition est nettement au-dessus ou en dessous des valeurs de référence, les exigences analytiques et statistiques peuvent devenir moins contraignantes et permettre l'utilisation de techniques faciles d'application quitte à sacrifier un degré, acceptable statistiquement, de précision et d'exactitude. Il sera aussi possible d'adopter une stratégie de scénario d'exposition maximale, notamment dans des situations où l'exposition d'un travailleur semble plus élevée que celle de ses confrères ou encore lorsque l'échantillonnage s'effectue près des sources d'émission. Dans ces cas, l'évaluation de l'exposition ne requiert pas d'autres efforts puisqu'elle est de toute évidence au-dessus ou en deçà des valeurs de référence. Il faut alors accorder la priorité, selon le cas, à la correction ou à l'évaluation d'expositions plus susceptibles de comporter un risque à la santé des travailleurs. L'interprétation et la diffusion de ces résultats extrêmes par rapport à une valeur de référence requièrent, cependant, un effort particulier.

Dans les autres cas, où l'évaluation de l'exposition est du même ordre de grandeur que la valeur de référence, où l'objectif de l'évaluation (plaintes, dossier d'indemnisation, etc.)

requiert toute la rigueur scientifique réalisable, il devient alors nécessaire d'utiliser toute la finesse de la démarche scientifique dans le choix des travailleurs, la sélection des conditions représentatives de l'exposition et l'utilisation du support statistique.

1.1.5.1 Le support statistique

Toutes les mesures d'évaluation de l'exposition comportent une certaine variabilité qui dépend des fluctuations de la concentration dans le milieu de travail et des erreurs associées aux techniques d'échantillonnage et d'analyse. Les évaluations de l'exposition d'un travailleur ou d'un groupe de travailleurs sont par conséquent des valeurs expérimentales qui doivent être décrites en termes statistiques. La mise en œuvre de programmes d'assurance-qualité vise à améliorer la qualité des démarches d'évaluation de l'exposition et à caractériser les limites statistiques des résultats pour bien établir la signification de la comparaison à une valeur de référence. Au besoin, la confirmation du dépassement de la valeur de référence par les résultats des évaluations de l'exposition à un contaminant donné s'appuie sur la détermination des limites de confiance.

1.1.5.2 Éléments de base du traitement statistique

Variations

Les principales sources de variation qui affectent l'estimation 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'heure en heure ou d'un jour à l'autre. Les erreurs systématiques peuvent être corrigées lorsque détectées par des programmes d'assurance-qualité rigoureux 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 adéquate 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 dues à des défauts ou des conditions d'opération différentes des conditions habituelles.

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 rigoureux.

La représentation d'une série de mesures environnementales servant à caractériser une exposition ou une concentration d'ambiance prend habituellement deux formes, soit une distribution **normale** (Figure 2) soit une distribution **log-normale** (Figure 3). Il est nécessaire de déterminer le type de distribution dans les milieux de travail visés.

Figure 2. Distribution normale

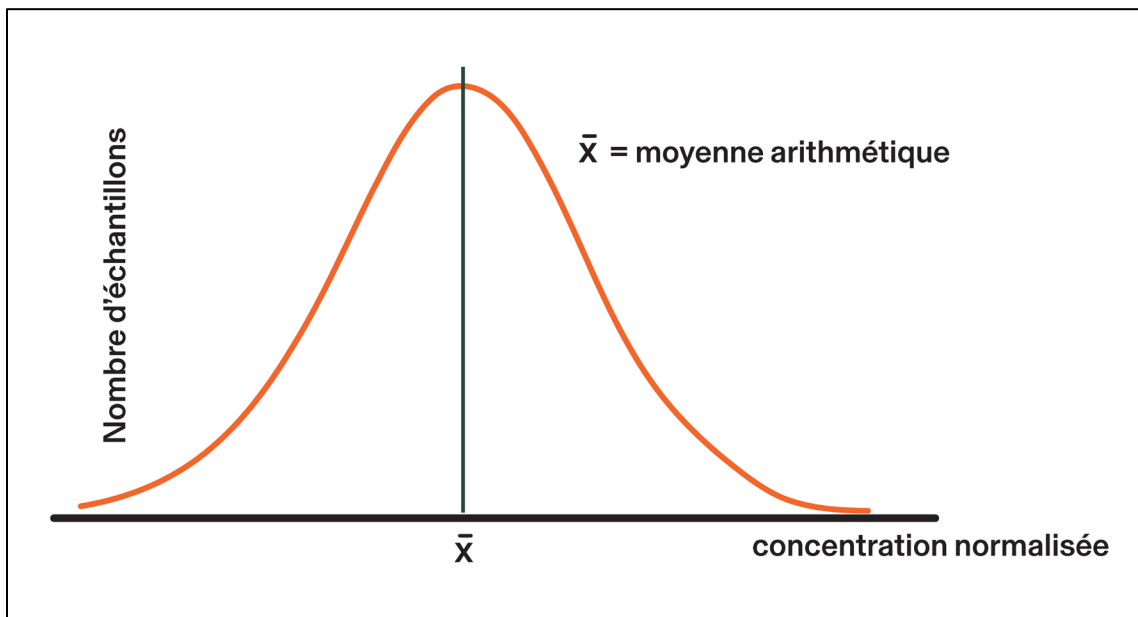
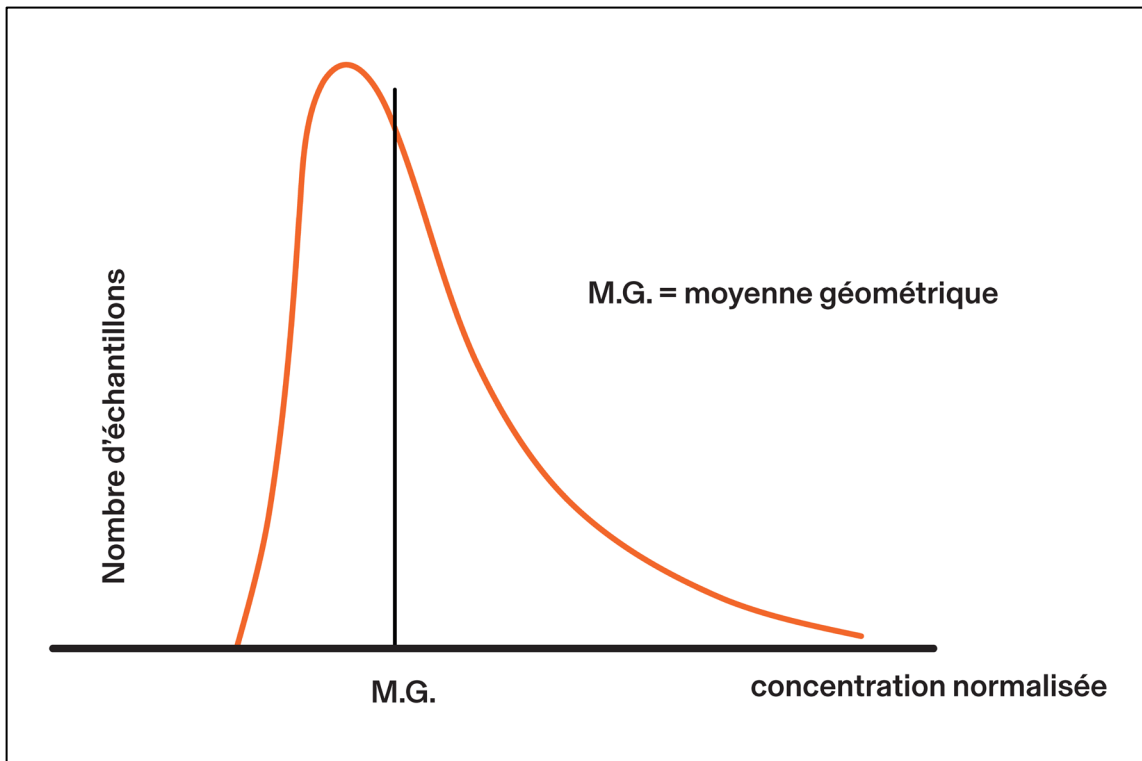


Figure 3. Distribution log-normale



Les caractères fluctuants des concentrations et la période de mesure de plus ou moins longue durée d'un échantillon sont, entre autres, des facteurs qui influenceront le type de distribution d'une série de mesures.

Les résultats d'échantillonnages ponctuels (courte durée), 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 log-normale.

En revanche, 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 selon la loi normale.

Paramètres de la distribution normale

Les paramètres décrivant la distribution normale sont présentés dans le texte suivant. 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'évaluation :

Équation 1. Concentration normalisée (rapport de la concentration mesurée et de la valeur de référence)

$$x = \frac{X}{VR} \quad \begin{array}{l} X = \text{Concentration normalisée mesurée} \\ VR = \text{Valeur de référence} \end{array}$$

Équation 2. Moyenne arithmétique

$$\bar{x} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n x_i \quad \begin{array}{l} x_i = \text{Concentration normalisée} \\ n = \text{Nombre d'échantillons} \end{array}$$

Équation 3. Écart-type (s)

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} * \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Équation 4. Le coefficient de variation (représente l'écart-type relatif à la moyenne d'une série de mesures)

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \quad CV = \text{Coefficient de variation}$$

Le coefficient de variation se définit comme étant l'écart-type relatif à la moyenne d'une série de mesures. Les coefficients de variation rapportés habituellement sont reliés aux instruments de prélèvement et aux méthodes d'analyse. Ils peuvent également être exprimés en pourcentage.

Paramètres de la distribution log-normale

Équation 5. Moyenne géométrique (M.G.)

$$\log M.G. = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n \log x_i$$

Équation 6. Écart-type géométrique (s)

$$\log s = \sqrt{\frac{1}{n-1} * \sum_{i=1}^n (\log x_i - \log M.G.)^2}$$

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. 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 des procédures d'assurance-qualité.

Précision sur l'analyse

Pour les méthodes analytiques, les coefficients de variation sont déterminés par des séries d'échantillons obtenus par génération et par comparaison à des étalons. Les coefficients de variation analytiques (CV_A) sont inclus dans la description de la plupart des méthodes analytiques disponibles à l'IRSST.

Coefficient de variation total

Le coefficient de variation total (CV_T) devrait tenir compte des erreurs reliées à l'échantillonnage (CV_E) et aux procédures analytiques (CV_A). Le coefficient de variation total se calcule par la racine carrée de la somme quadratique des erreurs:

Équation 7. Coefficient de variation total

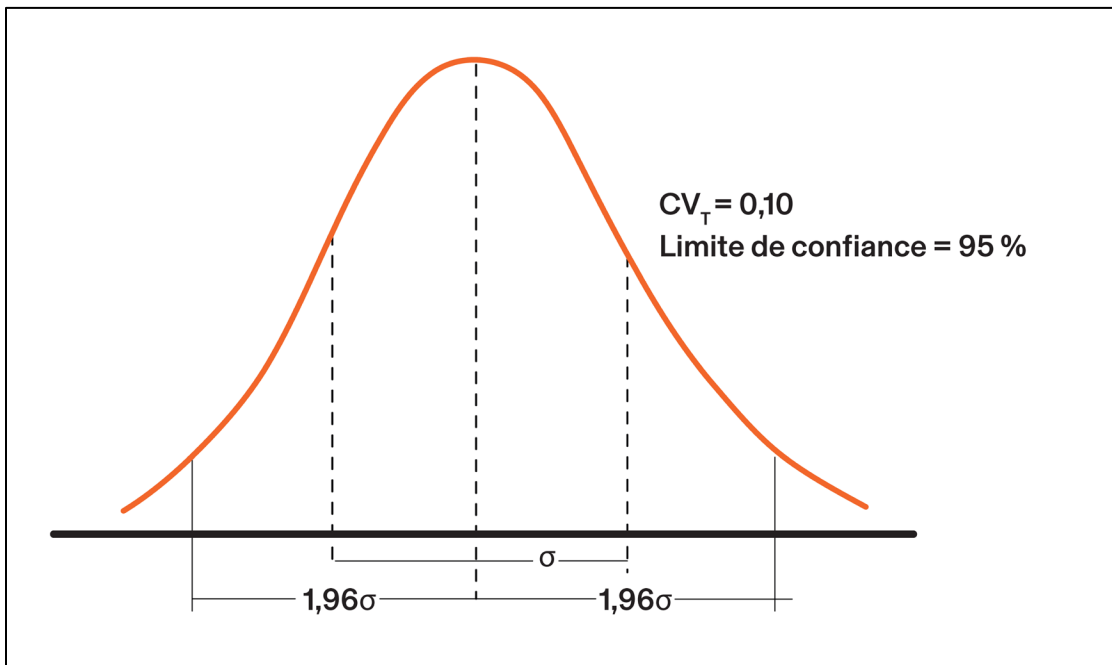
$$CV_T = \sqrt{(CV_E)^2 + (CV_A)^2}$$

Puisque nous ne disposons pas des CV_E réels, nous utilisons un CV_E estimé à 0,05 (5 %) lors du calcul du CV_T pour la publication de nos méthodes analytiques.

1.1.5.3 Limites de confiance

Un ensemble de mesures se répartit habituellement selon une distribution normale ou log-normale. La distribution normale se représente graphiquement sous forme d'une cloche (Figure 4). Une distribution log-normale survient principalement lorsque des échantillons de courte durée sont prélevés ou que des fluctuations importantes sont attribuables aux procédés. Elle se représente sous forme d'une cloche évasée vers la droite. Pour une distribution log-normale, le logarithme des valeurs de concentration est utilisé et la représentation graphique prend alors la forme d'une distribution normale. L'écart-type (σ) caractérise l'étalement de la cloche dont la moyenne (μ) 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.

Figure 4. Distribution normale d'une série d'échantillons de 8 heures

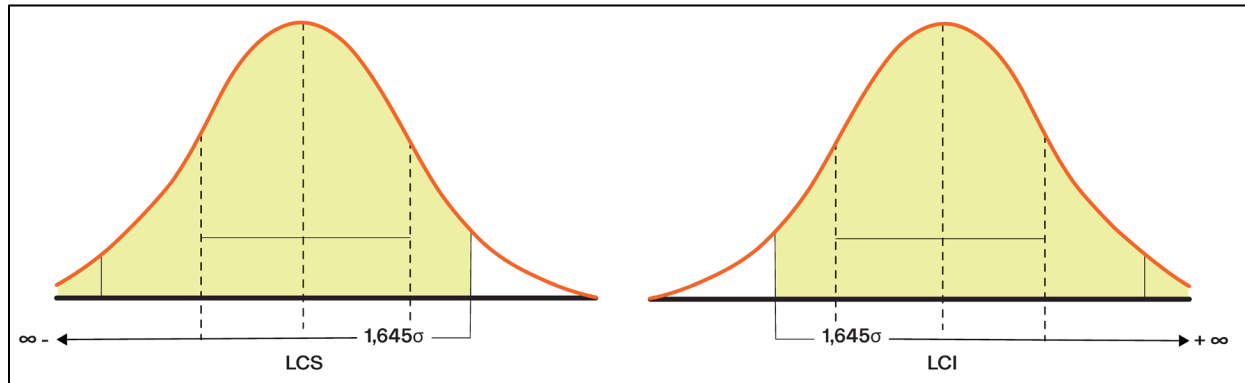


Pour déterminer s'il y a dépassement de la valeur de référence sélectionnée avec une limite de confiance de 95 %, il faut que sous la courbe de distribution en cloche, 95 % des résultats excèdent cette valeur de référence (Figure 5). On parle alors de limite de confiance inférieure (LCI) où 5 % des résultats les plus faibles sont ignorés. Mathématiquement, cette coupure (LCI) regroupera tous les résultats sous la courbe entre les valeurs $-1,645 \sigma$ et ∞ .

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 5 % des résultats les plus élevés sont ignorés. Cette coupure (LCS) regroupera tous les résultats sous la courbe entre les valeurs $+1,645 \sigma$ et $-\infty$.

Figure 5. Illustration des limites de confiance inférieure et supérieure



1.1.5.4 Décision du dépassement ou du non-dépassement

La valeur du coefficient de variation total de la concentration normalisée permet de calculer les limites de confiance supérieure et inférieure à l'aide des équations suivantes :

Équation 8. Limite de confiance inférieure

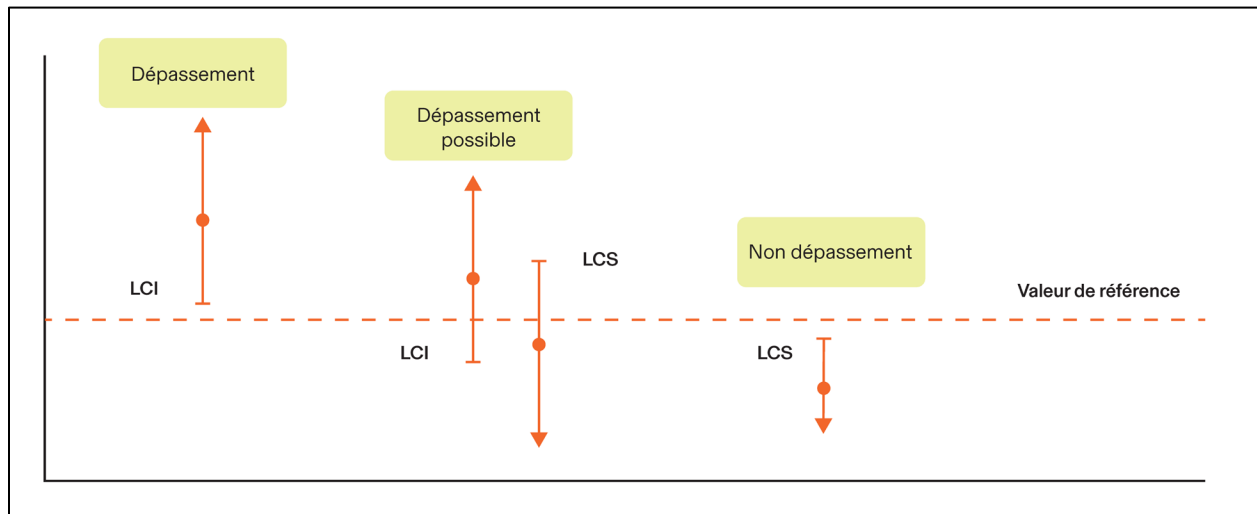
$$LCI_{(95\%)} = x - (x * 1,645 * CV_T)$$

Équation 9. Limite de confiance supérieure

$$LCS_{(95\%)} = x + (x * 1,645 * CV_T)$$

Par exemple, pour un échantillon unique sur la durée complète du quart de travail, trois situations peuvent se présenter : un dépassement, un non-dépassement ou un dépassement possible de la valeur de référence. Les trois situations sont illustrées à la Figure 6.

Figure 6. Classification selon les limites de confiance unilatérales



Pour les autres cas, une interprétation mathématique et statistique plus poussée peut être nécessaire. Nous suggérons de consulter Leidel *et al.* (1977) en fin de document ou un livre de statistique appliquée à l'analyse des données.

Un dépassement de la valeur de référence (étape 6) mène à des actions qui ne sont pas du ressort de la stratégie d'échantillonnage. En revanche, des valeurs d'exposition nettement plus basses que la valeur de référence et qui le demeurent à long terme peuvent inciter à prioriser les interventions à d'autres postes de travail. Malheureusement, il n'y a pas de définition universelle d'une exposition nettement plus basse que la valeur de référence (étape 7). Cette notion doit être définie par l'intervenant en se basant sur ses objectifs et son contexte décisionnel. Quelques indices peuvent servir dans différents cas. Le CEN (1995) utilise une valeur empirique de $0,1 * \text{valeur de référence}$. La grande majorité des méthodes de référence de l'IRSST couvre au moins une gamme de concentrations de 0,1 à 2-5 fois la VEMP et la VECD. Il convient de rappeler que le RSST prévoit à l'article 42 que :

« Lorsqu'un travailleur est exposé à une substance identifiée à l'annexe I comme ayant un effet cancérigène démontré ou soupçonné chez l'humain ou comme étant un diisocyanate ou des oligomères d'isocyanate, une telle exposition doit être réduite au minimum, même lorsqu'elle demeure à l'intérieur des normes prévues à cette annexe. »

1.1.5.5 Choix des travailleurs exposés

Pour certains objectifs d'intervention qui visent souvent l'établissement d'un lien de causalité entre un problème de santé et une exposition, par exemple lors de plaintes, refus de travail, enquêtes de réclamation, et autres, la question du choix de travailleurs ne se pose pas puisqu'il s'agit d'un ou de quelques travailleurs spécifiques.

Dans d'autres cas, lorsqu'il s'agit de documenter l'exposition d'un groupe de travailleurs dans le but de mettre en place un programme de santé ou de surveillance environnementale, il n'est ordinairement pas possible de mesurer l'exposition de tous les travailleurs à tout moment. Différentes approches permettent de tendre vers une représentativité du choix des travailleurs exposés qui satisfasse à l'objectif de l'intervention, c'est-à-dire de ne mesurer l'exposition que d'un petit nombre de travailleurs tout en obtenant une évaluation statistiquement acceptable pour l'ensemble du groupe.

L'approche idéale consiste à segmenter la population de travailleurs en groupes d'exposition similaire (GES) et de choisir au hasard parmi ces groupes de travailleurs exposés ceux qui feront l'objet d'une évaluation de leur exposition. L'établissement de ces GES peut s'effectuer soit par observation de l'activité de travail ou selon une « approche échantillonnage » qui consiste à former les GES sur la base d'une analyse statistique des données d'exposition (Mulhaussen et Damiano, 1998). Ainsi parmi une population de travailleurs soumise à une exposition similaire, le choix des individus se fait de façon aléatoire à l'aide des tables de nombres aléatoires (Leidel *et al.*, 1977). Les tables A1 à A4 du tableau 1 donnent le nombre de travailleurs à échantillonner pour une population homogène soumise à un risque donné. Le contenu de ces tables se base sur des paramètres statistiques et essaie d'envisager les différents scénarios statistiques de ces groupes quant à la probabilité d'inclure au moins un des travailleurs les plus à risque.

Parfois, la situation se prête mal à l'utilisation de ces tables puisque le nombre de travailleurs par fonction similaire est trop faible. Il devient alors nécessaire de mesurer l'exposition de l'ensemble des travailleurs dont l'exposition est similaire.

La validité de ces regroupements selon le risque à l'exposition peut être établie lors d'études critiques de l'organisation des travailleurs et des données préliminaires sur l'exposition. Le critère d'acceptabilité de l'homogénéité du groupe suggéré par la communauté européenne (CEN, 1995) est une valeur individuelle d'exposition plus grande que la moitié et plus petite que le double de la moyenne arithmétique du groupe. Par exemple, un groupe de 20 travailleurs dont la moyenne arithmétique d'exposition à un contaminant est de 1 mg/m³ est considéré comme étant homogène si la valeur d'exposition de chacun des individus du groupe à ce contaminant se situe entre 0,5 et 2,0 mg/m³.

Tableau 1. Tables de sélection de travailleurs d'un groupe d'exposition similaire

Table A1 - Au moins un travailleur parmi les 10 % les plus exposés, 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 % les plus exposés, 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	21	29

Table A3 - Au moins un travailleur parmi les 20 % les plus exposés, 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 % les plus exposés, 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	

1.1.5.6 Sélection des conditions représentatives de l'exposition

Les conditions d'évaluation de l'exposition doivent être choisies pour que les résultats fournissent une évaluation objective de l'exposition dans la situation réelle du travailleur lors de l'accomplissement de ses tâches. Dans le cas spécifique de la comparaison des résultats de l'évaluation à une valeur de référence, les conditions tiendront aussi compte de la nature de cette valeur que ce soit une VEMP, une VECD, une valeur plafond ou une limite d'excursion. De plus, si l'horaire des travailleurs diffère de l'horaire type (8 heures par jour, 5 jours par semaine), la VEMP devra dans certains cas être ajustée pour donner une valeur d'exposition moyenne ajustée (VEMA). Les informations pertinentes à l'ajustement des VEMP et les règles d'interprétation qui en découlent sont décrites dans le [Guide d'ajustement des valeurs d'exposition admissibles \(VEA\) pour les horaires de travail non conventionnels](#) (Drolet, 2015).

L'évaluation de l'exposition doit être effectuée à partir d'échantillons prélevés dans la zone respiratoire de ce travailleur pour la période complète de travail ou pour la période prévue à la valeur de référence appropriée, soit 8 heures pour une VEMP, la durée complète du

quart de travail pour une VEMA et 15 minutes pour une VECD. La zone respiratoire est définie à l'article 1 du RSST comme étant :

«la zone comprise à l'intérieur d'un hémisphère de 300 mm de rayon s'étendant devant le visage et ayant son centre sur une ligne imaginaire joignant les oreilles. »

Dans le cas de groupes de travailleurs, si l'évaluation préliminaire n'a pas permis de recueillir des données sur l'homogénéité de l'exposition, des échantillonnages doivent servir à établir la variabilité de cette exposition dans le temps (jour, nuit, saisons, conditions climatiques, durant certaines opérations, etc.) et dans l'espace (différents postes de travail ou sources d'émission).

Le résultat d'un échantillonnage unique qui couvre la période complète de 8 heures peut être comparé directement avec la VEMP ou s'il couvre une période de 15 minutes avec la VECD. Dans le cas des horaires non conventionnels, l'échantillonnage unique doit couvrir la période complète du quart de travail et le résultat comparé à la VEMA.

Des échantillons consécutifs couvrant la période entière de travail offrent le même avantage que des échantillons uniques quant à la comparaison avec la valeur de référence appropriée. Cette stratégie peut aussi fournir des informations sur la variation de la concentration d'un contaminant durant la période de travail et permettre d'identifier un échantillon contaminé de façon volontaire ou accidentelle.

Des échantillons multiples ne couvrant qu'une portion de la période de travail peuvent être satisfaisants tenant compte des informations sur l'homogénéité des résultats d'exposition. En général, lors d'exposition homogène, l'exposition quotidienne moyenne (EQM) peut se calculer par des échantillonnages multiples d'une durée totale d'au moins deux heures ou par 5 échantillons de la durée prescrite dans la méthode de référence, ces échantillons étant répartis uniformément à l'intérieur d'une période de temps de huit heures dans une journée de travail ou de la durée du quart de travail dans le cas d'un horaire non conventionnel. Quelques exemples de calcul de la VEMP, un exemple de calcul du R_m (somme des fractions du mélange lors de l'exposition quotidienne à plusieurs substances) et un exemple d'application de la limite d'excursion sont présentés à la section 1.2.1.

Dans certains cas, à cause des contraintes des méthodes ou des instruments de mesure qui exigent des prélèvements de courte période, une série de prélèvements ponctuels peut être effectuée à des intervalles aléatoires durant la période complète de travail ou d'application de la norme. Les prélèvements ponctuels servent aussi à comparer la concentration d'un contaminant à une valeur plafond. Dans ce cas, la période minimale de prélèvement doit tenir compte des contraintes analytiques de temps de réponse, de stabilité instrumentale ou autres qui sont décrites dans les méthodes analytiques et les méthodes d'étalonnage de l'IRSST. Même dans le cas des valeurs plafonds, l'interprétation des résultats doit tenir compte de la précision et de l'exactitude de la technique et établir la

fiabilité de la comparaison des résultats et de la valeur limite à l'aide des statistiques usuelles.

La figure 7 résume les caractéristiques temporelles des différents types d'échantillonnage pour caractériser une VEMP. Plusieurs facteurs influencent le choix d'une stratégie plutôt qu'une autre. La disponibilité et le coût des équipements d'échantillonnage, l'accès aux lieux de travail, la variabilité des procédés, la précision et l'exactitude des méthodes ainsi que le nombre d'échantillons sont tous des facteurs à considérer lors du choix d'une stratégie. Des quatre sortes de prélèvements décrits, les résultats les plus représentatifs de la situation réelle consistent à prélever plusieurs échantillons consécutifs durant la période complète de travail. Le second choix serait de prélever un échantillon unique durant la période complète. L'interprétation des résultats d'échantillons couvrant une période partielle et l'échantillon ponctuel appliqué à la VEMP, la VEMA ou à la VECD, nécessitent une bonne connaissance de l'homogénéité de l'exposition et une analyse statistique appropriée.

1.1.6 La périodicité du suivi environnemental

La poursuite d'objectifs à long terme sur l'évaluation de l'efficacité des moyens de contrôle et d'élimination à la source ou l'obtention de résultats de valeur d'exposition qui sont près de la valeur de référence pose la question de la périodicité du suivi environnemental (étape 8). Dans certains cas, une périodicité minimale est prévue dans la réglementation québécoise. Par exemple, pour l'amiante, le RSST spécifie à l'article 43 que :

« Dans tout établissement où des travailleurs sont exposés à l'amiante, la concentration de poussière d'amiante en suspension dans l'air et la concentration de fibres respirables d'amiante au niveau de la zone respiratoire des travailleurs doivent être mesurées au moins une fois par année. Une stratégie d'échantillonnage peut alors prévoir une fréquence de mesure à des intervalles plus rapprochés d'après l'importance des risques pour la santé, la sécurité ou l'intégrité physique des travailleurs. »

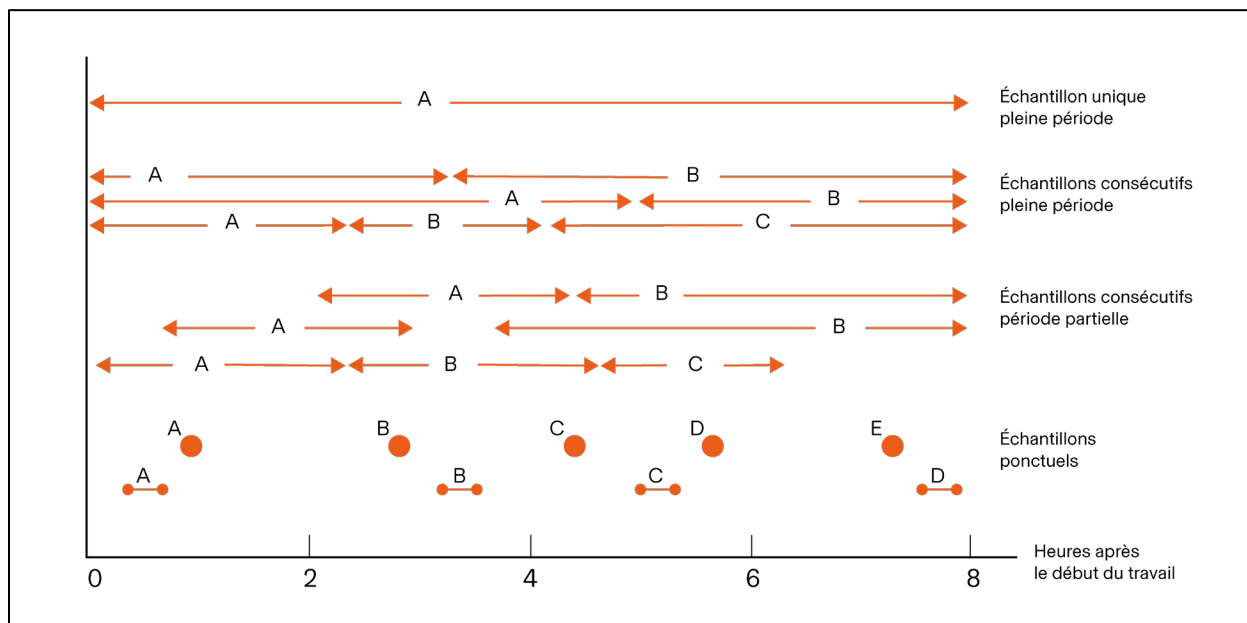
Le RSST prévoit la même exigence de périodicité pour tout établissement qui emploie 50 travailleurs ou plus «et où la concentration de gaz, de poussières, de fumées, de vapeurs ou de brouillards dans l'établissement excède ou est susceptible d'excéder les normes prévues à l'Annexe I à un poste de travail ».

Dans les autres cas, l'intervalle entre les évaluations d'exposition devrait tenir compte des facteurs suivants:

- Cycles du procédé incluant les cycles d'opération normale et les cycles d'entretien ou de réparation;
- Conséquences de pannes des installations de contrôle ou d'élimination à la source;
- Proximité des concentrations ambiantes et des valeurs de référence;
- Efficacité des moyens de contrôle;
- Variabilité temporelle des résultats.

Leidel *et al.* (1977) fournit un exemple de détermination de la périodicité d'une évaluation de l'exposition.

Figure 7. Types d'échantillons pour caractériser une exposition de 8 heures (VEMP)



1.2 Exemples de calcul de l'exposition quotidienne moyenne (EQM), du R_m et de la limite d'excursion

1.2.1 Pondération de l'exposition par quart de travail

Le calcul de la dose d'exposition pour une série de mesures couvrant la période complète de 8 heures de travail est effectué à l'aide de la formule suivante aux fins d'application d'une VEMP (RSST) :

Équation 10. Calcul de l'EQM (mg/m^3 ou ppm)

$$EQM = \frac{C_1 t_1 + C_2 t_2 + \dots + C_n t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}$$

EQM = Concentration pondérée sur 8 heures (exposition quotidienne moyenne)

*C = Concentration mesurée à un poste de travail
t = Temps en heures de la période échantillonnée pour un total de 8 heures*

1,2,...,n = Indication de la période échantillonnée

Pour l'application d'une VEMA, la somme de temps au dénominateur doit équaler la durée totale du quart de travail.

Pour un mélange de substances ayant des effets similaires sur les mêmes organes du corps humain, les effets sont considérés comme additifs, à moins qu'il en soit établi

autrement (RSST), on utilise le coefficient de la somme des fractions d'un mélange (R_m). Ce calcul est effectué à l'aide des VEMP pour chacune des substances et de la valeur de la mesure pour 8 heures d'exposition pour chaque substance (EQM).

Équation 11. Calcul du facteur R_m (somme des fractions du mélange)

$$R_m = \frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \dots + \frac{C_n}{T_n}$$

C = Concentration pondérée de chacune des substances dans l'air (EQM)

T = VEMP

1,2,...n = Indication de chacune des substances

Lorsque le R_m dépasse l'unité, la concentration admissible du mélange est dépassée et l'exposition est non conforme. Dans le cas d'un horaire non conventionnel, la VEMP (T , 8 heures) doit être remplacée par la VEMA (T_a , période de travail).

Exemple 1

Pendant son quart de travail de 8 heures, un opérateur œuvre 7 heures et 20 minutes à une tâche où il est exposé à une substance retrouvée dans l'Annexe I du RSST. La concentration mesurée durant cette période est de 0,12 mg/m³. Quelle est son exposition quotidienne moyenne (EQM)?

7,33 heures à 0,12 mg/m³

0,67 heure à 0 mg/m³ (sans exposition) soit :

$$EQM = ((0,12 \times 7,33) + (0 \times 0,67)) / 8 = \mathbf{0,11 \text{ mg/m}^3}$$

Exemple 2

Un opérateur travaille durant 8 heures à un procédé qui l'expose à un contaminant pour lequel le RSST donne une VEMP. Durant cette période, il est exposé à une concentration de 0,15 mg/m³. Quelle est son exposition quotidienne moyenne?

$$EQM = (0,15 \times 8) / 8 = \mathbf{0,15 \text{ mg/m}^3}$$

Exemple 3

Un opérateur travaille de nuit durant 8 heures à un procédé qui l'expose de façon intermittente à une substance réglementée. Sachant son horaire de travail et son exposition durant ces différentes tâches (tableau 2), quelle est son exposition quotidienne moyenne?

Tableau 2. Évaluation de l'exposition du travailleur Y

Horaire de travail	Tâche	Valeur d'exposition (mg/m ³)	Durée en heures de l'échantillonnage
22:00 - 24:00	Aide à l'atelier	0,1 (provenant des valeurs d'exposition d'un groupe de travailleurs à plein temps dans cette tâche)	2
24:00 - 01:00	Travail de bureau	0	1
01:00 - 04:00	Travail à la cafétéria	0	3
04:00 - 06:00	Nettoyage à l'atelier	0,21 (mesurée)	2

L'exposition ayant été établie à zéro durant les travaux de bureau et à la cafétéria, son exposition quotidienne moyenne sera de :

$$EQM = ((0,10 \times 2) + (0,21 \times 2) + (0 \times 4)) / 8 = 0,078 \text{ mg/m}^3$$

Exemple 4

Des travailleurs sont exposés à des solvants aux conditions décrites au tableau 3. Est-ce que les travailleurs sont surexposés à ces solvants qui ont tous des effets sur le système nerveux central?

Tableau 3. Exposition d'un travailleur à un mélange de solvants

Solvant	Concentration (ppm)	Durée d'exposition (heure)	VEMP (ppm)
Toluène	25	4,0	50
	33	1,5	
	12	2,5	
Acétone	225	6,0	500
	560	2,0	
Trichloroéthylène	20	5,0	50
	40	2,0	
	60	1,0	

$$EQM_{\text{toluène}} = [(25*4) + (33*1,5) + (12*2,5)] / 8 = \mathbf{22,5}$$

$$EQM_{\text{acétone}} = [(225*6) + (560*2)] / 8 = \mathbf{309}$$

$$EQM_{\text{trichloroéthylène}} = [(20*5) + (40 * 2) + (60 * 1)] / 8 = \mathbf{30}$$

$$R_m = \frac{22,5}{50} + \frac{309}{500} + \frac{30}{50} = 1,67$$

Il y a donc dépassement de l'unité (1) et la situation est non conforme.

1.2.2 Application de la limite d'excursion

Le RSST définit de la façon suivante la limite d'excursion pour les substances n'ayant pas de VECD :

« À condition que la valeur d'exposition moyenne pondérée soit respectée, des excursions peuvent excéder 3 fois cette valeur pour une période cumulée ne dépassant pas 30 minutes par jour. Toutefois, aucune de ces excursions ne peut dépasser 5 fois la valeur d'exposition moyenne pondérée pour quelque durée que ce soit. »

Dans le cas d'un horaire non conventionnel, le calcul des limites d'excursion s'effectue en fonction de la VEMA plutôt que de la VEMP le cas échéant. L'exemple 5 présente une application idéalisée de la limite d'excursion pour chacun des cas.

Exemple 5

Les figures 8 et 9 donnent des exemples des deux possibilités de dépassement de la limite d'excursion dans le cas de l'exposition d'un travailleur à un solvant pour lequel le RSST donne une VEMP de 100 mg/m³ sans spécifier de VECD. Un instrument à lecture directe prélevant dans la zone respiratoire du travailleur fournit un enregistrement des concentrations sur une période d'un peu moins de deux heures. Sur chacun des graphiques, une flèche indique le moment du dépassement de la limite d'excursion. Il est à noter que l'exposition moyenne pondérée de ce travailleur a été mesurée et qu'elle était inférieure à la VEMP.

Figure 8. Exemple de dépassement de la limite d'excursion par cumul de temps

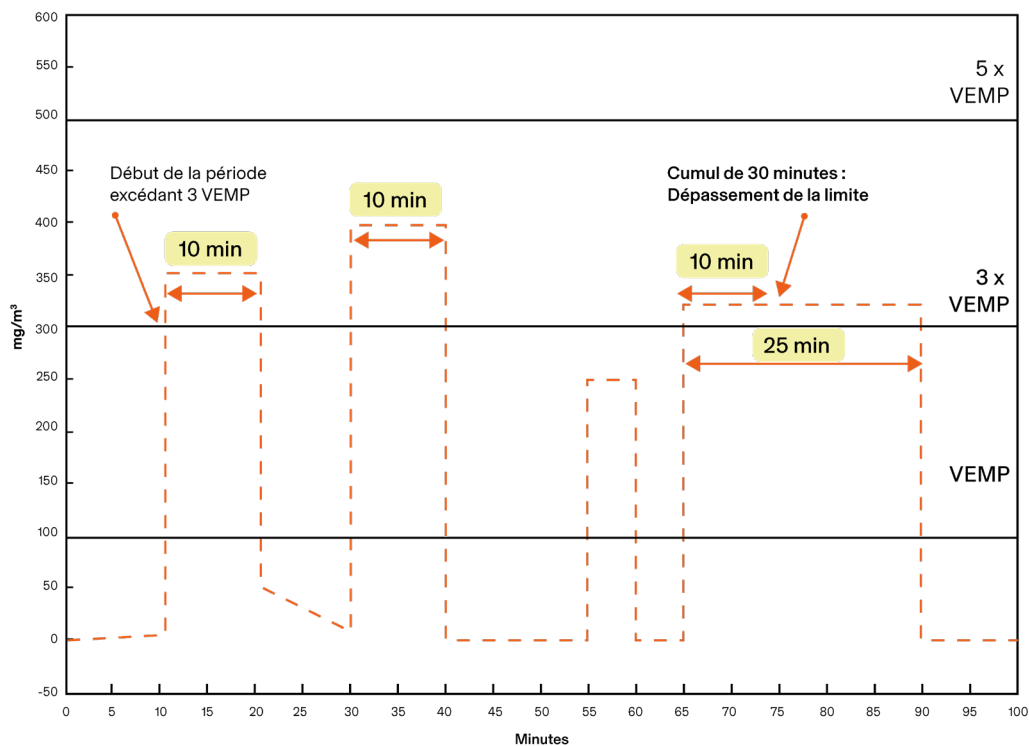
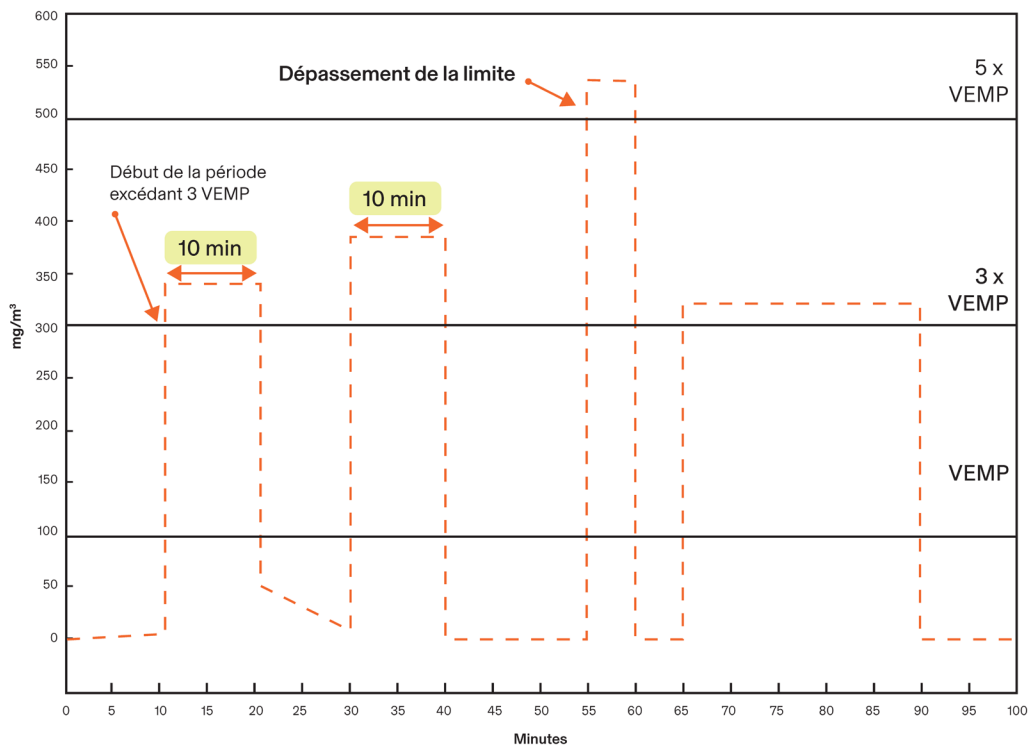


Figure 9. Exemple de dépassement de la limite d'excursion par élévation de la concentration



2. INSTRUMENTS ET TECHNIQUES D'ÉCHANTILLONNAGE

Introduction

Suite au choix de la stratégie de mesure des substances chimiques ou des agents microbiens dans le milieu de travail, il convient de sélectionner les instruments, les techniques et les méthodes de mesure qui permettront de répondre à l'objectif visé. Les mesures peuvent être directes par l'utilisation d'instruments portatifs, ou indirectes par prélèvement sur un milieu collecteur et analyse subséquente en laboratoire. Ces techniques, directes ou indirectes, sont décrites brièvement en fonction de la nature des contaminants : gaz et vapeurs, aérosols (liquides, poussières et fumées), semi-volatiles, cas particuliers et agents microbiens. La liste du matériel requis pour le prélèvement ou l'analyse est présentée à la partie 3 « Échantillonnage et analyse des contaminants ». Des compléments d'informations pour des cas particuliers, tels les échantillons de procédé, sont également présentés dans cette section du guide.

2.1 Unités de concentrations des VEA du RSST (ppm et mg/m³)

L'objectif de l'utilisation des instruments et techniques de prélèvement est de permettre la comparaison entre des résultats de mesure de la concentration d'un contaminant de l'air et une valeur de référence, notamment les VEA du RSST. Il importe donc que le résultat d'une mesure, qu'il soit exprimé en ppm, mg/m³ ou en fibre/cm³, soit comparable à la valeur de VEA du RSST et conforme à la définition des unités. À cet égard, il convient de rappeler celles de la section *Notes et définitions* de l'Annexe I du RSST :

« mg/m³ : milligramme par mètre cube (milligramme de substance par mètre cube d'air)

ppm : partie par million (partie de gaz ou de vapeurs par million de parties d'air contaminé par volume mesuré à 25°C et 101,3 kilopascals). »

Dès lors, il faut en conclure que les valeurs exprimées en ppm des VEA sont fixées pour des conditions particulières de température et de pression alors que les valeurs des VEA lorsqu'elles sont exprimées en mg/m³ ou en fibre/cm³ dans le RSST sont invariables en fonction des conditions environnementales. Les sous-sections suivantes décrivent des éléments spécifiques portant sur ces aspects et qui sont impératifs à maîtriser par l'intervenant en hygiène.

2.1.1 Calcul de la concentration d'exposition exprimée en termes de masse ou fibre par volume (mg/m³ ou en fibre/cm³)

- Lorsque la concentration d'exposition calculée est exprimée en termes de masse par volume (au site de prélèvement et non ajusté pour les conditions à température et pression normales (TPN)). Cette concentration doit être comparée directement à la valeur des VEA du RSST exprimée en mg/m³ ou en fibre/cm³;
- Il est important d'insister sur le fait que ce calcul doit être effectué avec le volume d'air prélevé dans les conditions du site. Il faut donc être prudent, lorsqu'on utilise un instrument de mesure du débit pour connaître le volume prélevé, et s'assurer que le débit affiché corresponde à celui dans les conditions du site. Si un instrument affiche un débit équivalent dans certaines conditions comme c'est le cas pour les débitmètres à fil chaud, ce débit devra être rapporté dans les conditions du site (voir la section 2.10.2). Le lecteur qui désire approfondir le sujet peut consulter le [Mémento sur l'utilisation des pompes et des débitmètres](#) (Cloutier et Lazure, 2003).

2.1.2 Calcul de la concentration d'exposition exprimée en ppm (vol/vol)

- Tout d'abord, il convient de noter que lorsqu'une concentration en mg/m³ est calculée avec le volume prélevé aux conditions du site (se référer à la section 2.1.1 au besoin), sa valeur convertie en ppm, en utilisant le volume molaire à TPN (24,45 L), est directement comparable à une VEA du RSST exprimée en ppm. Ce serait le cas de figure pour les résultats produits par l'analyse de tubes adsorbants ou de dosimètres passifs.
- De plus, pour la très vaste majorité des milieux de travail, la fraction molaire qui compare le volume molaire dans certaines conditions à celui du volume molaire à TPN (24,45 L) se rapproche de l'unité. Dans ces cas, les concentrations d'exposition en ppm seront pratiquement équivalentes à celles à TPN et donc comparables aux normes à TPN.
- Dans d'autres situations, par exemple lors de l'utilisation d'un instrument à lecture directe dans un milieu qui n'est pas à TPN (p. ex. pour le travail en profondeur dans les mines), les conditions d'évaluation s'éloigneront des conditions TPN et des ajustements de concentrations pourraient être nécessaires pour comparer les expositions à des VEA exprimées en ppm à TPN. Par conséquent, la donnée mesurée par l'instrument, exprimée en ppm, doit faire l'objet de la conversion mentionnée au point suivant.
- Si la concentration d'exposition est mesurée en ppm (vol/vol) pour des conditions autres que TPN, donc à TP (température et pression), il faut alors corriger cette concentration pour la ramener à TPN avant de la comparer à la valeur VEA du RSST. Un [utilitaire informatique](#) disponible sur le site Web de l'IRSST permet d'effectuer aisément cette conversion pour la comparaison à une VEA du RSST (Aubin et Drolet, 2008).

Équation 12. Conversion de ppm TP vers ppm TPN

$$ppm_{TPN} = ppm_{TP} * \left(\frac{P}{760}\right) * \left(\frac{298}{T}\right)$$

P : pression au site de prélèvement (mm de Hg)

T : température au site de prélèvement (°K)

Afin de limiter les incertitudes de mesurage avec des instruments à lecture directe, il demeure important de suivre les recommandations du manufacturier et de faire l'étalonnage ou la vérification de l'instrument dans les mêmes conditions de prélèvement si requis.

2.1.3 Prémisses scientifiques et types de valeurs de référence

Le fait que les VEA exprimées en mg/m³ ou en fibre/cm³ dans le RSST sont invariables en fonction des conditions environnementales est basé sur deux prémisses décrites plus en détail par Stephenson et Lillquist (2001) et par ACGIH (2025) :

- Le volume d'air inspiré par un travailleur durant sa journée de travail n'est pas significativement différent en fonction de variations modérées des conditions ambiantes de température et de pression;
- L'absorption d'un gaz ou d'une vapeur est reliée à la pression partielle de la substance en cause (Slitt, 2019).

Cette approche est également retenue par d'autres organismes proposant des valeurs de référence comme les [Permissible Exposure Limits \(PELs\)](#) de l'Occupational Safety and Health Administration (OSHA, 2024), les Threshold Limit Values (TLVs) de l'ACGIH (2025) et les [Recommended Exposure Limits \(RELs\)](#) de National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH, 2007). Cette approche vise à limiter la quantité de contaminant pouvant être respiré par un travailleur, elle est donc assimilable à une approche de dose permmissible. Il est important de souligner que certains pays comme [l'Australie](#) (Safe Work Australia, 2024) ont des VEA basées sur une approche de concentrations permmissibles. L'intervenant en hygiène doit donc être prudent lorsqu'il compare la littérature provenant de divers pays puisque la façon dont la conformité à une norme est vérifiée peut varier et mener à des conclusions différentes. Cette préoccupation s'applique seulement lorsque le prélèvement n'est pas effectué à température et pression normales.

2.2 Gaz et vapeurs

Le terme gaz est réservé aux substances qui existent exclusivement à l'état gazeux à TPN (25 °C et à 101,3 kPa). En chimie physique, un gaz est défini comme l'état physique de la matière qui remplit n'importe quel contenant qui le contient (Atkins *et al.*, 2022). À l'état gazeux à TPN, les molécules gazeuses sont considérées très petites en rapport avec la distance qui les sépare, tendent à s'éloigner de manière rectiligne des unes des autres et prennent alors tout l'espace qui leur est offert dans le contenant. Le récipient est donc essentiellement constitué de vide et les molécules sont considérées indépendantes les unes des autres, avec des interactions moléculaires négligeables. Ces substances sont donc considérées comme des gaz parfaits à TPN.

Le terme « vapeurs » est associé à la fraction d'une substance solide ou liquide qui, à TPN, est retrouvée sous forme gazeuse (Roberge *et al.*, 2021, p. 105-138). Un solvant liquide au sol avec une faible température d'ébullition (p. ex. l'acétone) se volatiliserait rapidement à l'air libre à TPN sous forme gazeuse que l'on nommera vapeur.

Afin d'évaluer les gaz et les vapeurs en milieu de travail, plusieurs instruments à lecture directe (ILD) sont disponibles sur le marché. Quant au prélèvement intégré, les milieux collecteurs principalement utilisés sont les tubes adsorbants. Des barboteurs, des filtres imprégnés de réactif et des sacs de prélèvement sont aussi utilisés pour quelques composés (Roberge *et al.*, 2021, p. 455-486). Les prochaines sections s'attardent à ces différents types de mesure.

2.2.1 Instruments à lecture directe

Les instruments à lecture directe (ILD) permettent l'évaluation et l'analyse en temps réel d'un contaminant sous forme gazeuse. Le tableau 4 fournit la liste des ILD disponibles à l'IRSST pour l'évaluation des gaz et vapeurs. Les interférences spécifiques à chaque instrument sont mentionnées dans leur manuel d'utilisation. Ces instruments peuvent être affectés par les champs électromagnétiques. Cependant, certains d'entre eux sont intrinsèquement blindés contre les radiofréquences. D'autres instruments peuvent aussi être blindés contre les radiofréquences si un étui extérieur est utilisé. Voici la liste et une brève description des six principes de fonctionnement utilisés pour ces ILD :

- L'amalgamation;
- La combustion;
- L'électrochimie;
- La spectrophotométrie d'absorption infrarouge et ultraviolet;
- La photo-ionisation;
- Le semi-conducteur sensible au gaz.

L'amalgamation

L'amalgamation est le phénomène par lequel le mercure forme un alliage avec un autre métal, soit l'or et l'argent. Les vapeurs de mercure présentes dans l'air entrent en contact avec un filament d'or à l'intérieur de l'instrument. Il y a alors formation d'un amalgame, ce qui a pour effet d'augmenter la résistance du filament. Cette augmentation de résistance est proportionnelle à la quantité de mercure amalgamé, donc à la concentration moyenne de mercure sous forme de vapeur dans l'air. À titre d'exemple, ce principe de fonctionnement est utilisé dans l'analyseur de vapeur de mercure Jerome J405 (figure 10).

Figure 10. Analyseur de vapeur de mercure Jerome J405 (AMETEK Brookfield)



La combustion

Les gaz ou vapeurs qui brûlent en présence de l'oxygène de l'air sont détectés par ce principe. Les gaz combustibles comme le méthane, l'éthane, l'hydrogène (H_2) et les vapeurs des solvants organiques peuvent être détectés selon ce principe, comme c'est le cas avec le détecteur 4 gaz X-am 8000 de Dräger (figure 11). L'air contenant le gaz circule sur un filament chauffé à une température supérieure à la température d'ignition du mélange. La chaleur dégagée par la combustion change la résistance électrique du filament qui est proportionnelle à la concentration du mélange de gaz combustible/air. Les instruments de mesure pour les gaz combustibles sont étalonnés en pourcentage de la limite inférieure d'explosibilité (LIE) d'un gaz de référence. Ceci représente la plus faible concentration d'un mélange qui peut exploser lorsqu'il est mis en présence d'une source d'ignition. Le méthane est le gaz d'étalonnage le plus couramment utilisé. Ces instruments sont peu spécifiques.

Figure 11. Détecteur 4 gaz X-am 8000 (Dräger)



L'électrochimie

Les instruments de mesure opérant selon le principe d'électrochimie sont utilisés pour analyser des gaz ou des vapeurs pouvant être oxydés ou réduits à partir d'un potentiel électrique. Une réaction d'oxydation ou de réduction est provoquée à une électrode par un potentiel fixe. En contact avec le composé, l'instrument mesure une différence de courant dont l'amplitude est proportionnelle à la concentration du contaminant dans l'air. Cependant, d'autres composés dont le potentiel d'oxydoréduction est plus faible que la substance visée vont interférer. Des filtres internes ou externes à la pile électrochimique peuvent être utilisés pour éliminer les interférences. Un exemple concret de ce principe de fonctionnement est le détecteur de gaz Pac 8000 de Dräger (figure 12).

Figure 12. Détecteur de gaz Pac 8000 (Dräger)



La spectrophotométrie d'absorption infrarouge et ultraviolet

Les instruments qui fonctionnent selon ce principe, comme le détecteur 4 gaz X-am 5600 présenté à la figure 13, peuvent détecter et mesurer la concentration des gaz ou vapeurs qui absorbent l'énergie des rayons infrarouges ou ultraviolets. Les molécules de gaz absorbent l'énergie aux longueurs d'onde correspondant aux changements de leur état énergétique. La différence entre l'énergie émise par une source et l'énergie reçue par l'instrument est proportionnelle à la concentration du gaz dans l'air. En fixant les paramètres d'émission de la source, on obtient une mesure spécifique de la concentration du composé qu'on désire doser dans l'air. Il faut prendre en considération la forte absorption des molécules de vapeur d'eau lors de l'analyse par infrarouge.

Figure 13. Détecteur 4 gaz X-am 5600 (Dräger)



La photo-ionisation

Ce principe consiste à ioniser un composé organique par l'absorption d'énergie lumineuse. Des photons émis par une lampe à rayons ultraviolets ionisent les composés dont l'énergie requise est égale ou supérieure à leur potentiel d'ionisation. Les ions produits sont dirigés sur une électrode réceptrice produisant ainsi une mesure de courant qui est comparée à une concentration de référence. Ces instruments non spécifiques sont utiles pour détecter des sources d'émission et comme outil d'exploration. Le détecteur ToxiRAE Pro (figure 14) constitue une application typique de ce principe de fonctionnement. Certains instruments peuvent être équipés de tubes séparateurs ou couplés à un chromatographe – comme le X-pid de Dräger – afin d'éliminer les interférences et d'améliorer leur sélectivité, notamment dans le cas du benzène.

Figure 14. Détecteur ToxiRAE Pro (Honeywell)



Le semi-conducteur sensible au gaz

Ce principe analyse les gaz pouvant être oxydés ou réduits par l'échange d'électrons avec l'oxygène de la couche d'oxyde poreux. La concentration du gaz analysé est proportionnelle au changement de résistance électrique détectée au niveau de l'électrode en or. La microstructure de l'oxyde, son épaisseur et sa température de fonctionnement sont optimisées afin d'augmenter la sélectivité. Ce type de fonctionnement se retrouve dans le détecteur de gaz DF 110, présenté à la figure 15. Cependant, l'utilisation de ce type de détecteur n'est pas recommandée dans un environnement où l'on retrouve des poussières et des fumées, et certains composés organiques volatils ou chlorés sont une source d'interférences.

Figure 15. Détecteur de gaz DF 110 (KIMO instruments)



Tableau 4. Instruments à lecture directe disponibles à l'IRSST¹

Contaminant	Formule	CAS	Phase	Modèle instrument (manufacturier)	Principe	Plage de mesure	Exactitude	Temps de réponse** (s)	Interférence Le signe (-) indique une influence négative
Ammoniac	NH ₃	7664-41-7	Gaz	Pac 8000 (Dräger)	Électrochimie	0-300 ppm	≤ ± 3 %	≤ 10 (T ₅₀)	Chlore (-), Éthanol, Hydrogène, Chlorure d'hydrogène (-), Sulfure d'hydrogène, Dioxyde d'azote (-), Monoxyde d'azote, Phosphine
Azote, dioxyde d'	NO ₂	10102-44-0	Gaz	Pac 8000 (Dräger)	Électrochimie	0-50 ppm	≤ ± 3 %	≤ 15 (T ₅₀)	Chlore, Dioxyde de chlore, Sulfure d'hydrogène (-), Ozone, Dioxyde de soufre (-)
Azote, monoxyde d'	NO	10102-43-9	Gaz	Pac 8000 (Dräger)	Électrochimie	0-200 ppm	≤ ± 3 %	≤ 10 (T ₉₀)	Sulfure d'hydrogène
Azote, protoxyde d'	N ₂ O	10024-97-2	Gaz	G200 (Viasensor)	Infrarouge	0-1000 ppm	± (1,5 % intervalle de mesure + 2% lecture)	≤ 40 (T ₉₀)	Pour le CO ₂ , un filtre de chaux sodée doit être installé à l'entrée d'échantillonnage.
Carbone, dioxyde de	CO ₂	124-38-9	Gaz	X-am 5600 (Dräger)	Infrarouge	0-5 Vol. %	≤ ± 0,08 Vol. % à 2,5 Vol. %	≤ 31 (T ₉₀)	---
				Q-Trak™ XP IAQ 7585 (TSI®)	Infrarouge	0-5000 ppm	± 50 ppm	< 40 (T ₉₀)	Fréquence radio et champs électromagnétique à moins de 4 m.
				VelociCalc® 9600 + Sonde IAQ 982 (TSI®)	Électrochimie	0-5000 ppm	± 3 % ou ± 50 ppm***	20 (T ₉₀)	---

¹ La liste à jour des instruments disponibles se trouve sur : <https://www.irsst.qc.ca/laboratoires/instruments-materiel-echantillonnage>.

Contaminant	Formule	CAS	Phase	Modèle instrument (manufacturier)	Principe	Plage de mesure	Exactitude	Temps de réponse** (s)	Interférence Le signe (-) indique une influence négative
Carbone, monoxyde de	CO	630-08-0	Gaz	Pac 6500 (Dräger)	Électrochimie	0-2000 ppm	$\leq \pm 2 \%$	$\leq 15 (T_{90})$	Acétylène, Dioxyde de carbone, Hydrogène, Monoxyde d'azote
				X-am 5600 4 gaz (Dräger) – Double CO/H ₂ S	Électrochimie	0-2000 ppm	$\leq \pm 2 \%$	$\leq 20 (T_{90})$	Acétylène, Dioxyde de carbone, Hydrogène, Méthyl mercaptan, Monoxyde d'azote
				X-am 8000 4 gaz (Dräger) – Double CO/O ₂	Électrochimie	0-2000 ppm	$\leq \pm 2 \%$	$\leq 15 (T_{90})$	Acétylène, Dioxyde de carbone, Éthylène, Hydrogène, Monoxyde d'azote
				Q-Trak™ XP IAQ 7585 (TSI®)	Électrochimie	0-400 ppm	$\pm (2 \% + 1 \text{ ppm})$	$< 30 (T_{90})$ de 0 à 10 ppm	---
				VelociCalc® 9600 + Sonde IAQ 982 (TSI®)	Électrochimie	0-500 ppm	$\pm 3 \% \text{ ou } \pm 3 \text{ ppm}^{***}$	$< 60 (T_{90})$	Il est recommandé de réhydrater la cellule CO en présence de période prolongée de faible humidité ($< 30 \% \text{ HR}$) (plus que 3 semaines).
Chlore	Cl ₂	7782-50-5	Gaz	Pac 8000 (Dräger)	Électrochimie	0-20 ppm	$\leq \pm 2 \%$	$\leq 30 (T_{90})$	Chlorure d'hydrogène, Sulfure d'hydrogène (-), Dioxyde de soufre (-)

Contaminant	Formule	CAS	Phase	Modèle instrument (manufacturier)	Principe	Plage de mesure	Exactitude	Temps de réponse** (s)	Interférence Le signe (-) indique une influence négative
Formaldéhyde	HCHO	50-00-0	Gaz	Formaldemeter htV-m (PPM technology)	Électrochimie	0-10 ppm	± 5 %	60	Acétaldéhyde, Éthanol, Acide formique, Formaldéhyde, Glutaraldéhyde, Méthanol, Phénol, Résorcinol. Utiliser un filtre en phénol
Gaz combustibles	CH ₄	74-82-8	Gaz	X-am 5600 4 gaz (Dräger)	Infrarouge	0-100% LIE*	≤ ± 2 % LIE* à 50 % LIE*	≤ 15 (T ₉₀)	---
				X-am 8000 4 gaz (Dräger)	Combustion	0-100% LIE*	≤ ± 1 % LIE* à 50 % LIE*	≤ 20 (T ₉₀)	Les hydrocarbures halogénés ou les silicones volatils, le soufre et les composés métalliques lourds sont susceptibles d'endommager le capteur CatEx.
Mercure	Hg	7439-97-6	Vapeur	Jerome J405 (AMETEK Brookfield)	Amalgamation	0,001-0,999 mg/m ³	± 5 %	16	Présence d'un filtre pour les substances suivantes : composés chlorés, le sulfure d'hydrogène, le dioxyde d'azote, les mercaptans. Des filtres spécifiques pour l'ammoniac et les composés chlorés peuvent être utilisés.
Composés organiques totales			Vapeur	ToxiRAE Pro PID (Honeywell)	Photo-ionisation	0-2000 ppm	< 10 %	15 (T ₉₀)	---

Contaminant	Formule	CAS	Phase	Modèle instrument (manufacturier)	Principe	Plage de mesure	Exactitude	Temps de réponse** (s)	Interférence Le signe (-) indique une influence négative
Oxygène	O ₂	7782-44-7	Gaz	X-am 5600 4 gaz (Dräger)	Électrochimie	0-25 %	≤ ± 1 %	≤ 10 (T ₉₀)	Acétylène (-), Dioxyde de carbone (-), Éthane (-), Éthylène (-), Hydrogène (-)
				X-am 8000 4 gaz (Dräger) – Double CO/O ₂	Électrochimie	0-25 %	≤ ± 1 %	≤ 15 (T ₉₀)	Acétylène (-), Dioxyde de carbone (-), Éthane (-), Éthylène (-), Hydrogène (-)
Ozone	O ₃	10028-15-6	Gaz	POM (2B Technologies)	Absorption UV à 254 nm	0-500 ppb	1,5 ppb ou 2 % ***	20	Composés organiques contenant des cycles aromatiques (air très pollué)
				BW Solo (Honeywell)	Électrochimie	0-1 ppm	± 2 %	≤ 120 (T ₉₀)	Monoxyde de carbone (-), Dioxyde d'azote, Dioxyde de soufre (-)
Soufre, dioxyde de	SO ₂	7446-09-5	Gaz	Pac 6500 (Dräger)	Électrochimie	0-100 ppm	≤ ± 2 %	≤ 15 (T ₉₀)	Acétylène, Chlore (-), Acide chlorhydrique, Acide cyanhydrique, Sulfure d'hydrogène, Dioxyde d'azote (-), Phosphine
				Micro IV (GfG Instrumentation Inc.)	Électrochimie	0-10 ppm	± 0,3 ppm	< 30 (T ₉₀)	Dioxyde d'azote, Sulfure d'hydrogène

Contaminant	Formule	CAS	Phase	Modèle instrument (manufacturier)	Principe	Plage de mesure	Exactitude	Temps de réponse** (s)	Interférence Le signe (-) indique une influence négative
Sulfure d'hydrogène	H ₂ S	7783-06-4	Gaz	Pac 6500 (Dräger)	Électrochimie	0-100 ppm	≤ ± 5 %	≤ 15 (T ₉₀)	Monoxyde de carbone, Chlore (-), Diméthylsulfide, Diméthylsulfide, Ethyl mercaptan, Hydrogène, Méthyl mercaptan, Dioxyde d'azote (-), Sec-Butyl mercaptan, Dioxyde de soufre, Ter-Butyl mercaptan, Tétrahydrothiophène
				X-am 8000 4 gaz (Dräger)					
				X-am 5600 4 gaz (Dräger) – Double CO/H ₂ S	Électrochimie	0-200 ppm	≤ ± 2 %	≤ 20 (T ₉₀)	

* : Limite inférieure d'explosivité

** : T₅₀, T₉₀ : Temps nécessaire pour atteindre respectivement 50 % et 90 % de la lecture finale.

*** : La valeur la plus élevée s'applique.

2.2.2 Dispositifs colorimétriques à lecture directe

Les méthodes colorimétriques sont parmi les plus simples, les plus rapides et les moins coûteuses. Les principales limitations de ces dispositifs sont la non-spécificité et leur faible exactitude. Ils sont toutefois utiles comme outils de dépistage des sources ou pour voir des variations de concentrations dans l'espace ou le temps ou pour le suivi d'un seul contaminant connu. Il n'est pas recommandé de les utiliser pour évaluer l'exposition d'un travailleur sauf si c'est la seule méthode d'évaluation disponible (Ménard *et al.*, 1987). Le principe d'opération de ces dispositifs s'appuie sur le fait que l'intensité de la coloration se développe proportionnellement à la concentration d'un contaminant ou d'une famille de contaminants. Trois types de dispositifs sont utilisés, soit :

- Des tubes reliés à une pompe manuelle ou automatique;
- Des tubes de longue durée fonctionnant par diffusion passive;
- Des plaquettes constituées de tubes capillaires nécessitant l'utilisation d'un lecteur optique.

Dans le cas des tubes reliés à une pompe, la concentration est fonction du volume d'air prélevé. Il importe donc, après avoir brisé les extrémités du tube et l'avoir relié à la pompe, de respecter la période nécessaire au passage du volume désiré d'air et au développement de la réaction. L'évaluation de faibles concentrations peut s'effectuer en procédant avec plusieurs coups de pompes selon les instructions du manufacturier.

Les tubes colorimétriques de longue durée sont conçus de la même façon que les tubes colorimétriques conventionnels. Toutefois, le dosage de la substance réactive dans le support peut différer pour permettre un prélèvement de longue durée sans dépasser la capacité de réaction des produits imprégnés. Les tubes de longue durée sont gradués habituellement en ppm-heure. Pour obtenir une concentration pondérée, il suffit de diviser la lecture du changement de coloration par le temps de prélèvement en heures.

Le dispositif à plaquette (figure 16) contient des tubes capillaires remplis de substance réactive. Tout comme pour les dispositifs précédents, au contact du contaminant, il se produit une réaction colorimétrique dont l'intensité est lue non pas par l'utilisateur, mais par un lecteur optique. Le temps de réaction et le débit sont également pris en compte dans le calcul de la concentration. Les informations concernant le contaminant, le débit et la plage de mesure sont inclus dans le code à barres retrouvé sur la plaquette. L'interaction entre le lecteur optique et les différentes plaquettes se fait à l'aide des instructions incluses dans ce code à barres.

Figure 16. Dispositif à plaquettes (Dräger X-act 7000)



2.2.3 Milieux collecteurs pour prélèvement intégré

2.2.3.1 Prélèvement actif

Tubes adsorbants

Les tubes adsorbants (figure 17) sont utilisés pour prélever des gaz et des vapeurs, tels que les composés organiques volatils (COV), dont font partie les vapeurs de solvants, certains gaz comme l'oxyde d'éthylène et des acides comme l'acide acétique. Ce sont principalement des tubes de verre contenant un matériel adsorbant permettant la collection efficace des vapeurs et des gaz. Des tubes de désorption thermique en acier inoxydable (figure 18) et constitués d'un ou de plusieurs matériels adsorbants sont aussi disponibles. La différence entre les tubes de verre et ceux en acier inoxydable réside dans la méthode d'extraction qui sera utilisée par le laboratoire, soit avec un solvant ou par un traitement thermique, respectivement.

Le matériel adsorbant utilisé dans un tube peut être du charbon actif, du gel de silice, certains polymères poreux tels que le XAD-2, le XAD-7 ou le Tenax. Le matériel peut aussi être imprégné de réactifs chimiques tels que le 2-hydroxyméthylpipéridine (2-HMP), le dinitrophénylhydrazine (DNPH) ou le 1-naphtylisothiocyanate (NIT) qui permettront la stabilisation chimique de la substance échantillonnée une fois collectée. Dans ces derniers cas, le mécanisme de collection consiste en de la chimisorption contrairement à l'adsorption indiquée précédemment.

Un tube comporte généralement deux sections d'adsorbant distinctes divisées par un séparateur et qui seront analysées indépendamment une fois reçu au laboratoire. Il peut arriver, lorsque la substance est très volatile, que deux tubes d'une seule section chacun soient utilisés au lieu d'un tube à deux sections. Cette option permet de prévenir la

migration de la substance très volatile lors de la conservation des échantillons et d'assurer l'intégrité de l'échantillon. L'analyse des deux sections ou des deux tubes permet de vérifier l'efficacité de prélèvement du milieu collecteur. On considère le prélèvement comme acceptable si moins de 10 % du contaminant prélevé se retrouve dans la seconde section ou le second tube. Si plus de 25 % de celui-ci s'y retrouve, il y a probablement eu une perte et les résultats expriment alors une concentration minimale. Les organismes de référence ou normes pertinentes ne spécifient pas de critère unique de pourcentage permettant de juger valable ou non la mesure (Andrews et O'Connor, 2020; ASTM International, 2019 ; Langlois *et al.*, 2021; OSHA, 2023; Organisation internationale de normalisation [ISO], 2001). Si la quantité de contaminant mesurée dans la seconde section est comprise entre 10 et 25 %, la mesure peut être jugée valable. Toutefois, cette interprétation de l'intervenant doit tenir compte de plusieurs paramètres, notamment le contenu de l'échantillon, la volatilité des contaminants présents et le temps et le débit de prélèvement. Au besoin, le laboratoire peut aussi guider l'intervenant dans une telle situation.

Figure 17. Tubes adsorbants



Figure 18. Tubes de désorption thermique en acier inoxydable



Lors de l'échantillonnage, l'intervenant en hygiène brisera les extrémités du tube et le raccordera à la pompe à l'aide des dispositifs prévus à cet effet. Le tube doit être placé pour que la flèche soit dans le sens de l'écoulement de l'air. Le tube doit être placé, dans la zone respiratoire du travailleur, à la verticale pour prévenir tout effet de canalisation qui aurait pour résultat de réduire l'efficacité d'adsorption (Roberge *et al.*, 2021, p. 455-486). Couramment, les débits pour les tubes sont faibles et varient entre 0,1 L/min et 0,2 L/min afin d'assurer un temps de résidence suffisant pour permettre l'adsorption efficace des substances au média collecteur et limiter la restriction d'air (OSHA, 2023). Les tubes sont donc utilisés avec des pompes bas débit. Toutefois, ces informations peuvent varier et il

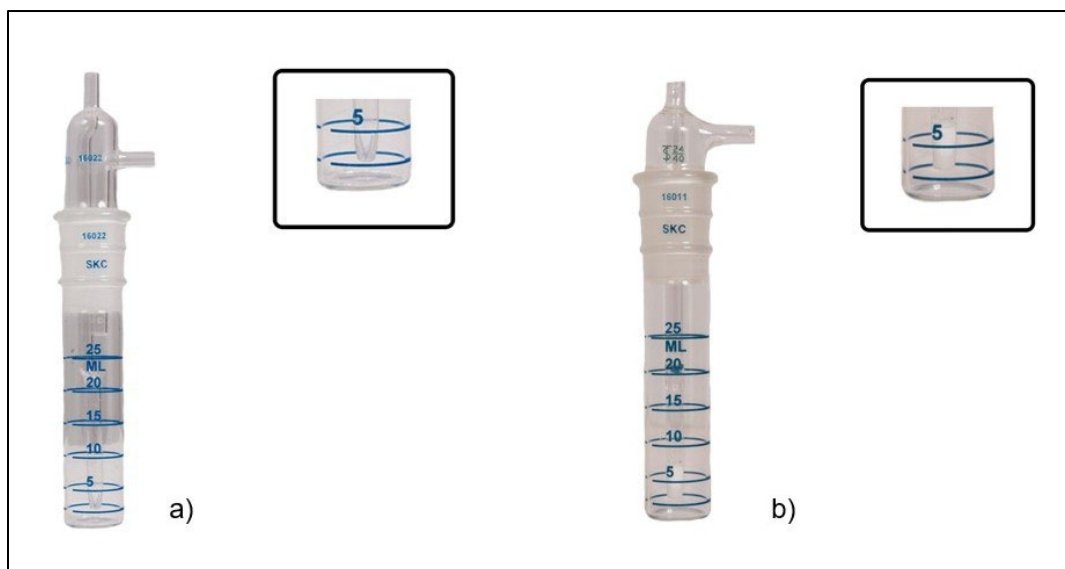
est donc nécessaire de consulter les fiches de substances de l'IRSST pour connaître les indications prescrites pour une substance donnée et un matériel d'échantillonnage retenu.

Enfin, toutes les informations recueillies lors du prélèvement doivent être notées. Les tubes sont refermés à l'aide des bouchons de plastique et conservés au froid ($< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$) jusqu'à l'envoi au laboratoire afin de limiter les pertes et la distribution de la substance dans les deux sections du tube. L'endroit d'entreposage doit être exempt de solvants (p. ex. exempt de prélèvements de procédé ou matériel de prélèvement tels que les jarres contenant du toluène). L'expédition au laboratoire doit se faire le plus rapidement possible avec de la glace pour éviter une perte de la substance adsorbée.

Barboteurs

Le prélèvement par barboteur fait passer l'air à travers une solution collectrice dans laquelle la substance en phase vapeur est absorbée. Les barboteurs sont également utilisés pour le prélèvement de substances semi-volatiles comme les isocyanates et ce sujet est traité à la section « Barboteur et CIP10 ».

Figure 19. Barboteur a) à bout conique et b) à bout fritté



Il existe deux types de barboteurs (figure 19). Le barboteur à bout conique est utilisé pour capter les contaminants très solubles dans la solution collectrice ou ceux réagissant rapidement. Le barboteur à bout de verre fritté est employé pour retenir plus efficacement les composés peu solubles dans la solution collectrice (OSHA, 2023). Les bulles fines ainsi formées permettent d'améliorer l'efficacité d'absorption. Si l'air prélevé contient des particules pouvant obstruer les pores du verre fritté ou interférer avec l'analyse, un préfiltre non réactif et non absorbant doit être utilisé.

Des barboteurs à l'épreuve de déversement, insérés dans des pochettes, sont disponibles pour le prélèvement en zone respirable ou en poste fixe dans le cas où le port d'un barboteur est trop risqué ou inconfortable.

Pour tous les prélèvements, un barboteur vide (trappe) doit être placé entre le barboteur de prélèvement et la pompe, afin de protéger celle-ci de la solution collectrice qui pourrait être aspirée accidentellement et ainsi endommager la pompe.

Le train de prélèvement, lors de l'ajustement du débit, comprend un préfiltre (si nécessaire), le barboteur de prélèvement contenant le volume adéquat de solution, la trappe et les tubes flexibles de mêmes dimensions que ceux utilisés lors du prélèvement. Dans le cas où la solution collectrice est aqueuse, l'introduction d'un tube desséchant entre le barboteur et le débitmètre est suggérée puisque le débit peut être affecté par la pression de vapeur d'eau (Cohen et McCammon, 2001). Si la solution collectrice est constituée d'un solvant volatil, une trappe de charbon actif doit être insérée en amont de la pompe afin d'éviter d'endommager son mécanisme.

Avec des barboteurs, un volume de prélèvement trop grand peut entraîner leur saturation alors qu'un volume trop petit peut diminuer la précision et la sensibilité de l'analyse. Une attention particulière doit être portée à l'évaporation de la solution durant un prélèvement prolongé et/ou à température plus élevée.

À la fin du prélèvement, les ouvertures du barboteur sont scellées au moyen de papiers paraffinés ou encore refermées avec un couvercle vissable selon le modèle de barboteur utilisé. Les prélèvements doivent être retournés au laboratoire le plus rapidement possible dans les boîtes de transport fournies à l'envoi, aux fins d'analyse. S'ils ne peuvent être envoyés immédiatement au laboratoire, ils doivent être conservés au réfrigérateur.

2.2.3.2 Prélèvement passif

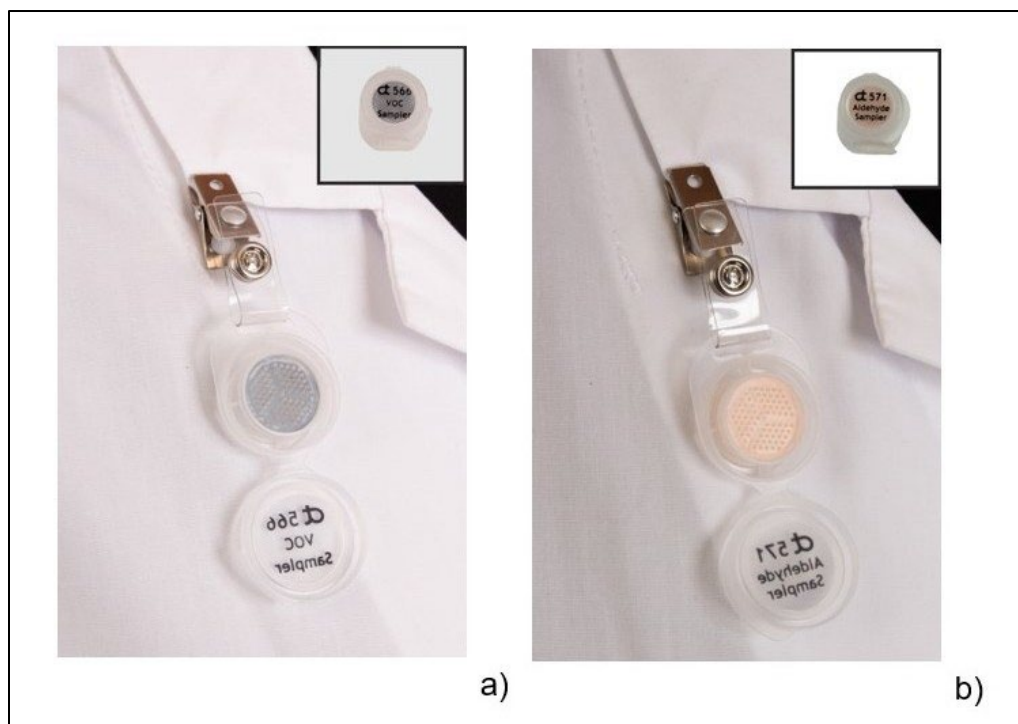
Les dosimètres passifs sont aussi utilisés pour évaluer l'exposition aux gaz ou aux vapeurs et trouvent leur avantage par une plus grande facilité d'utilisation. Ils ne nécessitent pas l'utilisation de pompe ou de débitmètre et encombrant moins le travailleur dans ses tâches. En effet, le dosimètre passif (figure 20) est attaché directement sur le travailleur en zone respiratoire.

Un dosimètre passif fait intervenir le processus de la diffusion selon la première loi de Fick (Roberge *et al.*, 2021, p. 105-138). C'est un phénomène par lequel une substance dans l'air (p. ex. le toluène dans l'air) se dirige d'une région concentrée à une région moins concentrée. Le gradient de concentration est assuré par la capture des molécules de la substance par un adsorbant situé au fond du dosimètre. Cet adsorbant peut être composé de charbon actif, gel de silice, XAD-2, etc. Comme pour les tubes adsorbants, le support de collecte peut être imprégné d'un réactif pour ainsi faire intervenir le mécanisme de chimisorption.

Le taux de diffusion pour un gaz ou des vapeurs, considéré dans le présent contexte comme un taux d'échantillonnage, est exprimée en mL/min (Roberge *et al.*, 2021, p. 455-486). C'est un paramètre qui est établi en fonction de la substance et des caractéristiques géométriques du dosimètre. Chaque substance a donc son propre taux de diffusion. Les volumes d'échantillonnage seront donc différents pour chacune des substances, car elles sont reliées à leurs taux de diffusion respectifs. Par ailleurs, les dosimètres passifs peuvent être influencés par les conditions du milieu, telles l'humidité, la température et la coadsorption des différentes molécules présentes dans un milieu de travail. Les conditions de température devraient être notées par l'intervenant en hygiène et les résultats pourraient être corrigés si le fournisseur du dosimètre le recommande.

Enfin, les changements brusques de niveaux de gaz ou de vapeurs dans un milieu de travail ainsi que des évaluations courtes (p. ex. 15 min) présenteront une variabilité importante. Comme leur processus de diffusion est lent, les dosimètres devraient donc être réservés pour de plus longues périodes de prélèvement (p. ex. 240 ou 480 min) et pour des environnements dont les concentrations en gaz et vapeurs sont relativement homogènes au fil du temps. À défaut de rencontrer ces conditions, le tube adsorbant sera alors préférable.

Figure 20. Dosimètre passif modèle a) 566AT et b) 571AT (Assay Technology)



L'IRSST utilise deux dosimètres passifs qui proviennent d'Assay Technology, soit le 566AT (IRSST 2696) qui est constitué de charbon actif pour les vapeurs organiques et le 571AT (IRSST 2610) qui est composé d'un filtre en fibre de verre imprégné de DNPH

pour le formaldéhyde et l'acétaldéhyde. Parmi les fabricants de dosimètre connus, on retrouve aussi SKC et Maugeri (radiello).

Il est possible de consulter les fiches de substance (partie 3) pour savoir s'il existe un dosimètre passif que l'on a retenu pour le prélèvement. De plus, en cas de résultat non décelé pour ces substances, l'IRSST rend disponible un [utilitaire](#) afin de calculer la concentration équivalente en mg/m³ (Cloutier *et al.*, 2025).

Afin de réaliser le prélèvement avec un dosimètre, il suffit d'ouvrir le couvercle de celui-ci, noter l'heure du début de prélèvement et de le refermer à la fin du prélèvement en notant de nouveau l'heure. La durée devra être communiquée au laboratoire. Les dosimètres 566AT et 571AT sont entreposés (avant l'échantillonnage) et peuvent être conservés à température ambiante une fois l'échantillonnage réalisé. L'endroit d'entreposage ou de conservation doit toutefois être exempt de vapeurs organiques. Les échantillons prélevés sur les dosimètres 566AT et 571AT doivent être envoyés au laboratoire dans des enveloppes scellées et être reçus par le laboratoire dans les 14 jours suivants l'échantillonnage.

2.2.3.3 Sacs de prélèvement

Les sacs de prélèvement (figure 21) servent à recueillir certains gaz. Les phénomènes de diffusion à travers les parois et d'adsorption sur les parois du sac influencent le choix des matériaux pour un composé donné et la durée de conservation du prélèvement (Larivière *et al.*, 1985). Ils sont fabriqués de différents matériaux polymérisés et sont disponibles en différents volumes.

Les prélèvements s'effectuent dans des sacs aluminés constitués de 5 couches de 2 litres ou 5 litres. Cependant, dû à la diffusion ou la stabilité de certains gaz réactifs, ce type de sac n'est pas recommandé dans tous les cas, notamment pour le sulfure d'hydrogène (H₂S), le dioxyde de soufre (SO₂) et le dioxyde d'azote (NO₂) (Roberge *et al.*, 2021, p. 455-486).

Figure 21. Sac de prélèvement



Lorsque l'on retrouve dans le milieu de travail une concentration importante de poussières dans l'air, l'utilisation d'un préfiltre à l'entrée du sac peut être nécessaire pour éliminer ces poussières. Sur le site de prélèvement, le sac est relié à la sortie d'air de la pompe au moyen d'un tube flexible en polymère transparent. Les tubes flexibles de polyester et de caoutchouc adsorbent certains gaz et ne sont donc pas recommandés.

Les volumes de prélèvement recommandés pour les gaz correspondent à des volumes minimums permettant un dosage précis. Les débits sont choisis par l'utilisateur en fonction du temps de prélèvement désiré (application de la VEMP ou de la VECD).

Le prélèvement se fait à la pression atmosphérique et la pression finale à l'intérieur du sac doit être égale à la pression atmosphérique. L'humidité est également un facteur très important à cause du phénomène de dissolution des gaz dans l'eau; il faut donc éviter les variations de température qui entraîneraient une condensation à l'intérieur du sac.

Dès que le prélèvement est terminé, la valve du sac est refermée et bouchée. Afin de garder l'intégrité des gaz, le sac doit être envoyé au laboratoire dans les 48 heures suivant le prélèvement.

2.2.3.4 Prélèvement d'air entier par canister

Le prélèvement de gaz et de vapeur peut se faire dans un contenant rigide nommé canister, dans lequel le vide aura été préalablement créé. Cette technique est utilisée pour l'identification des substances présentes, la plupart du temps des composés organiques volatils, et leurs concentrations respectives. Son débit de prélèvement peut varier selon le modèle utilisé pour ainsi rendre possible la prise d'échantillon instantané ou

intégré sur une période donnée. Pour le moment, cette technique n'est pas utilisée à l'IRSST (Roberge *et al.*, 2021, p. 455-486; Stephenson et Lillquist, 2001).

2.3 Aérosols

2.3.1 Définitions générales

Un aérosol se définit comme une suspension de particules solides ou liquides dans l'air dont le diamètre se situe dans l'intervalle 0,001 μm (ou 1 nm) à 100 μm . Ces particules peuvent être formées par divers mécanismes qui exerceront une influence sur leurs caractéristiques telles que la distribution granulométrique et leur état physique. Les sous-sections suivantes présentent les principaux types d'aérosol.

Les risques à la santé sont principalement liés à la toxicité des substances qui constituent les particules d'un aérosol et leur absorption par l'organisme. L'absorption de ces substances sous forme d'aérosols par l'organisme peut avoir lieu de manière directe par inhalation, ou indirecte par ingestion ou par contact cutané. L'inhalation étant le mécanisme d'absorption d'intérêt pour les aérosols, ces substances peuvent se déposer à divers endroits, appelés sites de dépôt, dans les voies respiratoires. Les principes et conventions d'échantillonnage liés aux sites de dépôt et à la taille des particules sont présentés à la section 2.3.2. Les méthodes d'évaluation sont quant à elles présentées dans la section 2.3.3.

2.3.1.1 Aérosols solides

Les poussières consistent en un aérosol de particules solides formées par désintégration (broyage, coupage, ponçage) d'un matériau, souvent jumelée à une dispersion mécanique favorisant sa mise en suspension dans l'air. En guise d'exemples, on peut citer les poussières de bois, de farine, de minerai ou de silice. Dans le cas de l'amiante, les poussières seront sous forme de fibres. Les poussières peuvent être de tailles sous-microniques ($< 1 \mu\text{m}$) jusqu'à quelques dizaines de micromètres selon le procédé et les propriétés du matériau mis en œuvre.

Les fumées solides sont formées par condensation de vapeurs issues d'un procédé chaud (soudage, métallisation) ou d'une combustion. Les particules formées sont habituellement de taille sous-microniques ($< 1 \mu\text{m}$), les fumées de soudage ou d'asphalte en constituent un bon exemple.

2.3.1.2 Aérosols liquides

Les aérosols liquides consistent en de fines gouttelettes en suspension dans l'air. L'agitation mécanique ou la pulvérisation d'un liquide comme un vernis peut générer un brouillard de tailles de particules variées, allant de $< 1 \mu\text{m}$ à plusieurs micromètres. Aussi, une substance liquide évaporée pourrait recondenser sous forme de particules liquides

pour ainsi former une fumée liquide. La taille des particules de fumée liquide formées sera $< 1 \mu\text{m}$.

2.3.2 Critères sélectifs de la taille des particules collectées

Suivant leur site de dépôt dans les voies respiratoires, les particules peuvent causer des effets localisés ou systémiques selon leurs propriétés physico-chimiques ou biologiques, leur concentration et leur toxicité. Les sites de déposition d'un aérosol dépendent généralement de la conformation spatiale du système respiratoire et du diamètre aérodynamique des particules. Les effets sur la santé des particules qui pénètrent dans l'organisme par inhalation dépendent donc principalement de leur taille, mais également de la substance dont elles sont constituées, de la quantité de cette substance déposée et des caractéristiques du tractus respiratoire où elles se déposent.

La figure 22 présente un schéma du système respiratoire où sont décrites trois régions où les particules sont susceptibles de se déposer : la région du rhinopharynx, la région trachéo-bronchique (thoracique) et la région alvéolaire. L'évolution des connaissances a mené à définir trois fractions granulométriques – inhalable, thoracique et respirable – qui sont tenues en compte dans l'établissement d'une valeur limite d'exposition. Ces trois fractions sont établies par les normes ISO 7708 et EN 481 ainsi que par l'ACGIH pour correspondre à l'ensemble ou aux sous-ensembles de l'aérosol pouvant pénétrer dans une ou des régions du système respiratoire. (ACGIH, 2025; CEN, 1993; ISO, 1995) La figure 23 présente graphiquement ces fractions, en décrivant le taux de pénétration (%) des particules dans le système respiratoire ou ses sous-régions selon leur diamètre aérodynamique. Les particules totales y sont également présentées à titre comparatif (Roberge *et al.*, 2011). Les trois fractions, qui peuvent être associées en théorie à des zones précises du système respiratoire, possèdent également des définitions expérimentales qui sont décrites dans les sous-sections suivantes. Des valeurs d'exposition admissibles (VEA) et d'autres valeurs limites canadiennes ou internationales, incluant les recommandations de l'ACGIH, sont exprimées en fraction respirable et particules totales depuis plusieurs décennies et de plus en plus de valeurs sont exprimées en fraction inhalable ou thoracique.

Figure 22. Régions du système respiratoire (à titre indicatif)

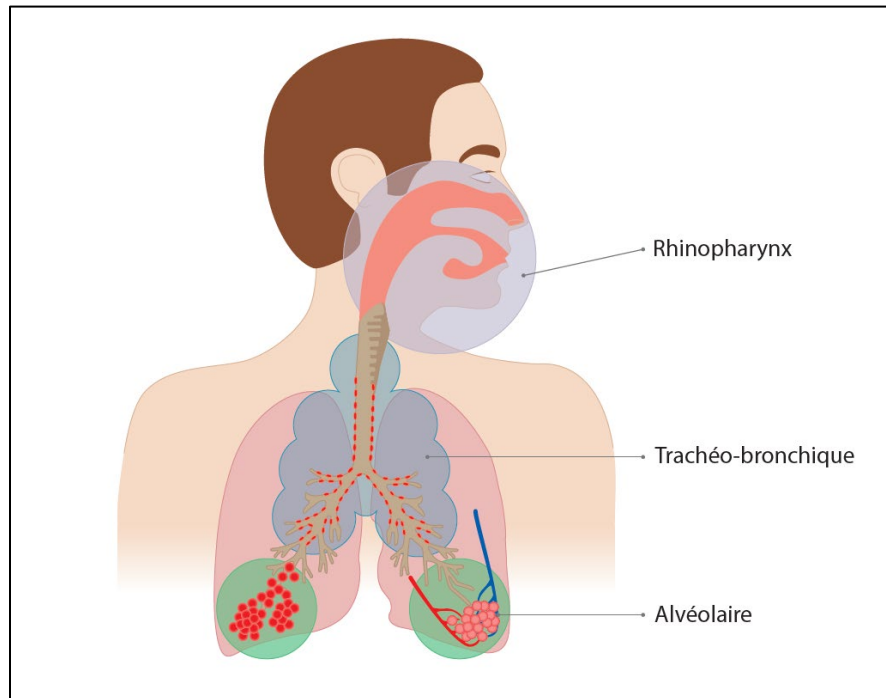
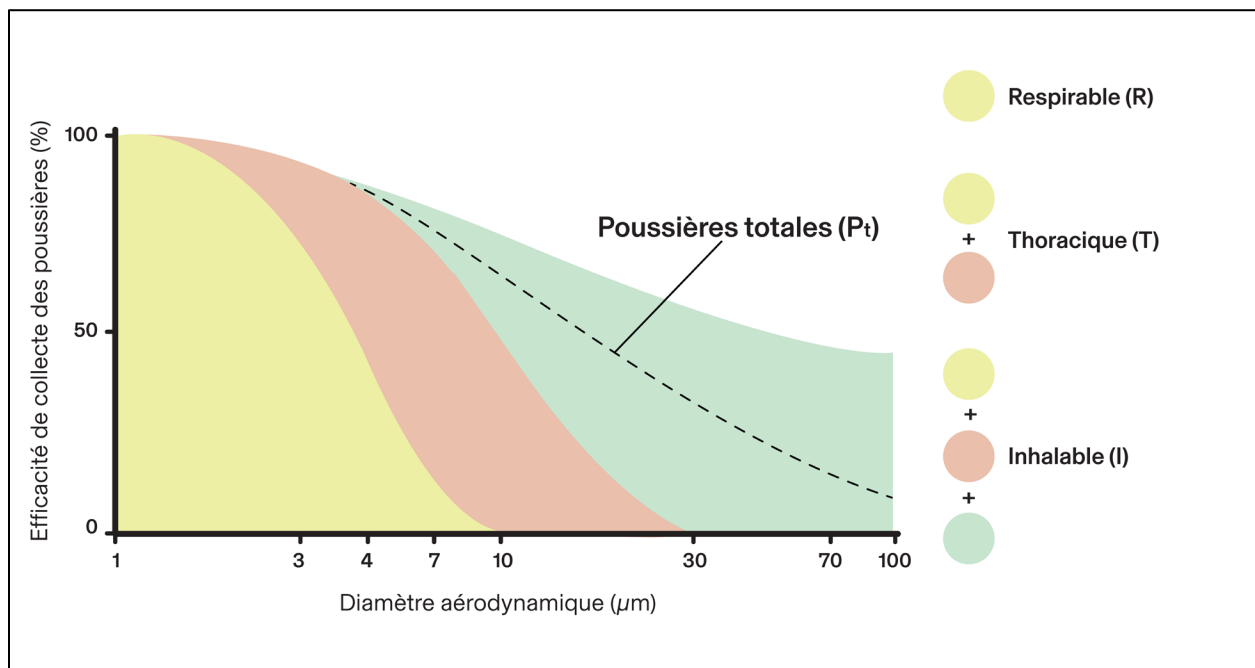


Figure 23. Courbe d'efficacité de collection des différentes fractions granulométriques de particules



2.3.2.1 Particules de la fraction inhalable de l'aérosol (Pi)

Cette fraction s'applique aux substances pouvant se déposer dans la totalité des voies respiratoires. Elle est pertinente pour les particules présentant des risques pour la santé indépendamment de leur site de dépôt. Certaines VEA sont également exprimées en Pi lorsque la taille des particules implique un dépôt potentiellement important dans les voies respiratoires supérieures. La Pi correspond à la masse des particules dont le diamètre aérodynamique (d_a) est entre 0 et 100 μm et qui sont collectées par un échantillonneur dont la courbe d'efficacité de collecte (E_i), quelles que soient la vitesse et la direction du vent, est la suivante :

Équation 13. Efficacité de prélèvement des particules de la fraction inhalable E_i

$$E_i = 50\% * (1 + E^{-0,06d_a}) \quad d_a = \text{diamètre aérodynamique}$$

2.3.2.2 Particules de la fraction thoracique de l'aérosol (Pthor)

Cette fraction s'applique aux particules présentant un risque pour les voies pulmonaires intermédiaires et la région des échanges gazeux. La fraction thoracique correspond à la masse des particules qui sont collectées par un échantillonneur dont la courbe d'efficacité de collecte (E_t) serait de :

Équation 14. Efficacité de prélèvement des particules de la fraction thoracique E_t

$$E_t(d_a) = E_i * (1 - F(x))$$

$d_a = \text{diamètre aérodynamique}$
 $x = \text{Ln}(d_a/\Gamma) / \text{Ln}(\Sigma)$
 $\Gamma = 11,64 \mu\text{m}$ (diamètre médian de la distribution cumulative log-normale)
 $\Sigma = 1,5$
 $F(x) = \text{fonction cumulative de probabilité de la variable standardisée normale } x$

2.3.2.3 Particules de la fraction respirable de l'aérosol (Pr)

Cette fraction inclut les particules qui présentent un risque lorsqu'elles se déposent dans la région des échanges gazeux. Cette fraction est aussi nommée « alvéolaire » dans certains documents de référence. La fraction respirable correspond à la masse des particules collectées lors du prélèvement dont la courbe d'efficacité de capture (E_r), selon le diamètre aérodynamique des particules, est décrite par une fonction log-normale cumulative ayant un diamètre médian de 4 μm et une déviation standard de 1,5. Cette définition est représentée par l'équation suivante :

Équation 15. Efficacité de prélèvement des particules de la fraction respirable E_r

$$E_r(d_a) = E_i * (1 - F(x))$$

$d_a =$ diamètre aérodynamique
 $x = Ln(da/\Gamma)Ln(\Sigma)$
 $\Gamma = 4,25 \mu\text{m}$ (diamètre médian de la distribution cumulative log-normale)
 $\Sigma = 1,5$
 $F(x) =$ fonction cumulative de probabilité de la variable standardisée normale x

2.3.2.4 Particules totales

Le terme « particules totales » (Pt) possède une définition basée sur une technique de prélèvement qui réfère à la quantité de particules recueillie sur un filtre placé dans une cassette fermée ayant une ouverture de 4 mm. Cette définition de Pt ne fait pas l'objet d'un consensus international et peut donc différer selon les réglementations avec différentes combinaisons de débits ou de configurations de cassette.

Il a été documenté que la cassette avec ouverture de 4 mm occasionne une sous-estimation des particules dont le diamètre aérodynamique excède environ 20 μm (figure 23). Toutefois, des considérations pratiques (historique des données d'exposition, faible coût, facilité d'utilisation, etc.) couplées au fait qu'un nombre très important de substances particulières ont actuellement une VEA, donc une norme réglementaire, exprimée en Pt font en sorte que son application est encore répandue. Il est important de souligner que la fraction Pt s'applique lorsque la VEA d'une substance particulière n'a pas de fraction spécifiée.

Les changements vers les fractions inhalable, thoracique ou respirable font suite à l'évolution des connaissances et une volonté d'uniformisation de la pratique de l'hygiène du travail et des réglementations de santé au travail. Néanmoins, le maintien de normes d'exposition réglementées (VEA) exprimées en Pt demeure pertinent dans des situations où les connaissances scientifiques et les aspects de faisabilité méthodologique sont en adéquation.

2.3.2.5 Nanomatériaux

Les nanomatériaux sont définis dans la norme ISO 80004-1 en tant que matériau ayant au moins une dimension externe comprise dans l'intervalle 1 à 100 nm (0,001 à 0,1 μm) (ISO, 2023). La norme ISO TS12901-1 définit quant à elle les nanomatériaux par les termes nano-objets, agglomérats et agrégats (NOAA) (ISO, 2024). Les nanomatériaux existent sous différents types de nano-objets (p. ex. nanoparticules unitaires, nanofibres, nanotubes) et de matériaux nanostructurés (p. ex. agrégats ou agglomérats de nano-

objets²). Dans les milieux de travail, les nanomatériaux consistent le plus souvent en des matériaux (particules) nanostructurés.

L'appellation d'un nanomatériau est aussi liée au contexte ou type de génération. Les termes particules ultrafines (PUF) ou particules nanométriques non intentionnelles (PNNI) sont fréquemment utilisés pour désigner des nanomatériaux générés naturellement (ex. : volcanisme) ou non-intentionnellement par certains procédés industriels (p. ex. fumées de soudage, combustion). Dans le cas d'une génération intentionnelle de nanomatériaux (p. ex. nanotubes de carbone) pour en exploiter certaines propriétés propres à l'échelle nanométrique, ils sont désignés en tant que nanomatériaux manufacturés (NM).

Au cours des dernières décennies, l'évolution des connaissances sur la toxicité des nanomatériaux a permis de mettre en évidence un potentiel de risque à la santé spécifique lié à ce type de particules. Bien que des contaminants désignés comme PUF ont des valeurs limites d'exposition bien définies (p. ex. fumées d'asphalte, émanations de moteur diesel), peu de recommandations ou de valeurs limites existent pour les NM. Parmi les rares exemples, des organismes proposent des valeurs limites pour les nanotubes de carbone (NIOSH, 2013) et pour le dioxyde de titane nanométrique (ACGIH, 2025; NIOSH, 2011). Cette observation s'explique principalement par le fait que, contrairement aux contaminants particulaires de plus grandes tailles, la mesure de l'exposition reposant sur une concentration massique dans l'air, n'est pas nécessairement celle qui est le plus en adéquation avec les effets toxiques observés.

Bien que plusieurs moyens puissent être déployés pour mesurer la présence des NM et leurs concentrations dans l'air des lieux de travail, la quasi-absence de méthode de mesure standardisée dont les résultats peuvent être comparés à une VEA fait en sorte que cette mesure vise surtout à prévenir les expositions. Des méthodes de mesures standardisées ou non, impliquant instruments à lecture directe, prélèvements intégrés et analyses physico-chimiques a posteriori, peuvent être utilisées conjointement pour mener une enquête approfondie en hygiène du travail dans un contexte où des NM sont présents. Certaines de ces méthodes sont décrites sommairement dans la section 2.3.3 alors que d'autres relèvent surtout de l'expertise scientifique. Le lecteur peut également consulter différents ouvrages et rapports de recherche traitant du sujet plus en profondeur (Ricaud et Witschger, 2020).

² Un agrégat et un agglomérat consistent respectivement en des amas de particules nanométriques fusionnées totalement ou partiellement.

2.3.3 Méthodes d'évaluation

2.3.3.1 Instruments à lecture directe (ILD)

Le développement de nouvelles technologies et la mise en service de nombreux ILD au cours des dernières décennies ont fait en sorte que leur utilisation peut être considérée comme un outil de premier plan de la pratique de l'hygiène du travail. Principalement utilisés comme démarche exploratoire lors de l'enquête préliminaire (section 1.1), les ILD permettent de détecter les principales sources d'émissions et donc d'évaluer des tâches ou postes les plus susceptibles de générer une exposition significative. Une autre utilisation pertinente est l'évaluation du profil temporel d'émission, qui permet d'appréhender les pics d'exposition liés à une tâche, à une étape d'un procédé ou à un poste de travail. La résolution temporelle, ou temps de réponse, des ILD, souvent inférieure à la minute, permet également d'évaluer l'efficacité d'équipements de ventilation ou d'épuration de l'air. Les limitations d'utilisation des ILD proviennent principalement de leurs principes de fonctionnement.

Il faut toutefois préciser que les méthodes de prélèvement intégré décrites à la section 2.3.3.2 demeurent celles qui permettent de mesurer l'exposition professionnelle. En effet, les ILD ne sont généralement pas utilisés pour prélever dans la zone respiratoire et les résultats générés par ces instruments constituent, dans beaucoup de cas, un ordre de grandeur des concentrations ambiantes. Les résultats ne peuvent donc être interprétés que sur une base comparative (p. ex. poste X montre une contamination plus élevée que poste Y ou que le bruit de fond).

Parmi les plus utilisés en hygiène du travail, les photomètres massiques (p. ex. DustTrak® II 8530, TSI®) ou les spectromètres optiques (p. ex. AeroTrak® 9306-V2, TSI®) basent leur mesure sur l'interaction des particules avec un faisceau lumineux. Les résultats fournis en termes de concentration massique (photomètres) ou de diamètre des particules (spectromètres) sont ainsi très dépendants des propriétés optiques des particules. Alors l'utilisation de ces instruments nécessite un étalonnage spécifique à l'aérosol retrouvé en milieu de travail. Or, cet étalonnage est parfois impossible ou encore nécessite d'importantes approximations. À noter que la mesure des concentrations en nombre par des compteurs de type optique démontre une faible dépendance à la nature des particules, rendant ainsi ce type d'instrument plus précis dans la quantification.

Les principales limites de ces ILD sont l'incapacité à dénombrer chaque particule individuellement à forte concentration (phénomène de coïncidence entraînant une sous-estimation) et la chute de l'efficacité de détection pour les particules de petites tailles, c'est à dire en-dessous de 0,3 µm. L'utilisation de compteurs à noyaux de condensation (p. ex. P-Trak® 8525, TSI®) permet toutefois la détection des particules inférieures à 0,3 µm, ce qui est pertinent à considérer dans un lieu de travail où des nanomatériaux (section 2.3.2.5) sont anticipés. Ainsi, le choix de l'instrument ne doit pas se baser sur le

seul critère de précision de la quantification, mais plutôt sur l'ensemble des caractéristiques de l'aérosol (taille, expression de la VEA, concentration attendue...).

Les ILD disponibles à l'IRSST sont présentés au tableau 5, accompagnés des détails pertinents quant à leur domaine d'applicabilité exprimé en concentration et en distribution granulométrique. Il est important de noter que d'autres types ou modèles d'instruments existent et peuvent fournir des mesures adéquates dans le contexte expliqué ci-haut.

Tableau 5. ILD disponibles à l'IRSST pour l'évaluation des aérosols³

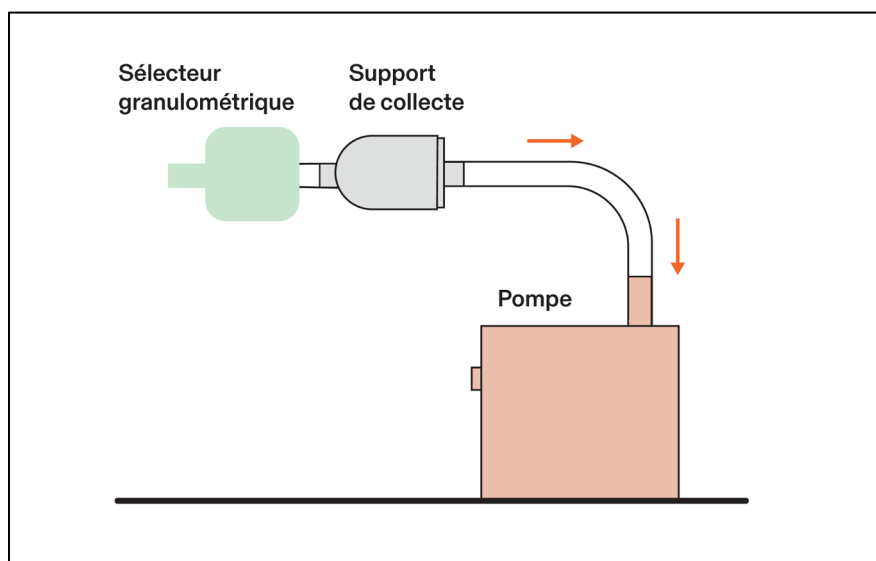
Type d'ILD	Modèle*du fabricant TSI®	Type Mesure	Étendue humidité relative permise	Étendue température permise	Étendue granulométrique (µm)	Étendue concentration
Concentration massique (µg/m ³ ou mg/m ³)	DustTrak® II 8530	Ambiant	0-95% HR (sans condensation)	0 à 50 °C	0,1 – 10	0,001 à 150 mg/m ³
	SidePak™ AM510	Personnel	20-98% (sans condensation)	0 à 50 °C	0,1 – 10	0,001 à 20 mg/m ³
Lecture de concentration en nombre (# part./cm ³)	AeroTrak® 9306-V2	Ambiant	Non spécifié	5 à 35 °C	0,3 – 10	< 210 # / cm ³ (avec 10% de perte par coïncidence)
	P-Trak® 8525	Ambiant	0-95% HR (sans condensation)	0 à 38 °C	0.02 – 1 (particules ultrafines)	0 à 500 000 # /cm ³

2.3.3.2 Prélèvements intégrés

Pour une mesure de l'exposition professionnelle, les particules d'un aérosol sont prélevées en zone respiratoire en utilisant un sélecteur de taille de particules (si applicable) et un milieu collecteur connecté en série à une pompe personnelle par un tube flexible. Cet ensemble constitue le train d'échantillonnage et est illustré à la figure 24. Les particules aspirées vers le milieu collecteur sont, le cas échéant, ségréguées en amont par le sélecteur en adéquation avec la fraction de l'aérosol visé (section 2.3.2). Le milieu collecteur, habituellement une membrane filtrante, retiendra les particules qui l'atteignent, pour ensuite être envoyé au laboratoire pour être analysé. Le milieu collecteur peut aussi consister en une membrane d'impaction, selon le mode de prélèvement utilisé (sections « Impacteurs parallèles (PPI) » et « Impacteurs en cascade » plus bas). Les prochaines sections détaillent les principales méthodologies existantes de prélèvement intégré.

³ La liste à jour des instruments disponibles se trouve sur : <https://www.irsst.qc.ca/laboratoires/instruments-materiel-echantillonnage>

Figure 24. Schéma d'un train d'échantillonnage



2.3.4 Dispositifs de prélèvement

2.3.4.1 Sélecteurs granulométriques

Les sélecteurs granulométriques se déclinent sous différents types selon leur mécanisme de sélection.

Cyclone

Le cyclone permet d'éliminer, lors d'un prélèvement, les particules d'un aérosol dont le diamètre aérodynamique dépasse une certaine valeur, appelée diamètre de coupure, selon la courbe d'efficacité concernée (section 2.3.2). Les particules qui pénètrent dans le cyclone et qui ne peuvent suivre le mouvement de rotation rapide que celui-ci veut leur imposer sont projetées sur ses parois et sont recueillies dans son réceptacle conçu à cet effet. Tout cyclone dont l'efficacité est reconnue pour le prélèvement des fractions respirable ou thoracique par la communauté scientifique et qui répond aux critères de performance établis peut être utilisé. Ils doivent être placés en amont du support de collecte.





Les différents cyclones disponibles commercialement sont illustrés dans le tableau 6. La majorité de ces cyclones sont utilisés pour la ségrégation des particules respirables, conformément aux normes et définition décrites à la section 2.3.2. Il est essentiel de respecter le débit prescrit, car tout écart entraînera une déviation de la fraction prélevée par rapport aux normes.

Certains cyclones sont conçus pour être utilisés avec une cassette fermée, tels que les Dorr-Oliver, tandis que d'autres utilisent une cassette ouverte tel que le GS-3 ou le

GK2.69. L'un des principaux avantages des cyclones utilisant une cassette ouverte est qu'ils permettent un dépôt plus uniforme des particules sur la membrane filtrante, contrairement aux cyclones Dorr-Oliver qui tendent à concentrer les particules au centre de la membrane. Un dépôt non uniforme peut avoir une incidence sur les résultats pour les méthodes qui n'utilisent pas l'entièreté d'un filtre tel que la méthode IRSST 388 (IRSST, 2016) mesurant les particules diesel ou certaines méthodes analysant directement le filtre sans étape de redéposition. Cependant, les cyclones utilisant la configuration cassette ouverte doivent impérativement être utilisés avec des cassettes à trois pièces, généralement disponibles pour des membranes filtrantes de 37 mm. Pour des membranes filtrantes de 25 mm, un adaptateur est nécessaire. Avant l'échantillonnage, l'intervenant doit vérifier que le cyclone est propre et exempt de particules, et que le réceptacle (*grit pot*) est vide et bien fixé. Lorsqu'une cassette y est installée, il doit maintenir le cyclone en position verticale, le réceptacle pointant vers le bas, et s'assurer qu'il reste en place afin de prévenir la contamination de l'échantillon par les particules exclues du cyclone.

Le cyclone GK2.69 permet la ségrégation des particules respirables et thoraciques à des débits distincts, soit de 4,2 L/min pour les particules respirables et de 1,6 L/min pour les particules thoraciques, offrant ainsi une flexibilité selon le type de particules à analyser.

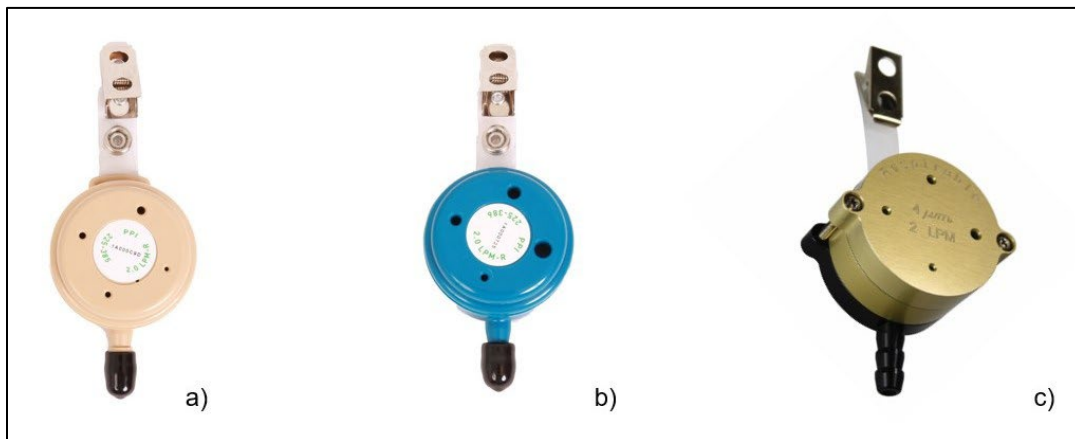
Tableau 6. Exemples de cyclones pouvant être utilisés en hygiène du travail

				
Nom	Dorr-Oliver	GS-3	Aluminium	BGI GK2.69
Débit (Pr)	1,7	2,75	2,5	4,2
Débit (Pthor)				1,6
Débit prescrit*	[1,6 -1,8L]/min	[2,6 -2,9L]/min	[2,4 -2,6L]/min	[4,0 -4,4L]/min [1,5 -1,7L]/min
Configuration cassette/ Compatibilité	Cassette fermée/ Cassette 2 pièces et 3 pièces	Cassette ouverte/ Cassette 3 pièces 37 mm (avec adaptateur pour 25 mm)	Cassette ouverte/ Cassettes 3 pièces 37 mm seulement	Cassette ouverte/ Cassettes 3 pièces 37 mm seulement

Impacteurs parallèles (PPI)

Les impacteurs parallèles (PPI) sont des supports de collecte intégrant un sélecteur de particules qui permet la sélection de particules de fraction respirable ou thoracique. Ils sont commercialisés par SKC. Différents modèles existent pour la fraction respirable (2 L/min, 4 L/min ou 8 L/min) alors que pour la fraction thoracique, un seul est disponible à 2 L/min. De plus, des modèles à usage unique ou réutilisables sont disponibles (figure 25).

Figure 25. Exemples d'impacteurs parallèles : a) respirable à usage unique, b) thoracique à usage unique et c) respirable et réutilisable



Les PPI comprennent un dispositif sélecteur de particules composé de quatre impacteurs distincts placés en parallèle l'un de l'autre, en amont d'une membrane filtrante. Il y a donc 4 orifices d'entrée à la cassette et un seul orifice de sortie qui est connecté à la pompe. La contribution totale des quatre impacteurs parallèles constitue la sélection des fractions respirable et thoracique telles que décrites à la section 2.3.2. Un étage d'impaction est commun aux quatre impacteurs et correspond à la membrane filtrante placée à l'intérieur du PPI.

Afin d'effectuer la vérification de débit, un adaptateur doit être utilisé (figure 26).

Figure 26. Exemple d'adaptateur pour la vérification du débit d'un impacteur parallèle



Impacteurs en cascade

Les impacteurs permettent de classer les particules d'un aérosol en de multiples portions dont chacune est comprise entre deux diamètres aérodynamiques précis et de connaître la concentration massique de chacune de ces portions. L'ensemble des résultats obtenus constitue la distribution granulométrique de l'aérosol. Les impacteurs en cascade sont les plus utilisés pour la détermination de la distribution granulométrique d'un aérosol et sont généralement composés de plusieurs étages d'impaction placés en série d'où le nom cascade. Chaque étage possède à sa surface une série d'orifices dont la géométrie permet d'augmenter la vitesse de l'air et des particules qui y circulent. L'épaisseur d'un étage et la vitesse des particules à travers les orifices d'un étage font en sorte qu'uniquement les particules dont le diamètre aérodynamique est suffisamment petit peuvent suivre l'écoulement d'air et aller rejoindre les orifices de l'étage suivant. Les particules ne le pouvant pas s'impactent sur le dessus de l'étage suivant. Certains modèles doivent voir leurs étages d'impaction enduits d'un produit dont le rôle est d'éliminer les rebonds des particules, bien que cela ne soit pas conseillé lorsque le produit démontre une limitation néfaste à l'analyse subséquente. Les principaux modèles d'impacteurs en cascades sont de type Marple (Tisch Environmental, Inc.), Sioutas (SKC) et Mini MOUDI (TSI®). Parmi ces impacteurs, seul le Mini-MOUDI possède des étages d'impaction spécifiques aux particules de taille nanométrique. Les impacteurs en cascade de l'IRSST (de type Marple, figure 27) ne sont utilisés que dans des contextes de recherche ou d'expertise.

Figure 27. Impacteur en cascade de type Marple



2.3.4.2 Supports de collecte

Prélèvement des particules totales, thoraciques ou respirables

Les aérosols sont habituellement recueillis par filtration sur une membrane filtrante. Le support de collecte le plus courant est constitué d'une cassette de 2 ou 3 sections en matière plastique, d'un support poreux sur lequel est déposé un filtre ou une membrane (figure 28). Deux diamètres de cassettes sont disponibles soit de 25 mm ou de 37 mm avec un orifice d'entrée de 4 mm. Différentes combinaisons de diamètres et de configuration (cassette ouverte ou fermée) sont utilisées en fonction de la fraction de l'aérosol à prélever et de ses caractéristiques. Un même type de cassette peut notamment être utilisé pour les fractions particules totales, thoracique ou respirable puisque c'est la présence et le type de sélecteur granulométrique qui détermineront la fraction prélevée. La section « Cyclone » (section 2.3.4.1) et les fiches des substances (partie 3 du guide) fournissent des informations générales et spécifiques sur le couplage sélecteur-support de collecte pour les substances particulières.

La cassette est pressée et une bande de cellulose est apposée sur les joints entre les deux ou trois sections. L'étanchéité de la cassette est vérifiée en appliquant un vide et en vérifiant que celui-ci est conservé. De plus, les différentes parties de la cassette doivent s'emboîter adéquatement afin d'éviter que l'écoulement de l'air ne contourne la membrane filtrante et que des aérosols ne se déposent sur le support poreux. Une cassette dont l'étanchéité n'est pas rencontrée ou dont les pièces ne se superposent pas parfaitement ne devrait pas être utilisée, car elle induira une variation importante lors de l'échantillonnage et une sous-estimation des résultats. Enfin, la bande de cellulose appliquée sur la cassette permet d'indiquer que la cassette n'a pas été ouverte par l'intervenant lors de son utilisation, ce qui pourrait affecter son intégrité. On précise que la bande de cellulose n'a aucun rôle quant à l'étanchéité de la cassette (Andrews et O'Connor, 2020; OSHA, 2023).

Figure 28. Cassettes et filtre avec nacelle



Les cassettes de 25 mm de diamètre sont utilisées principalement afin de limiter l'encombrement de la cassette pour le travailleur tel que pour des prélèvements de fibres d'amiante ou à l'intérieur d'un casque lors d'activité de soudage (voir figure 37 à la section 2.5.3). Des membranes ou filtres de différentes tailles de pore et compositions sont disponibles. La sélection d'une membrane dépend de la nature du produit à prélever et de la méthode analytique utilisée. Ces sujets sont détaillés dans la section 2.3.5.

Sur le site de prélèvement, les bouchons sont enlevés et la cassette est reliée à la pompe de prélèvement à l'aide d'un tube flexible. À la fin du prélèvement, la cassette est refermée et placée dans une boîte de transport, le filtre orienté vers le haut pour éviter le plus possible les pertes de poussières.

Le dépôt sur les parois internes des cassettes peut mener à une sous-estimation de la mesure. Pour le prélèvement de poussières organiques ou autres particules causant ces problèmes de déposition (p. ex. poussières de bois, d'amidon, de tourbe, poussières électrostatiques), il est recommandé de faire le prélèvement avec des filtres ACCU-CAP (SKC) lorsque la fraction granulométrique à prélever le permet. Ce filtre est muni d'une enceinte qui sert à emprisonner les poussières de façon à éliminer la perte de poussières sur les parois internes de la cassette lors des manipulations effectuées en laboratoire. Puisque le filtre et son enceinte font l'objet de la mesure gravimétrique, la sous-estimation en raison des pertes de poussières se trouve pratiquement éliminée.

D'autres types de filtres sont également disponibles sur le marché, notamment les filtres Solu-Sert (Zefon International), pour la mesure des métaux, qui appliquent le même principe que l'ACCU-CAP décrit plus haut et qui permettent d'éviter les dépôts de particules sur les parois internes de la cassette.

Prélèvement des particules inhalables

Le prélèvement de la fraction inhalable d'un aérosol est possible par l'entremise de dispositifs de prélèvement de type IOM qui possèdent un orifice d'entrée de 15 mm de diamètre (figure 29). On rappelle que ce type de dispositif permet un prélèvement des particules de plus grands diamètres aérodynamiques faisant partie de la fraction inhalable (section 2.3.2.1), par conséquent plus efficace que la cassette fermée destinée à prélever la fraction de poussières totales. Depuis 2020, plusieurs VEA de substances sont désormais exprimées en particules inhalables (Pi) et devraient donc être prélevées avec ce type de dispositif. Par exemple, le noir de carbone, les poussières de farine, le nickel, le manganèse et les PNCA portent désormais la notation Pi. Les dispositifs d'échantillonnage en fraction inhalable sont en constante évolution. Le tableau 7 résume ceux disponibles à l'IRSST. D'autres dispositifs répondent à la notation Pi tels que le Button et le GSP (GSA Messgerätebau). Les dispositifs recommandés tendent toutefois à être ceux à usage unique pour leur plus grande facilité d'approvisionnement par les intervenants, alors que les dispositifs réutilisables sont conservés pour des besoins spécifiques. Certains dispositifs tel que le 924 permettent simultanément l'échantillonnage de la fraction inhalable et respirable lors du même prélèvement. Cet avantage est dû à la présence de deux éléments filtrants, le filtre de chlorure de polyvinyle (CPV) et la mousse de polyuréthane PU, où la mousse de PU joue le rôle de sélecteur de taille de particules pour la fraction respirable.

Figure 29. Dispositifs de prélèvement de la fraction inhalable : a) cassette inhalable réutilisable, b) cassette inhalable à usage unique et c) cassette multi-fractions (avec mousse)

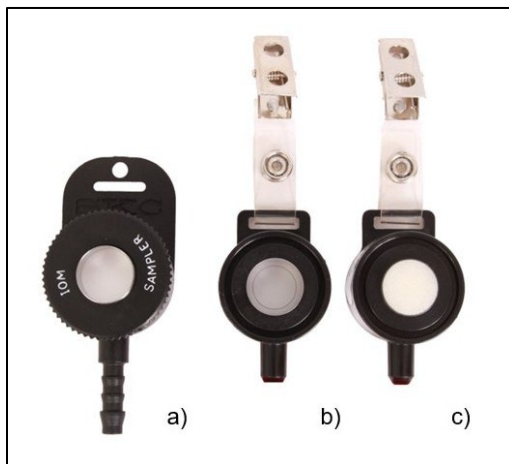


Tableau 7. Dispositifs d'échantillonnage en fraction inhalable disponibles à l'IRSST

Dispositif	907	922	924	928	948	949
Membrane filtrante	CPV 25 mm 5 µm	CPV 25 mm 5 µm	CPV 25 mm 5 µm et mousse de PU	ECM 25 mm 0,8 µm	ECM 25 mm 0,8 µm	ECM 25 mm 0,8 µm et mousse de PU
Usage unique/ Réutilisable	Réutilisable	Usage unique	Usage unique	Réutilisable	Usage unique	Usage unique
Principe analytique	Gravimétrie	Gravimétrie	Gravimétrie	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS
Fraction de l'air	Pi	Pi	Pi et Pr	Pi	Pi	Pi et Pr

Afin d'effectuer la vérification de débit sur les dispositifs présentés au tableau 7, un adaptateur doit être utilisé (figure 30).

Figure 30. Exemple d'adaptateur pour la vérification du débit d'une cassette inhalable



2.3.5 Membranes filtrantes et leurs propriétés de filtration

Les méthodes de mesure décrites à la section 2.3.4.2 et répertoriées dans la partie 3 du Guide utilisent pour la plupart un filtre au sein du support de collecte. Le type de filtre utilisé par une méthode est sélectionné selon ses propriétés, comme notamment son matériau, son épaisseur et sa taille de pore, ainsi que selon les besoins de la méthode analytique. Les sous-sections suivantes fournissent diverses informations pertinentes aux intervenants d'hygiène du travail. Le lecteur trouvera de l'information détaillée dans le

chapitre traitant des facteurs influençant l'échantillonnage des aérosols du Manuel de méthodes de NIOSH (2016).

2.3.5.1 Matériaux et structures physiques des filtres

Les principaux matériaux des filtres utilisés en hygiène sont les fibres de verre (FV) ou de quartz (FQ), le chlorure de polyvinyle (CPV), les esters de cellulose mélangés (ECM), le polytétrafluoroéthylène (PTFE), et le polycarbonate (PC). Les filtres FV et FQ consistent en un empilement de fibres dans toutes les directions formant un tamis d'une épaisseur substantielle comparativement aux autres types. Les filtres CPV, ECM et PTFE sont quant à eux des membranes de structures complexes enchevêtrées. Les filtres de PC, que l'on appelle filtre à pores capillaires, consistent en un film lisse où des ouvertures circulaires (pores) sont distribuées.

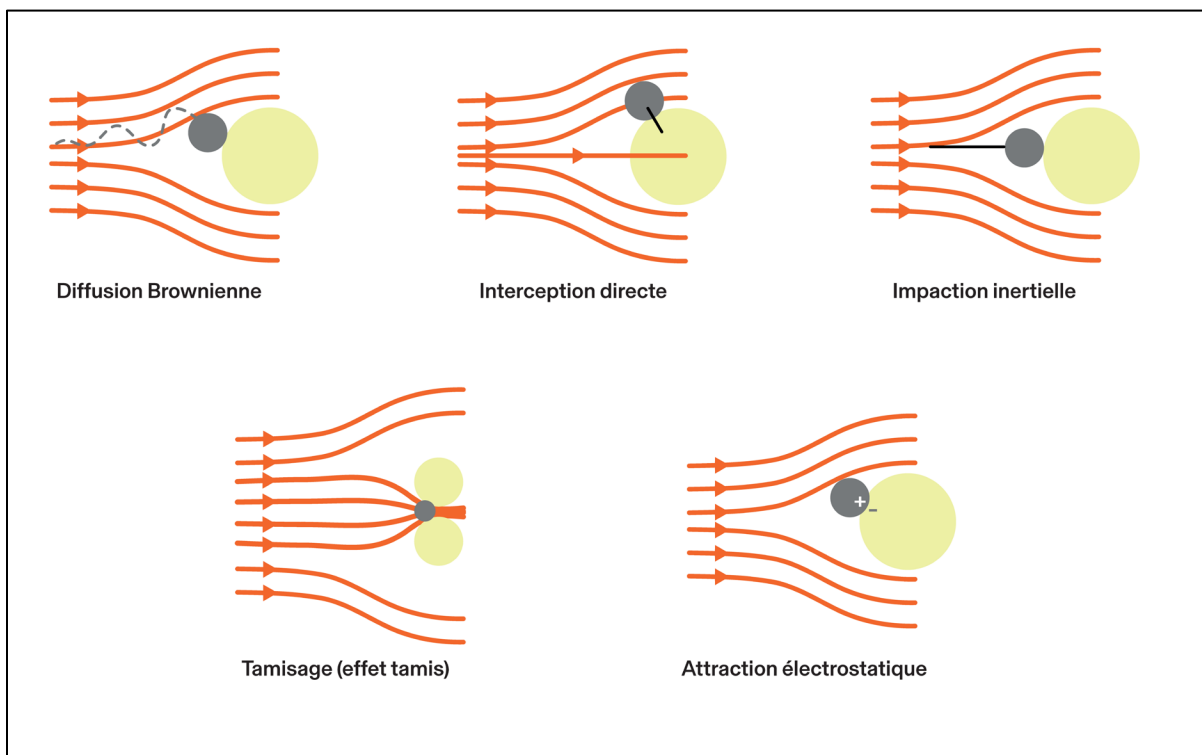
2.3.5.2 Porosité des filtres

Seuls les filtres à pores capillaires (p. ex. filtre FC) ont une mesure de porosité correspondante aux diamètres des pores observés à sa surface. Pour les autres types de filtre, il n'existe pas de « pores » qui seraient l'équivalent de tunnels uniformes transversant le filtre d'un côté à l'autre. L'air passant au travers ces filtres parcourt donc un chemin tortueux, ce qui a ses implications dans les mécanismes de collection décrits à la section 2.3.4.2. Les fabricants assignent une porosité à ces filtres afin de pouvoir différencier différents modèles d'un même type de filtre. Un filtre PTFE de porosité 1 μm aura un enchevêtrement plus dense qu'un filtre PTFE de porosité 5 μm mais ce dernier ne pourra pas se comparer à un filtre CPV de 5 μm . La porosité de ces filtres n'est donc pas une mesure empirique de la dimension des pores mais consiste plutôt en une représentation indirecte du niveau d'enchevêtrement des structures du filtre. La porosité de ces filtres s'exprime donc en « équivalent de diamètre de pore ».

2.3.5.3 Mécanismes de collection des aérosols

Les particules qui sont amenées vers un filtre dans un flux d'air sont collectées suivant une combinaison de différents mécanismes agissant de manière interdépendante les uns des autres sur les trois dimensions. Ces mécanismes sont la diffusion brownienne, l'impaction, l'interception, l'effet tamis et l'attraction électrostatique. Selon les propriétés morphologiques, la taille et la charge électrique des particules, l'un de ces mécanismes peut prédominer. La figure 31 présente graphiquement les phénomènes décrivant ces cinq mécanismes. Le mécanisme de diffusion (« diffusion Brownienne ») est généralement majoritaire pour les particules de 0,2 μm et moins, alors que les mécanismes inertiels (« interception directe » et « impaction inertielle ») sont majoritaires pour les particules supérieures à 0,5 μm . L'attraction électrostatique contribue également à la collection selon la distribution de charges et la taille des particules. Quant à l'effet tamis, il s'applique surtout aux filtres pores capillaires.

Figure 31. Mécanismes de collection de particules sur membrane filtrante



Ainsi, une particule passant au travers un filtre consistant en un enchevêtrement complexe de fibres ou autres structures est soumise à cet ensemble de phénomènes, ce qui permet la collection de particules de taille plus faible que l'interstice entre deux structures à un point donné sur l'épaisseur d'un filtre. Concrètement, cela signifie qu'un filtre CPV de porosité 5 μm est capable de collecter des particules de tailles inférieures à 5 μm .

2.3.5.4 Utilisation des filtres

Lors du prélèvement, une très faible porosité aura une conséquence sur la restriction du passage de l'air et ainsi, sur l'énergie à fournir par la pompe pour maintenir un débit donné. Ainsi, le couple « type de filtre – porosité » fera l'objet d'une attention particulière lors du développement de méthodes requérant un débit élevé.

Des méthodes impliquant un réactif de stabilisation ou de dérivation utilisent un filtre FV ou FQ puisque qu'il s'agit du seul matériau permettant l'absorption suffisante de réactif. Les méthodes d'analyse gravimétrique utilisent des filtres hydrophobes tels que CPV ou PTFE afin de réduire les variations de poids du filtre dues à l'humidité de l'air. Afin de pouvoir produire une image optimale, les filtres PC, en raison de leur surface lisse, sont utilisés pour la microscopie électronique par balayage. Le matériau du filtre doit être compatible au traitement de l'échantillon en laboratoire, que ce soit pour des

considérations de mise en solution (p. ex. filtre ECM pour les métaux ou pour l'analyse de fibres en microscopie) ou pour éviter des interférences analytiques.

2.4 Substances semi-volatiles

Les sections 2.2 (gaz et vapeurs) et 2.3 (aérosols) traitent des substances chimiques selon l'état de la matière, aussi appelé phase physique. Cette façon de traiter séparément ces substances se justifie par le fait que les principes de prélèvement et d'analyse sont généralement adaptés à leur phase physique pour être efficaces et performants dans la mesure de l'exposition professionnelle. Il arrive que certaines substances ou composés chimiques possèdent des caractéristiques physico-chimiques telles qu'elles peuvent démontrer un comportement appartenant aux deux phases physiques, c'est-à-dire gazeuse (ou vapeur) et solide (ou particulaire), dans les milieux de travail. Cette section fait état des particularités de cette catégorie de substances, dites semi-volatiles ou encore biphasées, en lien avec la mesure de leur exposition professionnelle. En guise d'exemple de substances semi-volatiles rencontrées en milieu de travail, on retrouve les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les isocyanates, les fumées d'asphalte, les brouillards d'huile et certains pesticides et amines. Dans ces différents cas, il ne s'agit pas toujours de substances uniques, mais de familles de composés dont les propriétés physico-chimiques varient, mais qui sont échantillonnées et analysées simultanément par le même dispositif d'échantillonnage.

2.4.1 Définitions

Bien qu'il n'existe pas de définition unique de « substances semi-volatiles », des organisations telles que l'ISO, le CEN ou l'EPA⁴ catégorisent ce type de substances en se basant soit sur leur température d'ébullition ou encore sur leur tension de vapeur. Par exemple, l'ISO et l'EPA décrivent les composés semi-volatils comme étant ceux de température d'ébullition entre 240 °C et 400 °C tandis que le CEN leur assigne une tension de vapeur allant de 0,001 à 100 Pa (Jargot et Sutter, 2017). Le comportement semi-volatil d'une substance dépend aussi de paramètres environnementaux, notamment la température de mise en œuvre du procédé, la température et la vitesse de l'air environnant et le niveau de concentration de la substance aéroportée. Par conséquent, dans le cas d'une substance semi-volatile aéroportée, sa répartition vapeur/particule pourra varier de façon importante selon le poste de travail, à savoir s'il est près ou éloigné de la source de chaleur. Ce caractère doit également être pris en compte par rapport aux paramètres de prélèvement comme le débit ou la durée. L'exemple illustrant le mieux cette observation est une particule aéroportée, assumée non volatile, collectée sur une membrane filtrante et qui s'évaporerait partiellement ou complètement à la suite du passage de l'air pendant son échantillonnage, menant ainsi à la sous-estimation de sa mesure.

⁴ Organisation internationale de normalisation (ISO), Comité européen de normalisation (CEN), Agence de protection de l'environnement des États-Unis (EPA)

En résumé, un ensemble de considérations mènent à l'attribution du caractère semi-volatile d'un composé ou d'une substance dans le contexte d'exposition professionnelle. Ce caractère est pris en compte par la méthode de mesure assignée à la substance concernée et est fréquemment spécifié dans l'expression de sa VEA ou autre valeur limite d'exposition.

2.4.1.1 Notation fraction inhalable des particules et phase vapeur (IFV)

La prise en compte du caractère semi-volatile d'une substance a été formalisée par l'adoption, par le RSST, de la notation fraction inhalable des particules et phase vapeur (IFV) de l'ACGIH (2025; Kim et Soderholm, 2013). La notation IFV est associée à une substance lorsque l'exposition à celle-ci peut être significativement attribuable tant à sa forme vapeur qu'à sa forme particulaire. La notation IFV, comme l'indique son libellé, implique donc que la phase particulaire de la substance évaluée doit être prélevée en fraction inhalable. On précise toutefois que la notation IFV ne constitue pas une catégorisation formelle de la semi-volatilité d'une substance. Les méthodes de mesure d'isocyanates (à l'exception du diisocyanate de toluène) et de HAP prennent en compte leur semi-volatilité sans que leur VEA soit exprimée en IFV. À contrario, des études ont démontré le potentiel élevé de semi-volatilité des brouillards d'huile sans que l'ACGIH, et par ricochet le RSST, leur assignent la notation IFV (Dragan *et al.*, 2014).

2.4.2 Méthodes d'évaluation

Les méthodes utilisées pour mesurer l'exposition aux substances semi-volatiles se divisent en deux groupes, présentés ci-dessous, de façon à s'adapter aux propriétés chimiques des substances à mesurer.

2.4.2.1 Substances non réactives

Les substances non réactives ne nécessitent pas de stabilisation (ou dérivation) chimique pendant leur prélèvement. Les principes de prélèvement présentés aux sections vapeur et aérosol s'appliquent généralement à ces substances. Ainsi, le dispositif prélève la phase particulaire sur un support filtrant et la phase vapeur sur un adsorbant placé en aval. Bien que les deux sections du dispositif puissent être analysées séparément, la répartition des contaminants retrouvés ne peut pas être utilisée pour déterminer fidèlement la partition phase vapeur vs phase particulaire. En effet, le phénomène le plus fréquent est l'évaporation partielle ou totale de la phase particulaire collectée sur un filtre et qui se retrouve collectée sur l'adsorbant placé en aval, surestimant ainsi la proportion de la phase vapeur.

À titre d'exemple, pour les HAP, une membrane filtrante en FV sera placée dans une cassette de 37 mm, tandis qu'un tube composé de deux sections de XAD-2 sera installé en aval de la cassette, comme l'illustre la figure 32. Le principal défi de cette approche réside dans la restriction du passage de l'air causée par le matériel filtrant, le matériel adsorbant et le diamètre interne du tube adsorbant, ce qui peut affecter l'autonomie des

pompes utilisées. Il convient de noter que le support utilisé dans la cassette peut adsorber des vapeurs de la substance à échantillonner, comme cela a été observé pour les HAP. Cela devrait être pris en compte lors de l'analyse de laboratoire, le cas échéant. L'intervenant doit toujours indiquer clairement l'appariement de la cassette avec le tube pour les HAP, afin de permettre l'analyse du support en cellulose. Enfin, pour les fumées d'asphalte, la membrane filtrante en FV est remplacée par une membrane en PTFE et un support métallique est utilisé pour limiter les effets d'adsorption.

Figure 32. Cassette munie d'un filtre en FV (IRSST 911) et tube XAD-2 (IRSST 2187)



Pour les pesticides en particulier, l'OSHA a développé des tubes spécifiquement adaptés à ces substances, qui sont souvent semi-volatiles. Ces tubes sont composés d'un filtre de 13 mm en FV et de deux sections d'adsorbants (XAD-2 ou XAD-7), séparées par des mousses de polyuréthane (figure 33). Ce dispositif, capable de supporter des débits allant de 1 L/min à 2 L/min, est appelé OSHA Versatile Sampler et son acronyme est OVS-2 pour le tube contenant du XAD-2, et OVS-7 pour celui contenant du XAD-7. La grande majorité des méthodes analytiques d'OSHA et des études dans la littérature utilisent ce dispositif d'échantillonnage.

Figure 33. Tube OSHA Versatile Sampler (OVS) avec XAD-2 de SKC



Peu de méthodes proposées par l'IRSST ou d'autres laboratoires utilisent des dispositifs d'échantillonnage répondant à la notation fraction inhalable des particule et phase vapeur (IFV). Les recherches concernant le tube OVS-2 suggèrent que ce dernier sous-estime la fraction inhalable de la phase particulaire et ne serait par conséquent pas conforme à la notation IFV (Alex *et al.*, 2021).

Toutefois, SKC propose des dispositifs d'échantillonnage adaptés à cette notation, composés d'une cassette de type IOM et d'un tube adsorbant installé en aval qui est à sélectionner en fonction de la substance d'intérêt. Ce dispositif, commercialisé par SKC sous le nom de IFV Pro Sampler (figure 34), permet une collection des particules de fraction inhalable à un débit de 1 L/min, contre 2 L/min avec une cassette IOM traditionnelle. Les IFV Pro Samplers de l'IRSST ne sont utilisés que dans des contextes de recherche ou d'expertise.

Figure 34. IFV Pro Sampler de SKC



2.4.2.2 Substances réactives

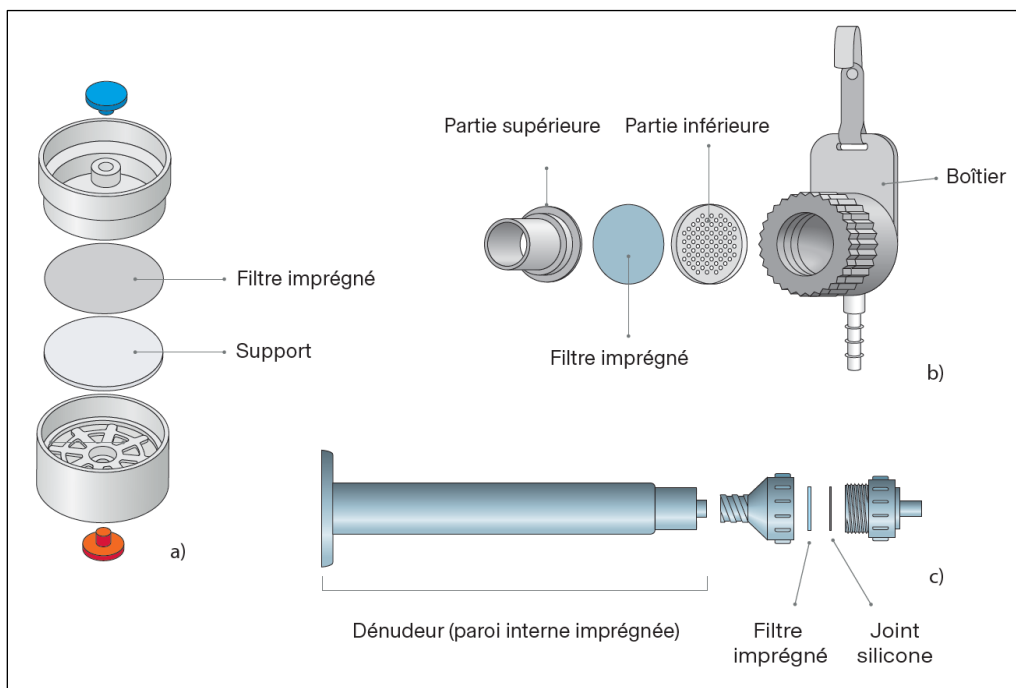
Tel que déjà décrit à la section 2.2.3.1, certaines substances sont si réactives qu'elles peuvent se dégrader ou réagir avec d'autres substances présentes dès leur prélèvement avec comme conséquence une sous-estimation de la mesure. Ces substances requièrent donc une stabilisation chimique afin de garantir leur intégrité jusqu'à l'analyse au laboratoire. Cette stabilisation peut prendre la forme d'une transformation chimique, nommée ici dérivation, en la rendant moins volatile ou en améliorant sa détection afin de faciliter son analyse en laboratoire. Les méthodes associées à ces substances réactives semi-volatiles doivent s'adapter à la complexité supplémentaire des particules réactives qui sont plus difficiles à stabiliser que la phase vapeur. Les isocyanates et les amines sont des exemples de substances qui nécessitent les types de méthodes décrites ci-dessous. Pour les isocyanates, le lecteur est invité à consulter le *Guide de prévention pour une utilisation sécuritaire des isocyanates* (Roberge *et al.*, 2013) pour plus d'informations, en notant que les méthodes d'échantillonnage et d'analyse indiquées sont sujettes à changement en fonction de l'évolution des connaissances.

Support imprégné et non imprégné

Les vapeurs et les particules sont captées efficacement par un filtre de fibres de verre imprégné par un réactif. Il est toutefois possible que la méthode implique une extraction à faire immédiatement après le prélèvement, sur le lieu de travail. Dans certains cas, la durée de prélèvement est habituellement limitée à 15 minutes et l'extraction sur le lieu de travail est obligatoire. L'extraction sur le lieu de travail consiste généralement à retirer le filtre du dispositif et à le transférer dans un récipient hermétique contenant un solvant et un réactif de dérivation.

Un dispositif cylindrique de type dénudeur peut être installé en amont d'un filtre imprégné. Le dénudeur prélève ainsi principalement la phase vapeur par principe de diffusion grâce à ses parois imprégnées de réactif de dérivation. Un dispositif disponible commercialement sous l'appellation ASSET® EZ4-NCO (Supelco® SIGMA-ALDRICH®) met à profit ces caractéristiques pour la mesure des isocyanates. Ce dernier a l'avantage de ne pas requérir d'extraction sur le lieu de travail. À l'IRSST, les dispositifs ASSET ne sont utilisés que dans des contextes de recherche ou d'expertise.

Figure 35. Cassettes munies d'un filtre imprégné (vue explosée) a) de type fermée b) inhalable et c) dénudeur et filtre imprégné



La figure 35 présente les différents types de dispositifs pour les substances semi-volatiles qui sont basés sur le prélèvement par filtration suivi d'une dérivation.

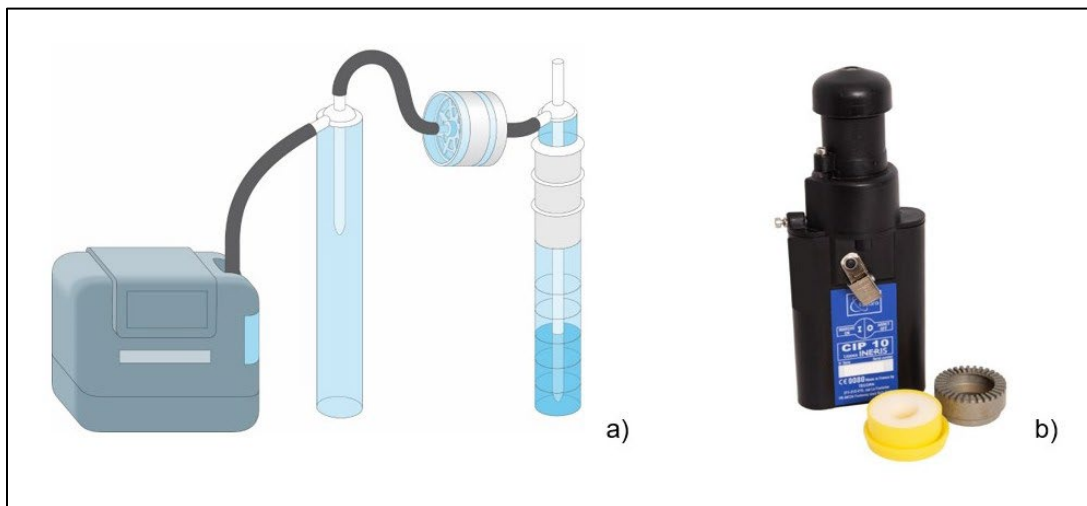
Barboteur et CIP10 (CDL-Tecora, distribué au Canada par Air Sampling Devices)

Aussi utilisé pour certaines substances sous forme vapeur (section 2.2.3.1), le barboteur permet la stabilisation optimale de la phase particulaire des substances réactives en les solubilisant dès le prélèvement dans un solvant contenant le réactif de dérivation. Dans le cas où des particules de taille inférieure à 2 µm sont anticipées, un filtre imprégné doit être installé en aval du barboteur.

Le prélèvement par barboteur est utilisé en dernier recours pour des situations spécifiques. En raison de l'évaporation de solvant et des risques de fuites ou de bris, ces barboteurs sont utilisés en mode air ambiant (poste fixe). Les indications sont fournies à la section 2.2.

Le prélèvement par centrifugation dans une solution collectrice dans un dispositif Collecteur Individuel de Particules (CIP10 (CDL-Tecora, distribué au Canada par Air Sampling Devices)) constitue une alternative au barboteur pour certaines applications spécifiques de pulvérisation d'isocyanates (Institut national de recherche et de sécurité [INRS], 2024; Puscasu *et al.*, 2015). À l'IRSST, ces dispositifs ne sont utilisés que dans des contextes de recherche ou d'expertise. La figure 36 présente les deux dispositifs mentionnés dans cette section.

Figure 36. a) Barboteur suivi d'une cassette munie d'un filtre imprégné et b) CIP10 (CDL-Tecora, distribué au Canada par Air Sampling Devices) (coupelle de solution collectrice ou option mousse filtrante)



2.5 Cas particuliers

2.5.1 Utilisation d'un indicateur pour la mesure de l'exposition à un contaminant chimique complexe

Un contaminant peut consister en un mélange de dizaines voire de centaines de composés chimiques différents (que l'on dit complexe). L'utilisation d'un indicateur de l'exposition permet de simplifier la mesure de l'exposition à un contaminant complexe. Dans ce contexte, un indicateur se définit comme une substance ou un sous-groupe de substances de spécificité variable qui, lorsque mesuré, représente l'exposition à l'ensemble du contaminant complexe. Il est toutefois important de comprendre que l'indicateur sélectionné n'a pas nécessairement les mêmes propriétés toxiques que le contaminant visé dans son ensemble. On retrouve ci-dessous des contaminants de ce type ainsi que l'indicateur qui est utilisé.

2.5.1.1 Brai de goudron de houille volatile (fraction soluble dans le benzène)

Le brai de goudron de houille, comme son nom l'indique, est un produit dérivé du charbon (roche carbonée sédimentaire). Il a été utilisé principalement comme matériau de revêtement, de peinture ou de scellant pour le pavage et la toiture. Il est utilisé dans la fabrication des électrodes dans le procédé d'électrolyse de l'alumine. Ce produit est riche en hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), ce qui explique sa toxicité élevée et a conduit à une réduction significative de son utilisation dans les milieux de travail depuis les années 1980.

En raison de la variabilité de sa composition, l'analyse du brai de goudron de houille est réalisée de manière non spécifique. Elle consiste en l'extraction de la fraction soluble dans le benzène (FSB) des aérosols collectés, suivie de l'analyse des HAP présents dans cet extrait. Une VEMP de 0,2 mg/m³ a été attribuée à la fraction soluble dans le benzène (FSB), qui sert d'indicateur pour évaluer le risque lié à cette substance dans son ensemble.

L'interprétation du résultat de l'indicateur sans tenir compte du contexte est inapplicable vu la non-spécificité de l'analyse de FSB. En guise d'exemple, un aérosol prélevé dans un contexte de cuisson d'aliments pourrait générer un résultat de FSB non négligeable. Dans ce cas, le contaminant mesuré n'étant pas du brai de goudron, le résultat de FSB ne peut être comparé à sa VEA. Les résultats concernant les HAP mentionnés ci-haut permettent donc de confirmer ou non l'applicabilité de la VEMP du brai de goudron. Pour que cette VEMP soit pertinente, les concentrations en HAP devraient être nettement supérieures à la valeur minimale rapportée (VMR) et/ou le brai de goudron de houille devrait être clairement mentionné dans la fiche de données de sécurité (FDS) du produit concerné.

2.5.1.2 Fumées d'asphalte

Les fumées d'asphalte (ou de bitume) sont formées lors du chauffage du bitume contenu notamment dans les enrobés bitumineux utilisés dans le pavage. Ces fumées consistent en un mélange de centaines d'hydrocarbures qui, pris dans leur ensemble, posent des risques pour la santé des travailleurs. Historiquement, des mesures d'indicateur d'exposition, et leur VEMP ou valeurs sanitaires associées, étaient la mesure gravimétrique des aérosols ou encore de leur fraction soluble dans le benzène. L'évolution des connaissances a mené à l'utilisation d'un indicateur de l'exposition basé sur la mesure de l'ensemble des composés, autant en phase vapeur que particulaire, solubles dans le benzène ou son équivalent.

2.5.1.3 Gaz d'échappement des moteurs diesel

Les émissions produites par les moteurs diesel consistent en un mélange complexe de plusieurs substances gazeuses ou en phase vapeur (CO, CO₂, NO_x, benzène, etc.) et particulaire (HAP, métaux, carbone élémentaire, etc.). L'évolution des connaissances a mené à l'application de seuils sanitaires exprimés en contenu de carbone au sein des gaz d'échappement des moteurs diesel, plus précisément dans la phase particulaire. Le carbone organique et, surtout, le carbone élémentaire sont utilisés comme indicateurs d'exposition aux particules diesel, ces dernières étant les composants des gaz d'échappement qui seraient les plus fortement associés à des effets toxiques. La méthode IRSST 388 (2016, non publiée), basée sur la méthode NIOSH 5040, produit des résultats pour ces deux indicateurs qui peuvent être ensuite comparés à des seuils sanitaires ou des valeurs limites. Une VEMP exprimée en carbone total (somme des carbones organiques et élémentaires) pour la fraction respirable visant les gaz d'échappement des moteurs diesel figure par ailleurs au RSSM. Il convient de préciser que d'autres sources de carbone organique dans les lieux de travail ont le potentiel d'influencer significativement la mesure du carbone total, ce qui explique que le carbone élémentaire est considéré comme un indicateur plus spécifique pour déterminer l'exposition aux gaz d'échappement des moteurs diesel.

2.5.1.4 Particules non classifiées autrement (PNCA)

Même si une substance particulaire n'a pas d'effet toxique avéré, son dépôt dans le système respiratoire peut interférer avec les mécanismes de clairance des voies respiratoires et y induire des irritations. Le RSST regroupe ce type de substances sous l'appellation particules non classifiées autrement (PNCA) pour lesquelles il prévoit une VEMP de 3 mg/m³ Pr et une autre de 10 mg/m³ Pi. L'application de ces deux VEA est valable pour toute substance particulaire respectant l'ensemble des conditions suivantes (plus de détails sur ces conditions sont présentés plus bas) :

1. Elles n'ont aucune valeur d'exposition admissible prévue dans le RSST;
2. Leur solubilité dans l'eau est faible ou nulle;

3. Leur toxicité est faible et elles ne causent aucun effet autre que la surcharge pulmonaire ou l'irritation mécanique.

Une recherche par mot-clé ou par numéro de CAS dans le RSST facilite la vérification de la présence ou de l'absence d'une VEA pour la ou les substances formant l'aérosol.

La solubilité dans l'eau est basée sur la nature du matériau ou des substances dont est composé l'aérosol tel qu'anticipé ou identifié par l'intervenant. Dans le cas où cette information est difficile à obtenir par l'intervenant, celui-ci peut faire appel au soutien des services du Répertoire toxicologique⁵ de la CNEST ou de la Direction des laboratoires de l'IRSST. Si des données de solubilité sont accessibles, elles peuvent être comparées au tableau 8 qui présente un barème de solubilité dans l'eau utilisé par les International Chemical Safety Cards⁶ (ICSCs) qui sont des fiches de données destinées à fournir des informations essentielles sur la sécurité et la santé des produits chimiques. On y indique le seuil de solubilité correspondant à la condition 2 ci-haut.

Tableau 8. Barème de solubilité dans l'eau des ICSCs pour substances potentiellement mesurées dans l'air

Description	Volume d'eau requis pour 1 g de substance (mL)	Intervalle de solubilité* (g / 100 mL)
Très soluble	< 1	> 100
Fortement soluble	1 à 10	10 - 100
Soluble	10 à 30	3,5 - 10
Légèrement soluble	30 à 100	1 - 3,5
Peu soluble	100 à 1 000	0,1 - 1
Très peu soluble	1 000 à 10 000	0,01 - 0,1
Pratiquement insoluble	> 10 000	< 0,01

* à 20°C, pH non spécifié

Les cases en vert correspondent au seuil de solubilité faible ou nulle dans l'eau.

Comme l'implique l'énoncé sur le respect des trois conditions ci-haut, l'absence de VEA seule n'est pas suffisante pour considérer une substance particulière comme PNCA. L'intervenant est appelé à consulter les données toxicologiques fournies dans la fiche de données de sécurité (FDS) lorsqu'elle est disponible. En effet, même si le RSST ou l'ACGIH n'ont pas encore statué sur une VEA ou une valeur seuil à adopter, de l'information sur les effets toxicologiques peut être consultée à même la FDS ou encore via d'autres organismes reconnus comme le Répertoire toxicologique de la CNEST,

⁵ Reptox : <https://reptox.cnesst.gouv.qc.ca/Pages/repertoire-toxicologique.aspx>

⁶ ICSCs : <https://www.ilo.org/resource/other/ilo-who-international-chemical-safety-cards-icscs>

l'Agence européenne des produits chimiques⁷, Hazardous Substances Data Bank⁸ et l'ICSCs.

2.5.2 Mesure des composés du chrome hexavalent

Le chrome (Cr) peut être retrouvé en milieu de travail principalement sous trois états d'oxydation : 0, +3 et +6 (ACGIH, 2025). Sa réactivité biologique dépend de son état d'oxydation (valence). En tant que métal élémentaire, Cr(0), il est stable et peu toxique. Sous sa forme trivalente, Cr(III), à l'état de trace, il est considéré comme un oligo-élément indispensable, mais il a la capacité de s'accumuler dans les cellules et mener éventuellement à des effets toxiques dont une sensibilisation respiratoire et cutanée pour les formes solubles. Le chrome hexavalent, Cr(VI), représente la forme la plus toxique.

Le chrome est très utilisé dans l'industrie manufacturière. Dans le secteur métallurgique, les composés du Cr(VI) servent à la fabrication de chrome métallique et d'alliages, ainsi qu'au chromage; dans l'industrie chimique, on les utilise comme oxydants et pour la fabrication d'autres composés de chrome. Les expositions au Cr(VI) se produisent pendant la fabrication d'acier inoxydable, de produits chimiques contenant du chrome hexavalent et de pigments. Ces expositions se produisent aussi dans d'autres activités comme la soudure d'acier inoxydable, les coupures thermiques, le placage chromé et les peintures.

Deux dispositifs sont utilisés pour la mesure du Cr(VI) dans l'air des lieux de travail selon le type de procédé (ISO, 2005). Pour l'ensemble des procédés, exception faite des aérosols acides, le dispositif consiste en un filtre de quartz 25 mm dans une cassette 3 pièces de 25 mm en polypropylène blanc opaque avec sa partie inférieure en forme de coupe. La forme de la cassette permet de traiter le prélèvement en vue de déterminer spécifiquement les deux formes de Cr(VI), soit hydrosoluble et hydroinsoluble et de récupérer les particules qui adhèrent aux parois internes de la cassette. Pour le Cr(VI) provenant de procédés générant des aérosols acides tels que les bains de placage, un dispositif spécifique doit être utilisé. Celui-ci consiste en un filtre de quartz imprégné d'hydroxyde de sodium (NaOH) dans le même type de cassette décrit ci-haut. L'imprégnation du filtre avec le NaOH retarde la réduction du Cr(VI) en Cr(III) jusqu'à son analyse au laboratoire. On rappelle qu'aucun composé hydroinsoluble de Cr(VI) ne peut être analysé sur ce filtre imprégné.

La grande réactivité du Cr(VI) en présence d'agents réducteurs exige que les prélèvements soient analysés rapidement. Il est donc important de respecter les délais d'analyse spécifiés dans les fiches de substance. Les échantillons prélevés dans un contexte de bain de placage (dispositif avec filtre imprégné) doivent être acheminés le plus rapidement possible au laboratoire. Pour les autres types de procédés (dispositif

⁷ ECHA: <https://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals>

⁸ HSDB : <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/source/11933>

avec filtre non imprégné), les délais sont modulés par le type de procédé générant le Cr(VI). Il est par conséquent essentiel d'indiquer sur la demande d'analyse la provenance des prélèvements (p. ex. soudage).

Les VEA du Cr(VI), à l'exception du chromate de strontium, sont liées à la solubilité des composés inorganiques concernés. Ainsi, une VEA existe pour les formes hydrosolubles et une autre pour les formes hydroinsolubles. Les formes hydrosolubles et hydroinsolubles sont déterminées au laboratoire selon la méthode IRSST 365, elle-même basée sur la norme ISO 16740 (2005). Bien qu'une classification de la solubilité des chromates individuels existe, il est établi que lors de l'analyse, un même chromate peut se retrouver à la fois dans la fraction hydrosoluble et dans la fraction hydroinsoluble. Ainsi, pour tous les composés inorganiques de Cr(VI), qu'ils aient ou non une VEA spécifique, les résultats fournis par la méthode IRSST 365 (Gagné *et al.*, 2016) seront exprimés en Cr(VI) hydrosoluble et/ou en Cr(VI) hydroinsoluble. L'application des VEA relève donc de l'ensemble des résultats de laboratoire émis par la méthode IRSST 365. Lorsque les deux formes sont présentes, le Rm s'applique puisque le même organe cible est impliqué. Dans le cas où le chromate de strontium est mesuré, la somme des résultats générés (hydrosoluble et hydroinsoluble) doit être comparé à sa VEA.

2.5.3 Mesure de l'exposition aux fumées de soudage

2.5.3.1 Description sommaire

Lors du soudage ou de la réalisation de techniques connexes, le travailleur est susceptible d'inhaler des contaminants chimiques (Godin, 2018; Ricaud, 2018). Parmi ceux-ci, on dénombre des gaz (hélium, argon, monoxyde de carbone, ozone, phosgène, formaldéhyde, etc.), des particules solides métalliques ou encore des oxydes métalliques (oxyde de fer, oxyde de zinc, manganèse, chrome hexavalent, etc.). Le diamètre des particules émises est de l'ordre de 4 µm ou moins, ce qui leur procure la capacité de pénétrer profondément dans le poumon en atteignant la région alvéolaire. Les activités de soudage peuvent être réalisées seules ou encore en simultanéité avec d'autres activités telles que le brasage, le coupage thermique ou encore la métallisation. On recense au-delà de 140 procédés de soudage différents et la nature des contaminants susceptibles d'être émis peut varier d'un procédé à l'autre. La présente section s'attarde aux stratégies et techniques d'échantillonnage des fumées de soudage liées à la mesure de l'exposition aux composés métalliques.

2.5.3.2 Techniques de prélèvement

Le RSST comporte des VEMP pour les métaux contenus dans les fumées de soudage. Une fraction granulométrique est associée à chacune de ces VEMP et le prélèvement des fumées doit s'effectuer en appliquant la technique préconisée à la section 2.3.4. Le tableau 9 résume l'information pertinente pour les principaux métaux cités dans le RSST.

Tableau 9. Principaux métaux cités au RSST, leur VEMP et type de méthode analytique, regroupés par fraction granulométrique

Substance	Fraction*	CAS	VEMP (mg/m ³)	Type de méthode d'analyse**
Aluminium et ses composés	Pr	7429-90-5	5	Balayage métaux ICP-MS
Cobalt, élémentaire et composés inorganiques	Pr	7440-48-4	0,02	Balayage métaux ICP-MS
Manganèse, fumées poussières et composés	Pr	7439-96-5	0,05	Balayage métaux ICP-MS
Molybdène (Mo)	Pr	7439-98-7	3	Spécifique, ICP-MS
Zinc, oxyde de	Pr	1314-13-2	2	Balayage métaux ICP-MS
Chrome, métal	Pi	7440-47-3	0,5	Balayage métaux ICP-MS
Étain (Sn)	Pi	7440-31-5	2	Spécifique, ICP-MS
Magnésium, oxyde de	Pi	1309-48-4	10	Balayage métaux ICP-MS
Manganèse, fumées poussières et composés	Pi	7439-96-5	0,2	Balayage métaux ICP-MS
Molybdène (Mo)	Pi	7439-98-7	10	Spécifique, ICP-MS
Nickel et composés inorganiques, métal	Pi	7440-02-0	1,5	Balayage métaux ICP-MS
Vanadium, pentoxyde de	Pi	1314-62-1	0,05	Balayage métaux ICP-MS
Arsenic, élémentaire et composés inorganiques	Pt	7440-38-2	0,01	Balayage métaux ICP-MS
Baryum (Ba)	Pt	7440-39-3	0,5	Spécifique, ICP-MS
Béryllium	Pt	7440-41-7	0,00015	Spécifique, ICP-MS
Cadmium, élémentaire et composés	Pt	7440-43-9	0,01	Balayage métaux ICP-MS
Chrome trivalent, composés	Pt	-	0,5	Balayage métaux ICP-MS
Chrome hexavalent hydro-soluble	Pt	-	0,05	Spécifique, CI
Chrome hexavalent hydro-insoluble	Pt	-	0,001	Spécifique, CI
Cuivre, fumée de	Pt	7440-50-8	0,2	Balayage métaux ICP-MS
Fer, trioxyde de, fumées et poussières	Pt	1309-37-1	5	Balayage métaux ICP-MS
Plomb, et ses composés inorganiques	Pt	7439-92-1	0,05	Balayage métaux ICP-MS
Titane (Ti)	Pt	13463-67-7	10	Spécifique, ICP
Zinc, chlorure de (fumées)	Pt	7646-85-7	1	Balayage métaux ICP-MS

* Les métaux ayant une VEMP exprimée en plus d'une fraction figurent plus d'une fois au tableau. Se référer au tableau 10 pour les méthodes de prélèvement.

** Se référer à l'Annexe A principes analytiques

Le tableau 10 rassemble l'information pertinente sur les dispositifs et sélecteurs granulométriques (si nécessaire) pertinents à la mesure des fumées de soudage et qui sont disponibles à l'IRSST. Il est à noter que d'autres dispositifs peuvent être utilisés. Une description complète de ses dispositifs est présentée à la section 2.3.4. Des métaux peuvent être regroupés sur un même prélèvement en utilisant les informations du tableau 9, notamment la fraction et le type de méthode d'analyse.

Tableau 10. Résumé des dispositifs applicables au prélèvement de fumées de soudage disponibles à l'IRSST*

Matériel IRSST*	Fraction	Type**	Média d'échantillonnage	Analyse	Compatibilité intérieur du casque
914	Pt ou Pr	Cassette fermée (+ cyclone si Pr)	Filtre CPV 25 mm, prépesé, 5 µm	Gravimétrie	Oui Non (si Pr, cyclone)
990	Pt ou Pr	Cassette fermée (+ cyclone si Pr)	Filtre ECM Solu-Sert 25mm, 0,8 µm	Métaux par ICP-MS	Oui Non (si Pr, cyclone)
941	Pr	Impacteur PPI	Filtre ECM 37 mm, prépesé, 0,8 µm	Métaux par ICP-MS	Oui
924	Pi et Pr	Cassette DRS (Type IOM)	Mousse polyuréthane et filtre CPV 25 mm, 5 µm	Gravimétrie	Oui
949	Pi et Pr	Cassette DRS (Type IOM)	Mousse polyuréthane et filtre ECM 25 mm, 0,8 µm	Métaux par ICP-MS	Oui
922	Pi	Cassette DIS (Type IOM)	Filtre CPV prépesé 25 mm, 5 µm	Gravimétrie	Oui
948	Pi	Cassette DIS (Type IOM)	Filtre ECM 25 mm, 5 µm	Métaux par ICP-MS	Oui
976	Pt	Cassette bout conique	Filtre quartz 25mm	Chrome hexavalent	Oui

* Seules les cassettes 25 mm sont présentées bien que le même type de média puisse être disponible en 37 mm.

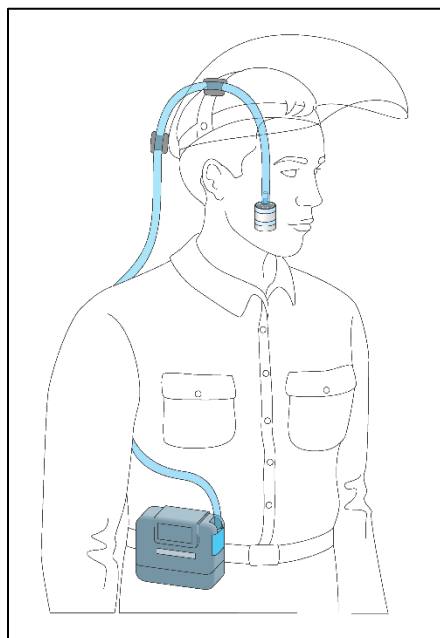
** De l'information supplémentaire sur les types de cyclones et cassettes correspondantes est disponible à la section 2.3.4.1.

2.5.3.3 Emplacement du dispositif sur le travailleur

Les études comparant les niveaux de concentration des fumées à l'intérieur et à l'extérieur du casque de soudeur font état de tendances variées, notamment influencées par l'emplacement de la source, les turbulences, la méthode de travail et l'environnement (Chung, 1999; Goller, 1995; Goller et Paik, 1985; Harris *et al.*, 2005; Liu *et al.*, 1995). Compte tenu que l'air inhalé par le travailleur est celui à proximité de son nez et de sa bouche, le prélèvement à l'intérieur du casque demeure la mesure la plus représentative de l'exposition. Le prélèvement d'air à cet emplacement est facilité par l'utilisation d'un

adaptateur (figure 37) et d'un dispositif de plus faible diamètre tel que les cassettes 25 mm qui font partie des dispositifs présentés au tableau 10. Un tel espace est toutefois difficile d'accès pour un sélecteur granulométrique de type cyclone (fraction respirable). Dans ce cas, un impacteur PPI peut être utilisé.

Figure 37. Soudeur avec cassette à l'intérieur du casque



Lors de circonstances empêchant le prélèvement à l'intérieur du casque de soudeur, le dispositif s'installe à l'extérieur, toujours en zone respiratoire, en favorisant le côté le plus représentatif de l'exposition et en prenant en compte les différents paramètres (procédé, environnement de travail, ventilation, méthode de travail, etc.). La même approche s'applique dans le cas où un appareil de protection respiratoire (APR) est porté, soit un casque de soudeur ventilé ou un demi-masque à épuration d'air avec filtres. Dans un tel cas, la mesure de l'exposition devra s'effectuer à l'extérieur de l'APR en appliquant la même approche décrite précédemment.

2.5.3.4 Mesure gravimétrique des fumées de soudage

La VEMP de 5 mg/m³ que prévoit le RSST pour la substance « Fumées de soudage (non autrement classifiées) » fait appel à une mesure gravimétrique exprimée en particules totales (tableau 10). L'évolution à la baisse des VEA pour les métaux (p. ex. manganèse) jumelé à la sophistication des méthodes améliorant la spécificité et la sensibilité des méthodes, notamment grâce à l'utilisation de l'ICP-MS, ont contribué à rendre de moins en moins utile, dans un contexte d'hygiène du travail, l'utilisation de la mesure gravimétrique liée à la VEMP de 5 mg/m³. À ce titre, l'ACGIH mentionnait jusqu'en 2003 que les conclusions basées sur une concentration totale de particules étaient généralement adéquates seulement si aucun matériau toxique n'était utilisé dans le

procédé de soudage (ACGIH, 2003). Or, cette affirmation relevait de l'exception et cette valeur limite a été abandonnée par l'ACGIH en 2004. L'établissement de la VEMP des « fumées de soudage (non autrement classifiées) » avait été basée sur cette ancienne recommandation de l'ACGIH il y a quelques décennies.

La mesure gravimétrique des fumées de soudage qui s'effectue sur un filtre simple (tableau 10) occasionne une sous-estimation due aux particules adhérentes aux parois internes de la cassette. Au contraire, un prélèvement permettant l'analyse des métaux effectué sur filtre avec enceinte (Solu-Sert) ou cassette inhalable ne présente pas cette contrainte (tableau 10).

Les observations décrites ci-haut doivent être considérées par l'intervenant lorsqu'il établit sa stratégie d'évaluation de sorte que la mesure spécifique de métaux devrait être favorisée lors de l'évaluation de l'exposition aux fumées de soudage.

2.5.3.5 Implications dans le calcul du Rm

Les multiples fractions granulométriques associées aux substances contenues dans les fumées de soudage peuvent générer des mesures d'exposition qui s'additionnent dans le cas des substances affectant le même organe cible. Ainsi, les principes associés au calcul du Rm décrits à la section 1.2.1 s'appliquent à ces mesures, même si elles ont été effectuées par des dispositifs de prélèvement différents.

2.6 Témoins

2.6.1 Témoins en général

Un témoin consiste en un dispositif d'échantillonnage identique à celui utilisé pour prélever un échantillon (cassette avec filtre, tube adsorbant, etc.), à la seule différence que le témoin ne prélèvera pas d'air. Il subira toutefois toutes les manipulations que subissent les échantillons telles que l'ouverture des bouchons, l'entreposage et le transport. La préparation et la soumission d'un témoin au laboratoire avec son groupe d'échantillons permettent de déterminer la contamination potentielle des échantillons liée à la fabrication ou au montage d'un dispositif ou encore au transport et à l'entreposage.

Un témoin doit être fourni avec chaque groupe d'échantillons devant être analysés. Certaines méthodes spécifient la préparation de plus d'un témoin. Sans égard à la méthode, un ou des témoins supplémentaires sont recommandés lorsque le nombre d'échantillons est supérieur à 20. Il est important que le témoin soit du même lot que les échantillons auxquels il est associé. Le témoin doit être manipulé exactement comme les échantillons, au même endroit où le prélèvement a lieu. La préparation d'un témoin s'effectue généralement en retirant son ou ses bouchons et en les remettant en place immédiatement. Le témoin, adéquatement identifié, est ensuite entreposé avec les échantillons pour être acheminé au laboratoire.

Dans le cas des dosimètres passifs, le témoin doit être ouvert brièvement dans un environnement exempt de contaminant et refermé rapidement selon les directives du fabricant.

Certains dispositifs requièrent un traitement spécifique pour la préparation du témoin et, en cas de doute, il est conseillé de consulter les méthodes et le laboratoire concerné.

Tout témoin sera analysé par le laboratoire et son résultat figurera sur le rapport d'analyse. À moins que le rapport ne le spécifie, les résultats des échantillons associés ne sont jamais corrigés par le résultat du témoin.

2.6.2 Témoins d'analyse gravimétrique

En complément des instructions et considérations décrites à la section 2.6.1, certains éléments sont spécifiques aux témoins destinés à l'analyse gravimétrique. Cette dernière est une analyse différentielle produisant un résultat basé sur la variation du poids du filtre entre la prépesée et la pesée. Les témoins permettent de vérifier la qualité de l'analyse tout au long du processus et leur résultat revêt un caractère informatif. Par conséquent, cette analyse n'est pas soumise à la comparaison avec la limite inférieure de la méthode analytique (VMR), et la variation peut être positive ou négative. Autrement dit, une variation de 5 µg ou même de -94 µg, qui sont toutes deux inférieures à une VMR donnée de 25 µg, peuvent figurer sur le rapport d'analyse. L'intervenant en hygiène pourra donc décider, en fonction du contexte, s'il souhaite ou non corriger les résultats des analyses gravimétriques.

Plusieurs causes peuvent produire une variation du poids du filtre. Certaines causes sont dites fortuites comme le bris du filtre lors des manipulations sur le terrain ou au laboratoire et la présence accidentelle de particules sur le filtre. Ces causes fortuites feront l'objet d'une remarque sur le rapport d'analyse. Certaines autres causes de variation peuvent être considérées intrinsèques à la méthode ou au filtre utilisé : l'incertitude analytique, le gain ou la perte d'eau du filtre (caractère hygroscopique vs conditions ambiantes d'entreposage), ou encore l'évaporation du solvant résiduel du polymère constituant le filtre. En l'occurrence de ces causes intrinsèques – et non des causes fortuites – on peut assumer que la variation de poids du filtre témoin peut être attribuée aux échantillons associés à ce témoin. Deux cas de figure illustrent ci-dessous comment le résultat d'un témoin d'analyse gravimétrique peut être interprété par l'intervenant.

- Cas 1 : un échantillonnage produit un résultat de 1,2 mg/m³ pour un volume prélevé de 75 L et par conséquent, une masse de particules de 90 µg a été mesurée au laboratoire. La variation du témoin associé à cet échantillon est de 60 µg.

L'influence du résultat du témoin s'évalue en le comparant à la masse de particules mesurée dans l'échantillon. Puisqu'on assume (voir ci-devant) que le poids du filtre de l'échantillon a varié de façon identique à celui du témoin associé,

on peut également assumer que le résultat de l'échantillon, 90 µg, inclut aussi cette variation. Ainsi, en exerçant cette correction ($90 \mu\text{g} - 60 \mu\text{g} = 30 \mu\text{g}$), on peut calculer la concentration résultante dans l'échantillon corrigé ($30 \mu\text{g} / 75 \text{ L} = 0,4 \text{ mg/m}^3$), c'est-à-dire un résultat 3 fois plus faible que $1,2 \text{ mg/m}^3$, le résultat rapporté par le laboratoire.

- Cas 2 : un échantillonnage produit un résultat de $1,2 \text{ mg/m}^3$ pour un volume prélevé de 483 L et par conséquent une masse de particules mesurée de 580 µg. La variation du témoin associé à cet échantillon est 60 µg.

Appliquant l'approche du cas 1, on constate que la correction de l'échantillon ($580 \mu\text{g} - 60 \mu\text{g} = 520 \mu\text{g}$) produit une concentration corrigée de ($520 \mu\text{g} / 483 \text{ L}$) $1,1 \text{ mg/m}^3$, soit une diminution de moins de 10 % par rapport au résultat rapporté par le laboratoire.

Ces deux cas illustrent l'importance que revêt le résultat du témoin pour ce type d'analyse. Ils démontrent également l'importance du volume de prélèvement sur la variation potentielle de la concentration mesurée. On rappelle que la variation d'un témoin peut aussi être négative (ex. : $-60 \mu\text{g}$). Dans ce cas, la correction se ferait par une addition et non pas une soustraction comme dans les deux cas présentés ci-haut. L'intervenant devra garder ces implications à l'esprit dans la planification de sa stratégie d'échantillonnage, notamment quant au volume minimal à prélever par rapport à un niveau d'action, une valeur seuil ou une VEA auquel il aura à se comparer. En effet, dans le cas 1 ci-dessus, la correction par le témoin implique une variation si importante que l'interprétation du résultat change drastiquement, c'est-à-dire qu'elle passe d'un travailleur potentiellement surexposé à celle d'un travailleur faiblement exposé. Une telle situation met en évidence que le volume de prélèvement était trop faible dans le contexte de la mesure présentée dans le cas 1.

2.7 Prélèvements d'échantillon de procédé ou de surface

Un échantillon de procédé, comme son nom l'indique, est associé au procédé mis en œuvre dans le lieu de travail et son analyse vise à déterminer et à renseigner sur la composition chimique de ce dernier. En guise d'exemple, l'analyse d'un échantillon de procédé permettra d'identifier les substances potentiellement émises dans l'air lors de son utilisation pour ainsi guider la suite de la stratégie d'évaluation de l'exposition. La section 2.7.1 traite des différents types d'échantillons de procédé et de leur utilité.

Un échantillon de surface sert à déterminer le niveau de contamination d'une surface donnée. Ce type de mesure est notamment pertinent dans le contexte du potentiel d'exposition cutanée des travailleurs. La section 2.7.2 traite des différents types d'échantillons de surface et de leur utilité.

2.7.1 Échantillons de procédé

2.7.1.1 Produit de référence

Le produit de référence prélevé, qui peut être un mélange ou une solution, peut aider le laboratoire, et par conséquent l'intervenant, à interpréter les résultats d'analyse adéquatement. Un exemple spécifique est l'analyse des mélanges d'hydrocarbure (p. ex. naphta VM & P, solvant Stoddard) où l'analyse du produit de référence soumis par l'intervenant permet de confirmer la composition. Cette information permet ensuite au laboratoire d'utiliser le bon étalon et à l'intervenant d'appliquer la VEA adéquate pour son évaluation. La technique analytique de chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CPG-MS) est également utilisée pour confirmer la présence d'un ingrédient spécifique dans le produit de référence, comme la présence de benzène dans un naphta de peinture.

2.7.1.2 Analyse de composition

Une matière première, un produit, un mélange, une solution ou une poussière déposée est envoyée pour analyse lorsque tous les autres moyens d'obtenir de l'information se sont avérés inefficaces; ceci inclut la revue de la littérature et les démarches auprès du fournisseur, du manufacturier et du [service de soutien à la clientèle du Répertoire toxicologique](#) de la CNESST.

Lorsqu'une analyse de composition est demandée, les informations suivantes doivent être données : le type d'industrie, la nature du procédé, le type d'exposition, les problèmes de santé reliés à l'exposition, les composés chimiques soupçonnés et surtout la fiche de sécurité lorsqu'il s'agit d'un produit commercial. La quantité minimale d'échantillon à fournir selon le type d'analyse demandée est mentionnée plus bas. Idéalement, les matières solides envoyées au laboratoire devraient être broyées le plus finement possible.

Prélèvement d'air à la source

Un prélèvement à la source consiste à échantillonner l'air près de la source d'émission des substances sans égard au niveau d'exposition du travailleur, donc généralement en poste fixe plutôt qu'en poste personnel. Un prélèvement à la source peut être effectué pour tout type de substance présente sous forme de vapeur ou d'aérosol, incluant les substances semi-volatiles. La méthode à appliquer dans ces cas est la même que celle utilisée pour mesurer l'exposition professionnelle à ladite substance. Selon le contexte, le temps de prélèvement pourra être ajusté de façon à optimiser l'identification des substances potentiellement présentes.

La majorité du temps, le résultat émis par le laboratoire pour ce type de prélèvement sera qualitatif, et non quantitatif, même si dans certains cas, la méthode utilisée sera la même que celle employée pour la mesure d'une exposition professionnelle. Il est important

d'informer le laboratoire de ce type de prélèvement puisqu'il implique potentiellement des concentrations au-delà du domaine d'applicabilité de la méthode.

Pour les composés organiques volatils, une approche spécifique de prélèvement peut être utilisée. Ce prélèvement se fait à partir de tubes de charbon actif, bien que d'autres types de tube adsorbant puissent être utilisés selon le contexte. Il est possible de déterminer qualitativement les principaux composants volatils du mélange par CPG-MS. L'utilisation de tube à désorption thermique (TD), aussi couplé à la CPG-MS permet également d'identifier un large éventail de composés organiques volatils. Cette détermination se fait à partir d'un tube saturé, c'est-à-dire qui aura prélevé une quantité importante de vapeurs organiques. Selon le contexte, la saturation d'un tube (IRSST 2120) consiste à prélever à un débit de 0,2 L/min durant une période plus ou moins longue. Selon les conditions ambiantes, un prélèvement d'une heure tout près de la source peut être suffisant alors que plusieurs heures sont recommandées dans le cas où la génération de vapeurs semble faible. Pour le prélèvement à l'aide de tubes TD, l'échantillonnage doit être fait à un débit de 0,01 à 0,05 L/min pour un volume maximum de 6 litres. Chaque tube TD a un identifiant unique gravé sur sa surface. Les peintures et les crayons marqueurs contenant des solvants ou les étiquettes adhésives ne doivent pas être utilisés pour identifier les tubes car ils peuvent contaminer ce type de tube (Woolfenden et McClenny, 1999).

Liquides organiques

Pour les solvants ou autres liquides organiques (produit, mélange, solution, etc.), l'analyse peut être effectuée à partir du produit envoyé directement au laboratoire dans le contenant en verre approprié. Ces échantillons ne doivent pas être envoyés dans la même boîte de transport que d'autres prélèvements afin d'éviter la contamination et doivent être bien identifiés avec le numéro de la demande correspondante. Quelques millilitres de liquide sont suffisants pour procéder à l'analyse.

Solides

Des échantillons solides peuvent être constitués de poussières de procédé, de poussières sédimentées ou de matériaux. Les analyses suivantes sont possibles pour ce type d'échantillon :

- Caractérisations minéralogiques et morphologiques;
- Identification des formes cristallines de la silice : quartz et cristobalite;
- Identification et quantification de métaux;
- Identification des substances fibreuses et estimation de la teneur en fibres par la méthode [MA-244 : Caractérisation des fibres dans les poussières déposées ou dans les matériaux en vrac](#) (Beauparlant *et al.*, 2015) utilisée notamment pour l'application du *Code de sécurité pour les travaux de construction* (RLRQ, c. S-2.1, r. 4). Toutes les fibres citées dans le RSST peuvent être analysées.

Pour l'analyse des métaux, la quantité minimale est de l'ordre de 1 à 2 g d'échantillon (environ une cuillère à café). La quantité de poussières nécessaire pour toute analyse de fibres ou poussières minérales est d'environ 3 grammes ou devrait correspondre minimalement à la taille d'une cuillère à soupe. Elles doivent être recueillies dans des petits contenants en plastique disponibles à l'IRSST ou dans des sacs refermables de petite dimension. Dans la mesure du possible :

- Les échantillons pour identification de la silice doivent pouvoir se broyer le plus finement possible. Si la présence de graphite est suspectée dans l'échantillon, il faut en informer le laboratoire lors de la demande.
- Les échantillons pour l'analyse de métaux doivent être broyés le plus finement possible afin d'améliorer la mise en solution des métaux présents.

2.7.2 Mesure de la contamination surfacique

Une surface contaminée par une substance ou plusieurs substances toxiques peut mener à une exposition cutanée. L'accumulation de poussières sédimentées sur les lieux de travail peut aussi contribuer à l'exposition par inhalation lorsque ces poussières sont remises en suspension dans l'air, notamment lors des déplacements de travailleurs ou de la machinerie. La mesure de la contamination surfacique est utile notamment pour prévenir le potentiel d'exposition, assurer la propreté des zones techniquement non contaminées, ou évaluer l'efficacité des travaux de décontamination (Roberge *et al.*, 2021, p. 529-542).

2.7.2.1 Tests colorimétriques qualitatifs rapides

Des tests colorimétriques de surface ou cutanés permettent en quelques minutes de déterminer l'absence ou la présence de contaminants ciblés sur les surfaces de travail ou sur la peau d'un travailleur. Ces tests sont généralement qualitatifs et ne permettent donc pas d'évaluer la quantité présente sur la surface prélevée. On retrouve ces tests sous le nom de « *Surface Swypes* » ou de « *Skin Swypes* » (SKC, 2025). Ces tests colorimétriques existent seulement pour quelques contaminants ou famille de contaminants comme les amines, les isocyanates, les acides ou les bases, les phénols, l'ortho-phtaldéhyde, les phénols, les cyanures et certains métaux (Ni, Fe, Cu, Pb). Il est nécessaire de connaître la portée et les limites de l'utilisation de ces tests car des interférences peuvent être nombreuses et ainsi créer de faux positifs.

2.7.2.2 Prélèvements de surface et analyses quantitatives

Valeurs de référence

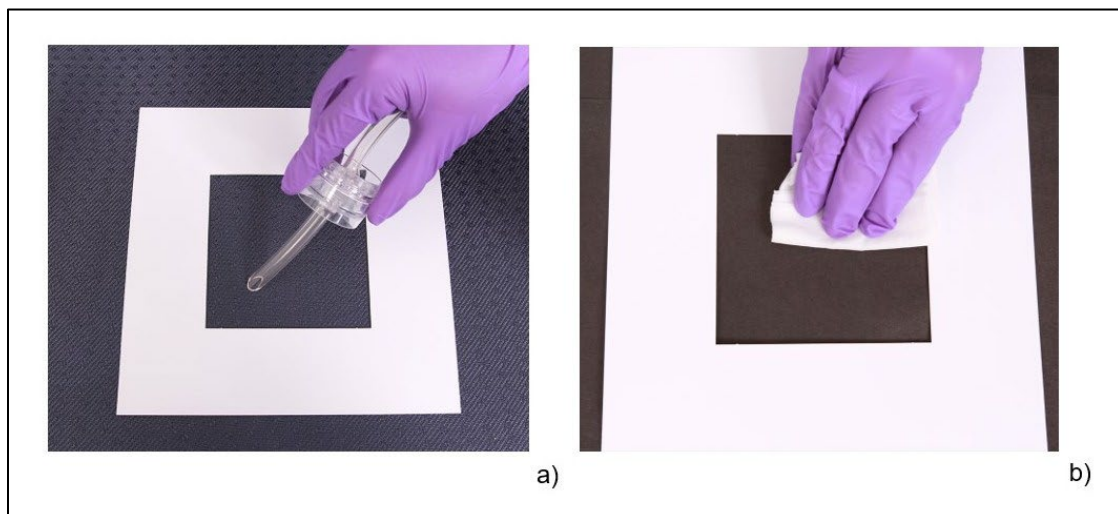
Aucun seuil réglementaire n'existe au Québec pour la contamination de surface. Un seuil sanitaire existe pour le béryllium à une valeur de 0,2 µg/100 cm² sur les surfaces de travail, les équipements et les objets pour que ceux-ci soient considérés non contaminés. Dans les zones de travail, où des activités avec le béryllium ont lieu, une valeur maximale

de 3,0 µg/100 cm² doit être respectée (Viau *et al.*, 2025). Ces valeurs constituent des valeurs réglementaires du ministère de l'Énergie des États-Unis (*Chronic beryllium disease prevention program*, 10 C.F.R. § 850 (2025)). L'OSHA n'a pas de valeur réglementaire spécifique, mais prévoit que la contamination de surface doit être maintenue au minimum pour l'arsenic inorganique, le chrome hexavalent, le cadmium, le plomb, le béryllium, l'amiante, le 1,2-dibromo-3-chloropropane et la méthylènedianiline (OSHA, 2025). Depuis 2019, l'ACGIH (2025) propose une valeur seuil de surface (TLV-SL) pour quelques substances. L'ensemble des valeurs ci-haut constitue donc des recommandations visant à établir des seuils de salubrité applicables, notamment dans des programmes de prévention. D'autres approches sont disponibles dans la littérature scientifique pour estimer des valeurs seuils de contamination de surface. Les sections suivantes décrivent les façons de faire pour effectuer des prélèvements de surface quantitatifs.

Méthode de prélèvement par essuyage ou par aspiration

L'efficacité du prélèvement de surface dépend de plusieurs paramètres qu'il faut prendre en considération avant de procéder, l'objectif étant de récupérer la totalité du ou des contaminants présents. Deux catégories de prélèvement de surface existent : par aspiration et par essuyage (figure 38). Les deux s'effectuent à l'intérieur d'un gabarit de taille 10 cm par 10 cm (100 cm²). Celui-ci sera fixé à la surface de prélèvement et sera changé ou nettoyé entre chaque prélèvement. Les prélèvements doivent s'effectuer en portant des gants et ceux-ci doivent être changés à chaque prélèvement. Un mauvais choix de la méthode de prélèvement aura pour conséquence une sous-estimation de la mesure de la contamination de surface. Il est important de noter que le taux de récupération du contaminant aura tendance à diminuer avec l'augmentation du niveau de contamination de la surface. Dans cette situation, il faut anticiper une sous-estimation de la mesure de la contamination surfacique (Andrews et O'Connor, 2020, chapitre SG).

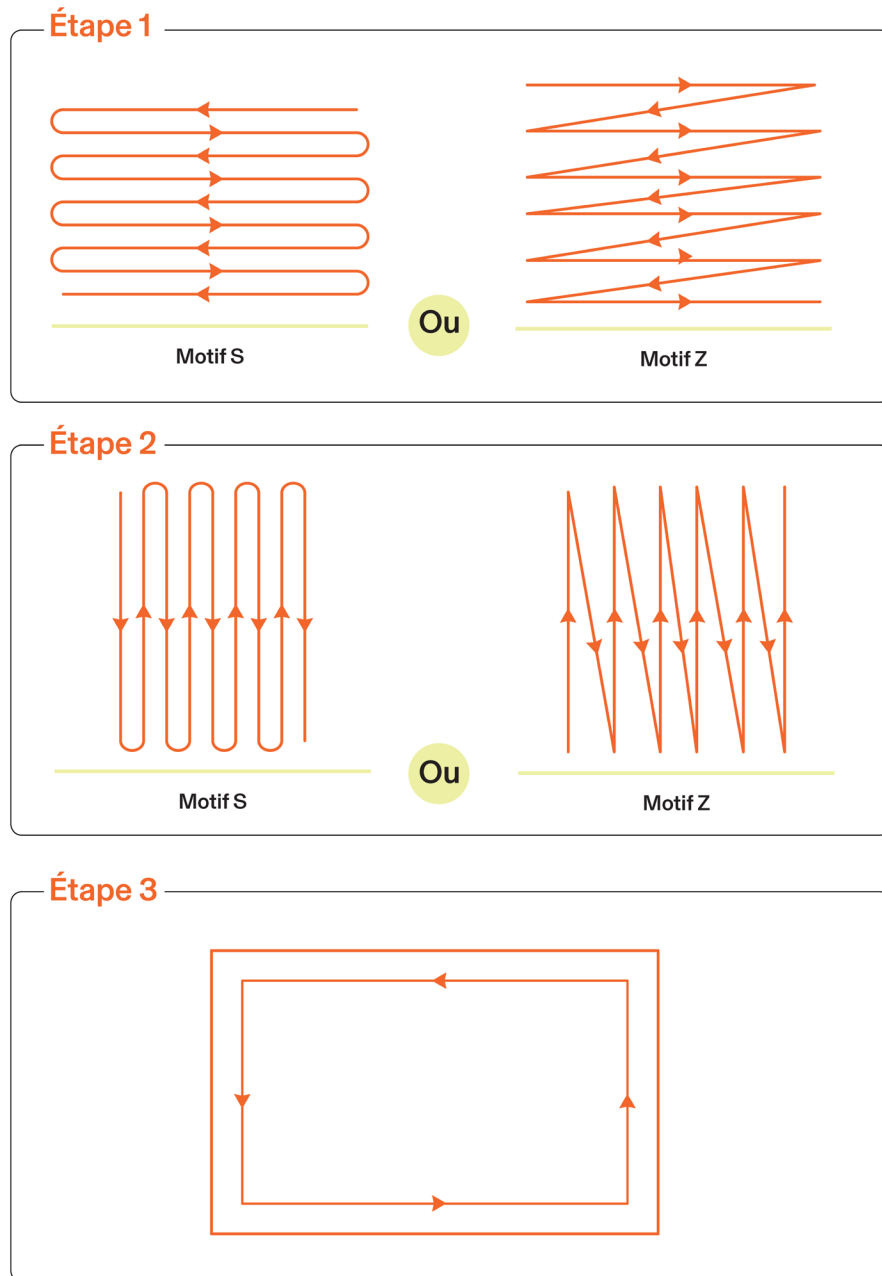
Figure 38. Prélèvement de surface par a) aspiration et b) essuyage



Les prélèvements de surface par essuyage sont à privilégier lorsque les surfaces présentent une faible rugosité, de faibles cavités (ou « normal creux ») ou de petits « pics », comme le verre, la céramique, le plastique ou le métal. En règle générale, si la surface présente un contaminant liquide ou visqueux, un prélèvement par essuyage est à privilégier.

Les prélèvements par essuyage sont effectués à partir de lingettes humidifiées commercialement ou imbibées d'un solvant adapté au contaminant à prélever. Pour effectuer le prélèvement, il faut déplier complètement la lingette, essuyer la surface à l'intérieur du gabarit en décrivant des S ou des Z d'une extrémité à l'autre de celui-ci, en appuyant légèrement sur la lingette du bout des doigts (figure 39). Le premier passage s'effectue à la verticale suivi d'un passage à l'horizontale. Un dernier passage le long des contours intérieurs du gabarit permet de récupérer ce qui aurait pu être accumulé sur les bords intérieurs du gabarit. Entre chaque passage, la lingette est repliée sur elle-même puis introduite directement dans le tube fourni par le laboratoire, voir schéma ci-dessous (ASTM International, 2024).

Figure 39. Schéma du prélèvement de surface par essuyage (étapes 1 à 3) et par aspiration (étapes 1 et 2)



Les prélèvements de surface par aspiration sont à privilégier lorsque la surface présente une plus grande rugosité (creux et pics) comme le bois, le béton, les tissus, les tapis, les moquettes ou autres, et que le contaminant se retrouve sous forme de poudre ou de poussière.

Les prélèvements de surface par aspiration s'effectuent à l'aide d'une cassette fermée contenant dans l'idéal un filtre encapsulé de type Solu-Sert. Il est recommandé d'utiliser une canule de CPV de 5,5 cm ± 0,5 cm de longueur et de 0,6 cm de diamètre, biseautée à 45 ° à l'une de ses extrémités. L'autre extrémité de la canule est directement reliée à une cassette fermée. Le débit recommandé est de 2,5 L/min mais il peut être augmenté pour s'adapter à la granulométrie et la densité des particules ou la rugosité de la surface. Le balayage en serpentin (S ou Z) verticalement et horizontalement de la zone de 100 cm² délimitée par le gabarit doit être effectué sur une durée de 1 minute (ASTM International, 2021).

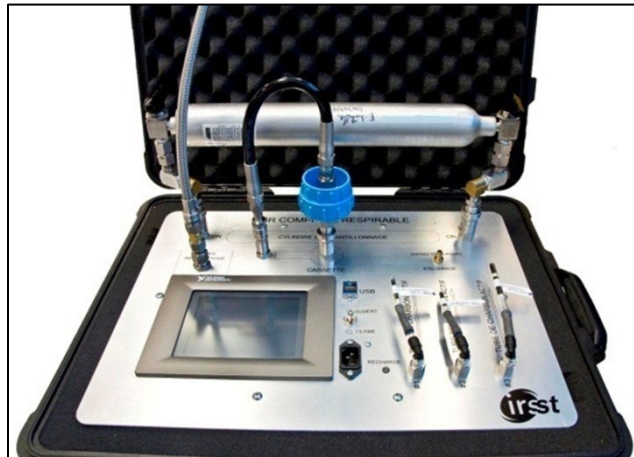
2.8 Air comprimé respirable

L'article 48 (Air d'alimentation) du RSST prévoit que « l'air comprimé respirable qui alimente les appareils de protection respiratoire de type adduction d'air ou autonome doit être conforme à la norme *Air comprimé respirable et systèmes connexes*, CSA Z180.1 (Canadian Standards Association [CSA], en vigueur). Les systèmes de production, de stockage et les systèmes de distribution de l'air doivent être conformes à la norme qui leur est applicable ».

Pour l'air alimentant les équipements de plongée, le RSST réfère à la norme *Règles de sécurité pour les travailleurs en plongée*, CAN/CSA Z275.2:11 (CSA, 2011). Ces normes spécifient, en outre, des critères de pureté et de fréquence d'analyse.

Une valise de prélèvement (figure 40) est disponible à l'IRSST pour faire tous les prélèvements selon la norme CSA Z180.1 en vigueur. Un guide d'instructions et le matériel de prélèvement requis y sont inclus. Certains paramètres (point de rosée, odeur et concentration d'oxygène, d'azote et gaz rares) sont déterminés sur le terrain et les données recueillies sont sous la responsabilité de la personne effectuant le prélèvement. D'autres analyses s'effectuent sur des milieux collecteurs envoyés au laboratoire. Un rapport d'analyse global spécifique au compresseur ou à un système connexe et couvrant l'ensemble des paramètres à mesurer tels que spécifiés dans la norme est émis par l'IRSST.

Figure 40. Valise d'échantillonnage pour l'air comprimé respirable



2.9 Risques biologiques (agents microbiens)

2.9.1 Introduction

Les microorganismes sont des êtres vivants microscopiques, invisibles à l'œil nu. Ils sont classés en plusieurs grands groupes : les bactéries, les archées, les mycètes (moisissures et levures), les protistes (p. ex. algues microscopiques et protozoaires) et les virus (bien que ces derniers soient théoriquement considérés non-vivants). Ils sont présents dans tous les environnements : eau, air, sol, et en relation avec divers organismes tels que les humains, animaux et végétaux. Les microorganismes d'intérêt en santé et sécurité du travail sont principalement les bactéries, les archées, les moisissures et les virus. Le terme « agents microbiens » est souvent utilisé et inclue les microorganismes entiers, les fragments de microorganismes ou leurs sous-produits (p. ex. endotoxines et mycotoxines). Ces agents microbiens peuvent représenter différents risques à la santé pour les personnes qui y sont exposées : infectieux, toxiques, allergiques ou irritatifs/non spécifiques (Roberge *et al.*, 2021, p. 165-196). Lorsqu'on se réfère spécifiquement aux agents microbiens aéroportés, le terme « bioaérosol » est généralement utilisé. Au Québec, il n'existe pas de valeur d'exposition admissible aux agents microbiens en milieu de travail, excepté pour la subtilisine, une enzyme de type protéase produite principalement par les bactéries du genre *Bacillus* et utilisée dans divers produits comme les détergents (RSST).

Cette section du guide vise à informer sur les agents microbiens ainsi que sur leurs méthodes de prélèvement et d'analyse disponibles et couramment offertes par le laboratoire de l'IRST. Les différents agents microbiens traités sont les bactéries hétérotrophes aérobies et anaérobies facultatives, les bactéries à Gram négatif, les bactéries du genre *Legionella*, les endotoxines (composantes de la paroi des bactéries à Gram négatif) et les moisissures.

2.9.2 Démarche proposée pour l'évaluation

Le guide technique *Les bioaérosols en milieu de travail: guide d'évaluation, de contrôle et de prévention* décrit la démarche préconisée par l'IRSST en ce qui concerne l'évaluation des agents microbiens en milieu de travail (Goyer *et al.*, 2001). Pour des informations complémentaires plus récentes, les chapitres 8 et 20 du manuel *Hygiène du travail : du diagnostic à la maîtrise des facteurs de risque* peuvent aussi être consultés (Roberge *et al.*, 2021, p. 165-196 et p. 543-560). La consultation de ces documents est recommandée lors de la planification d'une intervention. Dans le cadre d'une évaluation en hygiène du travail impliquant les risques biologiques, l'approche proposée par l'IRSST est celle suggérée par le Comité américain sur les bioaérosols de l'ACGIH (2025). Cette approche met l'accent sur l'importance de réaliser une collecte d'information initiale rigoureuse afin de déterminer si une prise d'échantillon est justifiée et pertinente. Les résultats obtenus devraient permettre de confirmer ou d'infirmer une hypothèse de départ clairement définie. Par exemple, pour les risques infectieux autres que pour les bactéries du genre *Legionella*, il est généralement peu pertinent de procéder à de l'échantillonnage dans l'air, étant donné que ces risques sont souvent ponctuels et que les doses infectieuses peuvent correspondre à des concentrations très faibles de microorganismes, difficilement détectables avec les méthodes d'analyse actuelles. Pour les problématiques de qualité d'air intérieur en milieu de travail dit « non-industriel » (p. ex. bureaux), en l'absence d'une croissance de moisissure visible, mais lorsqu'une exposition à des spores de moisissures est soupçonnée (p. ex. en présence de symptômes chez les travailleurs), l'approche consiste généralement à comparer les concentrations et types de spores de moisissures retrouvés aux postes de mesure à ceux retrouvés dans l'air extérieur (ou autre site de référence). Pour les cas de croissance de moisissures visibles, il est important de noter qu'un consensus scientifique est établi, notamment par les experts de Santé Canada, de l'Institut national en santé publique du Québec (INSPQ) et de l'IRSST, qui convient qu'aucune croissance visible de moisissure n'est acceptable sur des surfaces à l'intérieur d'un bâtiment et que celle-ci doit être retirée (Huppé *et al.*, 2016; Santé Canada, 2023). Pour les investigations en milieux industriels pour lesquelles l'échantillonnage s'avère pertinent, il est possible de se référer à des concentrations limites d'exposition ou des valeurs guides proposées pour les bactéries cultivables, les endotoxines, les moisissures cultivables et les spores de moisissures dans l'air afin de les comparer à des résultats d'échantillonnage obtenus (Alonso *et al.*, 2025; David *et al.*, 2023; Roberge *et al.*, 2021, p. 165-196; Suva, 2025). Bien que des valeurs seuils recommandées soient disponibles, l'interprétation des résultats demeure complexe, notamment lorsqu'il s'agit d'évaluer la flore cultivable. Un dépassement des valeurs proposées ne signifie pas automatiquement un risque à la santé, et à l'inverse, des concentrations sous ces valeurs ne garantissent pas d'absence d'effet à la santé (p. ex. chez des individus sensibilisés ou immunosupprimés). Dans certains cas, il pourrait être davantage pertinent de comparer les résultats obtenus avec ce qui est normalement attendu dans un type de milieu de travail ou pour certaines tâches précises, en se basant sur la littérature disponible.

L'ensemble des dispositifs d'échantillonnage discutés dans cette section est disponible sur le site [web de l'IRSST](#). Un résumé des agents microbiens analysés au laboratoire de l'IRSST est présenté au tableau 11.

Tableau 11. Agents microbiens analysés à l'IRSST, leurs dispositifs, consignes d'échantillonnage et méthodes d'analyse associées

Agents microbiens	Matrice	Dispositif	Consigne d'échantillonnage	Méthodes
Bactéries totales cultivables / Bactéries Gram négatif cultivables / Moisissures cultivables	Air	Impacteur Andersen + gélose	I-MAT-030	MA-264
		Cassette fermée 3 pièces + membrane filtrante de polycarbonate	s.o.	MA-368
	Surface	Éponge ou écouvillon	I-MAT-023 I-MAT-048	MA-343
	Liquide	Contenant stérile	I-MAT-024	MA-342
	Solide			
Bactéries du genre <i>Legionella</i>	Liquide	Contenant stérile	I-MAT-025 I-MAT-037	MA-370 MA-410
	Solide			
	Biofilm	Écouvillon		
Endotoxines	Air	Cassette fermée 3 pièces + Filtre de fibre de verre	s.o.	MA-332
	Liquide	Tube		
Spores de moisissures	Air	Cassette de type trappe à spores	I-MAT-026	MA-367
Structures mycologiques	Surface	Lame autocollante	I-MAT-022	MA-360
	Solide	Contenant stérile	I-MAT-024	

2.9.3 Les bactéries et leurs dérivés

2.9.3.1 Bactéries cultivables

Les types de bactéries cultivables normalement recherchés sont les bactéries hétérotrophes aérobies et anaérobies facultatives, y compris les bactéries à Gram négatif. Dans certains cas, il peut être pertinent de rechercher des microorganismes plus spécifiques comme les bactéries thermo-actinomycètes. Pour les analyses spécifiques, il est préférable de contacter le laboratoire, afin de s'assurer de la disponibilité de l'analyse. Pour l'évaluation des bactéries cultivables, il est possible d'effectuer des prélèvements d'air, de surface ou d'autres matrices.

Deux méthodes de prélèvement sont offertes pour l'analyse des bactéries cultivables dans l'air, selon les concentrations attendues dans l'environnement de travail. Pour les

concentrations faibles à modérées de bactéries (jusqu'à 10^4 UFC⁹/m³ d'air), il est recommandé d'utiliser la méthode d'impaction sur gélose avec l'impacteur Andersen 1 étage, et pour les concentrations élevées ($\geq 10^4$ UFC/m³ d'air), le prélèvement d'air sur membrane filtrante de polycarbonate est plus approprié.

La méthode d'impaction sur gélose s'effectue à l'aide d'un impacteur Andersen 1 étage (N-6) à l'intérieur duquel on dépose une boîte de Pétri contenant un milieu nutritif gélosé (« milieu de culture »). Le type de milieu de culture varie en fonction du type de microorganisme recherché : gélose trypticase de soya (« TSA » ou « tryptic soy agar ») pour les bactéries hétérotrophes aérobies (et anaérobies facultatives) et gélose MacConkey pour les bactéries à Gram négatif. Le milieu de culture sert à fournir les éléments nutritifs pour supporter la croissance des microorganismes impactés à sa surface. Le prélèvement est effectué à un débit d'environ 28,3 L/min, pour une durée variant typiquement de 2 à 5 minutes, dépendant des concentrations attendues. Pour un milieu peu contaminé (p. ex. bureaux), le temps d'échantillonnage peut être de 5 minutes, alors que pour un environnement très contaminé, il est préférable de réduire le temps d'échantillonnage à 2 minutes ou considérer le prélèvement d'air sur membrane filtrante de polycarbonate. Le débit du train de prélèvement (figure 41) doit être vérifié avant et après l'échantillonnage, à l'aide d'un débitmètre (fourni dans l'ensemble impacteur). Au besoin, le débit de la pompe doit être ajusté à environ 28,3 L/min avant de débiter l'échantillonnage. Pour plus d'informations sur ce type de prélèvement (dont l'ajustement du débit de la pompe) et sur la méthode analytique, les documents suivants peuvent être consultés: la consigne d'utilisation [J-MAT-030 : Échantillonnage des moisissures ou bactéries dans l'air à l'aide d'un impacteur Andersen N-6 \(1 étage\)](#) (IRSST, 2023a) et la méthode analytique [MA-264 : Dénombrement des bactéries et moisissures cultivables prélevées à l'aide d'un impacteur de marque Andersen](#) (Bernèche-D'Amours *et al.*, 2021).

⁹ UFC : unité formatrice de colonie

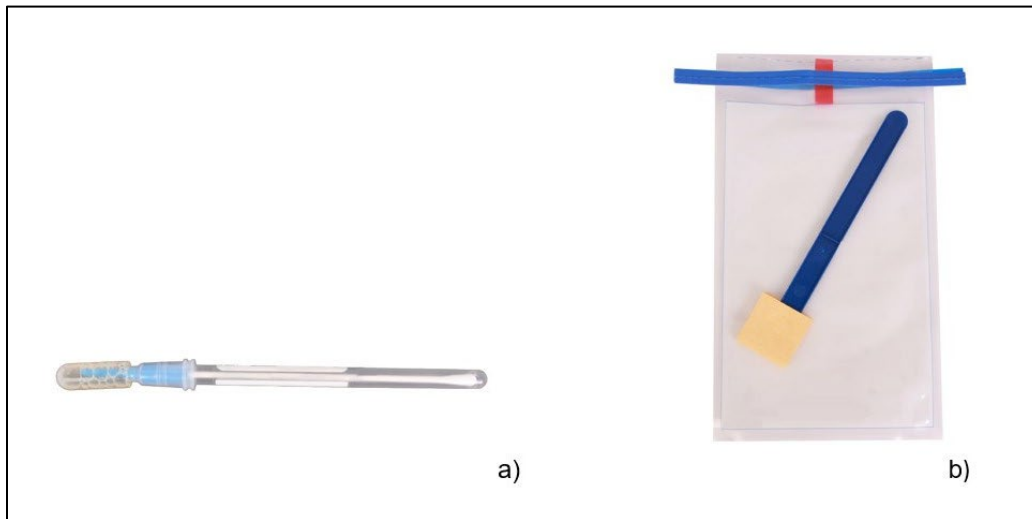
Figure 41. Train de prélèvement pour l'impaction de microorganismes sur gélose à l'aide d'un impacteur Andersen 1 étage (N-6), aussi appelé « ensemble impacteur »



Le **prélèvement d'air sur membrane filtrante de polycarbonate** (contenue dans une cassette fermée 3 pièces) est quant à lui effectué à l'aide d'une pompe à haut débit ajustée à 2 L/min, pendant 20 minutes. Pour plus d'informations sur ce type d'échantillonnage et sur l'analyse subséquente, la méthode analytique [MA-368 : Dénombrement des bactéries et moisissures cultivables de l'air prélevées sur filtre de polycarbonate](#) (Marchand *et al.*, 2011) peut être consultée.

Occasionnellement, des prélèvements de surface à l'aide **d'écouvillons ou d'éponges** (figure 42) peuvent être faits sur des surfaces pour en caractériser la contamination. L'interprétation de tels résultats est complexe et ne peut généralement être que qualitative (présence/absence). Ces méthodes de prélèvement sont principalement employées pour les analyses d'identification microbienne. Pour plus d'informations, les documents suivants peuvent être consultés : les consignes d'utilisation [I-MAT-023 : Prélèvement sur éponge stérile \(Bactéries et moisissures cultivables\)](#) (IRSST, 2023d), [I-MAT-048 : Prélèvement de surface sur écouvillon \(Bactéries et moisissures cultivables\)](#) (IRSST, 2024a) et la méthode analytique [MA-343 : Méthode d'échantillonnage et d'identification de bactéries et de moisissures par la méthode de prélèvement de surface](#) (Marchand *et al.*, 2009b).

Figure 42. Dispositifs de prélèvement de surface: a) écouvillon et b) éponge



Il peut aussi être pertinent de déterminer la charge microbienne d'une matrice **liquide** (p. ex. fluides de coupe, eau de procédé) ou **solide**, afin de valider une source suspectée. Il suffit alors d'envoyer un échantillon liquide ou solide dans un contenant approprié pour analyse subséquente au laboratoire. La méthode analytique [MA-342 : Analyse des matrices solides ou liquides : évaluation des bactéries et moisissures cultivables](#) (Marchand *et al.*, 2008d) contient davantage d'informations au besoin.

Au laboratoire, deux types d'analyse sont disponibles pour l'évaluation des bactéries cultivables. La première consiste à effectuer un dénombrement au stéréomicroscope des colonies formées sur gélose à la suite de l'incubation, le résultat étant exprimé en UFC. En fonction du type d'échantillon initial, le résultat brut est ensuite converti pour exprimer une concentration de bactéries cultivables dans l'air (UFC/m³), dans un liquide (UFC/L) ou dans un solide (UFC/g). Dans un deuxième temps et si la situation le justifie, une identification taxonomique¹⁰ peut être faite. Pour ce faire, des colonies morphologiquement différentes retrouvées sur la gélose sont repiquées en culture pure pour ensuite être identifiées par spectrométrie de masse, séquençage Sanger et/ou tests biochimiques. L'identification peut être faite au genre ou à l'espèce, selon les besoins de l'évaluation. La méthode analytique est la suivante : [MA-341 : Identification de bactéries cultivables](#) (Lanoie *et al.*, 2024).

¹⁰ Taxonomique : relatif à la taxonomie, science de la classification des êtres vivants.

2.9.3.2 Bactéries du genre *Legionella*

Les bactéries du genre *Legionella*, et particulièrement l'espèce *Legionella pneumophila*, sont reconnues pour causer une maladie appelée la légionellose.

Les bactéries du genre *Legionella* sont présentes de façon ubiquitaire dans les sources d'eaux naturelles, telles que les lacs et les rivières. Dans les systèmes d'eau fabriqués par l'humain, les bactéries *Legionella* peuvent proliférer davantage dans certaines conditions favorables, par exemple en absence de traitement biocide adéquat et lors du maintien d'une température située entre 25 et 43 °C (Sylvestre et Julian, 2023). L'exposition se fait via l'inhalation d'aérosols d'eau contaminée par la bactérie. Les sources d'eaux contaminées peuvent être par exemple issues des tours de refroidissement des systèmes de climatisation, des réservoirs et systèmes de distribution d'eau chaude, des bains à remous, de fontaines d'eau décoratives, d'humidificateurs, etc.

Lorsqu'il est indiqué de procéder à une investigation environnementale dans un milieu de travail, la stratégie repose généralement sur le prélèvement d'échantillons de sources suspectées. Ensuite, chaque échantillon est analysé pour en déterminer la concentration en bactéries du genre *Legionella* et identifier l'espèce et le sérotype¹¹, si possible et applicable. Deux méthodes d'analyse sont offertes : par culture et par biologie moléculaire. Dans les deux cas, des échantillons liquides (p. ex. eau potable, eau de procédé), des échantillons solides (p. ex. sol, compost) ou des échantillons de biofilm peuvent être analysés. Pour plus d'informations, veuillez consulter les consignes d'utilisation [I-MAT-025 : Prélèvements pour l'analyse de *Legionella pneumophila* et *Legionella* spp. par culture](#) (IRSST, 2023f) et [I-MAT-037 : Prélèvements pour l'analyse de *Legionella pneumophila* et *Legionella* spp. par biologie moléculaire-ddPCR](#) (IRSST, 2023e). Les deux méthodes comportent chacune des avantages et des inconvénients. Par exemple, l'analyse par culture détecte uniquement les bactéries viables¹² et cultivables¹³, alors que l'analyse par biologie moléculaire, employant la technique de

¹¹ Sérotype : subdivision, au sein d'une même espèce bactérienne, sur la base de caractéristiques antigéniques distinctes.

¹² Viable (microorganisme) : état physiologique décrit pour des cellules dont l'intégrité de la membrane est maintenue et qui conservent une certaine activité métabolique. Il est normal et attendu de retrouver, dans un échantillon, un mélange de microorganismes viables et non viables.

¹³ Cultivable (microorganisme) : pouvant être cultivé, c'est-à-dire, capable de se reproduire dans des conditions artificielles de laboratoire. Bien qu'une portion des microorganismes retrouvés dans un échantillon environnemental puisse être viable, il est connu qu'une fraction (historiquement et généralement estimée à 1 %) de ceux-ci pourra réellement être cultivée au laboratoire. Les raisons sont multiples, par exemple l'état physiologique même des microorganismes ("viables mais non cultivables") ou encore la capacité de reproduire, au laboratoire, les conditions précises nécessaires à leur culture.

ddPCR¹⁴, ne fait pas de distinction entre les bactéries viables et non viables. Le délai d'analyse est normalement beaucoup plus court avec la méthode par ddPCR (48 à 72 heures) qu'avec la méthode par culture (jusqu'à 10 jours), ce qui peut être un avantage important si les résultats doivent être obtenus rapidement (p. ex. éclosion) ou si de nombreuses sources sont suspectées. Les méthodes analytiques suivantes peuvent être consultées : [MA-370 : Détection et identification des bactéries du genre *Legionella*](#) (Brassard *et al.*, 2015) et [MA-410 : Détection moléculaire et quantification absolue des bactéries du genre *Legionella* par ddPCR](#) (Lanoie *et al.*, 2022). À titre informatif, des valeurs seuils réglementaires pour *Legionella* existent au Québec pour les tours de refroidissement à l'eau (*Code de sécurité*, RLRQ, c. B-1.1, r. 3, art. 401-419). En France, des seuils similaires sont également établis pour les eaux chaudes sanitaires (INRS, 2021).

2.9.3.3 Endotoxines

Les endotoxines sont des composantes de la paroi des bactéries à Gram négatif et des cyanobactéries, dont l'exposition par inhalation peut causer des symptômes respiratoires et systémiques (fièvre, malaises), en plus de pathologies comme l'asthme, le syndrome toxique des poussières organiques et la pneumopathie d'hypersensibilité.

Il est possible d'évaluer la concentration d'endotoxines dans l'air ou dans des échantillons liquides (p. ex. fluides de coupe). La méthode de prélèvement dans l'air s'effectue au moyen d'une cassette fermée 3 pièces munie d'un filtre en fibre de verre, qui peut être utilisée pour de l'échantillonnage personnel ou en poste fixe (figure 43). Le débit du train de prélèvement est ajusté à 2 L/min à l'aide d'un débitmètre. Il sera vérifié à la fin du prélèvement afin de permettre le calcul du débit moyen nécessaire à l'analyse quantitative. En général, le prélèvement s'effectue sur une période de 4 heures. Le prélèvement de procédés liquides s'effectue dans un tube certifié sans endotoxine et sera généralement employé pour rechercher une source potentielle d'exposition.

Au laboratoire, le dosage des endotoxines est effectué en employant la méthode du LAL (lysate d'amœbocyte du limule) couplée à une détection chromogénique de type cinétique à l'aide d'un spectrophotomètre. Les résultats sont rapportés en UE/m³ (unité d'endotoxines par mètre cube) pour les prélèvements d'air et en UE/mL pour les matrices liquides. Pour plus d'informations, la méthode analytique suivie au laboratoire est [MA-332 : Analyse des endotoxines](#) (Marchand *et al.*, 2009a).

¹⁴ ddPCR : « *droplet digital polymerase chain reaction* » ou réaction de polymérisation en chaîne digitale en gouttelettes.

Figure 43. Train de prélèvement pour les endotoxines



2.9.4 Les moisissures

2.9.4.1 Moisissures cultivables

Outre les moisissures cultivables totales, il peut être pertinent, dans certains cas, de rechercher des moisissures spécifiques, comme *Aspergillus fumigatus*, l'espèce la plus souvent en cause dans les cas d'aspergilloses et pouvant provoquer différents symptômes respiratoires tels que l'asthme, la sinusite allergique, la toux, etc.

Tout comme pour les bactéries cultivables, deux méthodes de prélèvement sont disponibles pour l'analyse des moisissures cultivables dans l'air. Pour les concentrations faibles à modérées de moisissures (jusqu'à 10^4 UFC/m³ d'air), il est recommandé d'utiliser la méthode d'impaction sur gélose avec l'impacteur Andersen 1 étage et pour les concentrations élevées ($\geq 10^4$ UFC/m³ d'air), le prélèvement d'air sur membrane filtrante de polycarbonate est plus approprié. L'impaction des microorganismes s'effectue sur une boîte de Pétri contenant un milieu nutritif gélosé extrait de malt (« malt extract agar » ou « MEA »). Le prélèvement d'air sur membrane filtrante de polycarbonate (contenue dans une cassette fermée 3 pièces) est quant à lui effectué à l'aide d'une pompe à haut débit ajustée à 2 L/min pendant 20 minutes. Au besoin, la section 2.9.3.1 de ce présent document contient plus de détails.

De la même manière que pour les bactéries cultivables, occasionnellement, des prélèvements à l'aide d'écouvillons ou d'éponges peuvent être faits sur des surfaces pour en analyser la flore mycologique viable et cultivable. Il peut aussi être pertinent de déterminer la charge de moisissures dans une matrice liquide ou solide, afin de valider une source suspectée. La section 2.9.3.1 contient des détails additionnels.

Au laboratoire, deux types d'analyse sont disponibles pour l'évaluation des moisissures cultivables. La première consiste à effectuer un dénombrement au stéréomicroscope des colonies formées sur gélose à la suite de l'incubation, le résultat étant exprimé en UFC.

En fonction du type d'échantillon initial, le résultat brut est ensuite converti pour exprimer une concentration de moisissures cultivables dans l'air (UFC/m³ d'air), dans un liquide (UFC/L) ou dans un solide (UFC/g). Dans un deuxième temps et si la situation le justifie, une identification taxonomique peut être faite. Pour ce faire, un nombre préétabli de colonies morphologiquement différentes retrouvées sur la gélose sont repiquées pour un isolement en culture pure. Les moisissures sont identifiées selon leurs caractéristiques macroscopiques et microscopiques, par spectrométrie de masse ou par séquençage Sanger. L'identification peut être faite au genre ou à l'espèce, selon les besoins. La méthode analytique suivie au laboratoire est [MA-340 : Identification de moisissures cultivables](#) (Marchand *et al.*, 2008c).

2.9.4.2 Dénombrement et caractérisation de spores de moisissures

Comme les risques à la santé d'une exposition aux moisissures peuvent être indépendants du caractère cultivable de celles-ci, il peut être pertinent de considérer une méthode d'analyse qui permet d'évaluer la flore mycologique totale dans certaines situations, notamment dans des cas d'investigation de qualité d'air intérieur en milieu non industriel. Il s'agit d'une méthode exploratoire rapide qui permet d'avoir une idée générale de la flore mycologique présente dans le milieu.

Le prélèvement s'effectue à l'aide d'une cassette (trappe à spores) (p. ex. Allergenco-D Posi-Track) contenant une lame de microscope sur laquelle s'impactent les particules prélevées. Une pompe à très haut débit est utilisée et le débit du train de prélèvement est ajusté à 15 L/min à l'aide d'un débitmètre (figure 44). Il sera vérifié à la fin du prélèvement afin de permettre le calcul du débit moyen nécessaire à l'analyse quantitative. En général, dans les endroits peu contaminés, le prélèvement s'effectue sur une période de 10 minutes. Cette période peut être réduite pour les milieux suspectés d'être plus contaminés. Cette analyse est peu recommandée pour les environnements poussiéreux. L'analyse est effectuée directement sur la lame, après montage et coloration, en utilisant un microscope à lumière transmise. Cette analyse est quantitative et une identification par groupe de spores est fournie. Les concentrations de spores totales sont donc rapportées, et regroupées par genre ou groupe de spores (p. ex. *Aspergillus/Penicillium*, basidiomycètes). Cette méthode ne fait pas de distinction entre les spores viables et non viables, et les concentrations rapportées sont souvent plus élevées que par des méthodes par culture. Un prélèvement de l'air extérieur (ou autre référence adéquate) est important pour ce type d'analyse, et sert de comparaison avec les prélèvements intérieurs. La consigne d'utilisation [I-MAT-026 : Échantillonnage des spores de moisissures par impaction sur cassette](#) (IRSST, 2023b) comporte plus de détails. Pour plus d'informations sur la méthode d'analyse suivie au laboratoire, il est possible de la consulter : [MA-367 : Caractérisation et dénombrement des spores de moisissures prélevées par impaction sur cassette](#) (Marchand *et al.*, 2008a).

Figure 44. Train de prélèvement pour les spores de moisissures



2.9.4.3 Les structures mycologiques

L'évaluation microscopique des structures mycologiques peut être pertinente lorsque des taches de croissance visible de moisissures sont suspectées et doivent être confirmées. Cette analyse peut s'effectuer à partir d'un prélèvement de surface sur lame autocollante ou d'une matrice solide. Les lames autocollantes (figure 45) sont utilisées pour effectuer des prélèvements sur des surfaces lisses et non friables. Après avoir retiré la pellicule protectrice, la partie autocollante de la lame est appliquée sur la tache suspecte. Il est important que le prélèvement conserve une certaine transparence puisqu'il sera analysé directement au microscope. Autrement, un morceau de matériau ou toute autre matrice solide montrant des taches suspectes de croissance fongique peut être prélevé et envoyé au laboratoire dans un contenant approprié ou un sac de plastique refermable propre. Les structures mycologiques sont observées au microscope à lumière transmise, soit directement à partir de la lame autocollante, soit à partir d'une aliquote d'extrait de matrice solide placée entre lame et lamelle. Un résultat semi-quantitatif est rapporté (nég., +, ++, +++) en fonction de la densité de structures observées sur la lame et, lorsque possible, une identification des types de structures ou genres de moisissures observés est fournie. La consigne d'utilisation [I-MAT-022: Prélèvement sur lame autocollante \(structures mycologiques\)](#) (IRSST, 2024b) détaille davantage les étapes à suivre pour ce type de prélèvement. Pour plus d'informations, la méthode d'analyse [MA-360 : Évaluation de structures mycologiques par examen microscopique](#) (Marchand *et al.*, 2008b) peut être consultée.

Figure 45. Lame autocollante pour le prélèvement des structures mycologiques



2.9.5 Considérations particulières : témoin et délais de conservation

Pour tous les prélèvements d'air, un témoin doit être associé à chaque série de prélèvements effectués une même journée pour un même milieu de travail. Les consignes d'utilisation respectives contiennent les précisions concernant les témoins et références si nécessaires. En risques biologiques, un témoin consiste en un échantillon qui n'a pas été prélevé, mais qui a été soumis aux mêmes conditions environnementales et aux mêmes conditions de transport que les autres échantillons. Une référence est un échantillon prélevé à l'extérieur (ou si ce n'est pas possible, à l'intérieur, dans un lieu où la concentration en l'agent ciblé est estimée faible) et qui sert de comparaison afin d'aider à l'interprétation des résultats des autres prélèvements.

Pour toute demande d'analyse concernant les endotoxines ou des méthodes cultivables (dénombrement/identification de bactéries ou moisissures, *Legionella* cultivable), les échantillons doivent être reçus au laboratoire dans un délai de 48 heures suivant le prélèvement. Pour une demande d'analyse de *Legionella* par ddPCR, un délai précis à respecter n'est pas spécifié, mais il est de la responsabilité du demandeur de faire en sorte que le délai entre le prélèvement et la réception aux laboratoires de l'IRSST soit le plus court possible. Dans tous les cas, il faut s'assurer que les échantillons soient conservés entre 6 °C et 20 °C durant le transport et prendre les précautions nécessaires pour éviter que les échantillons subissent des températures extrêmes (gel ou chaleur). En période estivale, lors des grandes chaleurs, l'utilisation d'un bloc réfrigérant est recommandée, mais celui-ci ne doit pas être en contact direct avec les échantillons.

Pour les analyses de dénombrement et caractérisation de spores et de structures mycologiques, il n'y a pas de délai particulier à respecter et les échantillons peuvent être transportés à température ambiante. Des précautions doivent toutefois être prises pour éviter le gel des échantillons.

2.10 Description des trains de prélèvement

L'évaluation d'un contaminant de l'air nécessite un système permettant de recueillir un volume donné d'air sur un milieu collecteur. Le train de prélèvement comprend généralement les composantes suivantes : une pompe, un milieu collecteur (un tube ou un ensemble cassette-filtre), cyclone, etc. L'ajustement du débit d'un train de prélèvement nécessite l'utilisation d'un débitmètre et dépendra de la pompe et des conditions ambiantes au site de prélèvement et au site d'étalonnage. Les sections suivantes décrivent les débitmètres et les pompes les plus utilisées en hygiène du travail et discutent des effets de la température et de la pression sur leur mécanisme et étalonnage.

2.10.1 Pompes de prélèvement

La pompe de prélèvement est le dispositif le plus couramment utilisé en hygiène du travail pour prélever un volume connu d'air dans le but de déterminer la concentration de contaminants présents. Les plus utilisées sont les pompes; à haut, à bas et à très haut débit.

2.10.1.1 Pompes personnelles

Les pompes personnelles de prélèvement se classent en deux catégories : les pompes à bas débit qui fonctionnent habituellement dans la plage de 50 à 500 mL/min et les pompes à haut débit qui opèrent de 1,0 à 5,0 L/min. Elles disposent d'une autonomie de fonctionnement grâce à des batteries rechargeables assurant un prélèvement d'au moins 8 heures consécutives.

L'utilisation d'une pompe suppose des vérifications périodiques du débit afin de s'assurer de sa stabilité. Normalement, les mécanismes de contrôle du débit sur certaines pompes sont conçus afin de maintenir ce débit constant dans le cas du haut débit ou de maintenir la pression constante dans le cas de bas débit, malgré la chute de tension de la batterie et le colmatage normal du milieu collecteur. Le débit initial et le débit final correspondent respectivement à la moyenne de trois ou plusieurs lectures consécutives observées sur le débitmètre utilisé. Les vérifications du débit, généralement au début et à la fin du prélèvement, permettent de déterminer le débit moyen et, le cas échéant, de détecter un mauvais fonctionnement de la pompe. L'écart entre les débits mesurés avant et après (ou en cours de prélèvement) doit être inférieur à 5 % (*Ambient air monitoring reference and equivalent methods*, 40 C.F.R. § 53 (2025); Andrews et O'Connor, 2020, chapitre SA; Mine Safety and Health Administration [MSHA], 2020; OSHA, 2023; ISO, 2022).

Actuellement, la courbe d'étalonnage complète de certaines pompes peut se faire de façon automatique en les reliant à un débitmètre à piston ou à un orifice critique. Cette fonctionnalité ajuste la pompe et il est recommandé de l'effectuer au moins une fois par année.

Les pompes récentes offrent aussi la possibilité de conserver l'historique d'utilisation.

Températures d'utilisation de pompes

Les manufacturiers mentionnent généralement une gamme de températures pour lesquelles les pompes peuvent être utilisées en toute confiance. Des intervalles de températures sont listés au tableau 12 :

Tableau 12. Pompes d'échantillonnage disponibles à l'IRSST et leurs températures d'utilisation¹⁵

Type de pompe	Modèle (manufacturier)	Températures d'utilisation
Bas débit	Pocket pump 220-1000TC (SKC)	0 °C à 45 °C
	LFS – 113 (Sensidyne)	-20 °C à 45 °C
Haut débit	Airchek 220-3000 (SKC)	0 °C à 40 °C
	Airchek connect 220-4000 (SKC)	0 °C à 40 °C
	Airchek TOUCH 220-5000TC (SKC)	0 °C à 40 °C
	GilAir (ou GilAir 3) (Sensidyne)	0 °C à 40 °C
	GilAir Plus (Sensidyne)	0 °C à 45 °C
	GilAir 5 (Sensidyne)	0 °C à 40 °C
	PCXR (SKC)	0 °C à 40 °C
Très haut débit	Aircon 2 (Sensidyne)	-20 °C à 45 °C
	Leland Legacy (SKC)	0 °C à 40 °C

2.10.1.2 Pompes à très haut débit

Les pompes à très haut débit sont normalement utilisées pour faire des prélèvements en ambiance générale lorsque l'on désire recueillir une plus grande quantité de contaminants à des fins d'analyse ou lorsqu'un volume de prélèvement important est nécessaire pour recueillir suffisamment de contaminants dans un contexte où les concentrations dans l'air sont très faibles. Par ailleurs, sur le marché existent des pompes à très haut débit (jusqu'à 15 L/min) qui, grâce à leur petite taille, peuvent être utilisées aussi comme pompes personnelles.

Ce type de pompe à très haut débit est utilisé dans le cas de certains contaminants comme l'amiante. Les impacteurs de microorganismes utilisent aussi des pompes capables de fonctionner à un grand débit.

¹⁵ La liste à jour des instruments disponibles se trouve sur : <https://www.irsst.qc.ca/laboratoires/instruments-materiel-echantillonnage>

2.10.2. Débitmètres et mesure des débits

La détermination précise du débit est un élément clé des prélèvements en hygiène du travail. Le débit d'une pompe se mesure à l'aide d'un débitmètre. Il existe plusieurs types de débitmètres qui utilisent différents principes d'opération. Leur précision, variable d'un modèle à l'autre, est inscrite dans les spécifications du fabricant. Les modèles les plus courants sont les suivants :

- Débitmètre à bulles (burette conventionnelle ou version électronique), par exemple Gilibrator de la compagnie Sensidyne;
- Débitmètre à piston, par exemple Defender de la compagnie Mesa Labs;
- Débitmètre à orifice critique, par exemple Calchek de la compagnie SKC;
- Débitmètre de masse, par exemple 4146 de la compagnie TSI®;
- Rotamètre, par exemple Allegro.

Le débit circulant dans un débitmètre n'est pas toujours celui affiché. Pour connaître le débit réel circulant dans un débitmètre que l'on utilise dans des conditions différentes de son étalonnage, il est nécessaire de connaître :

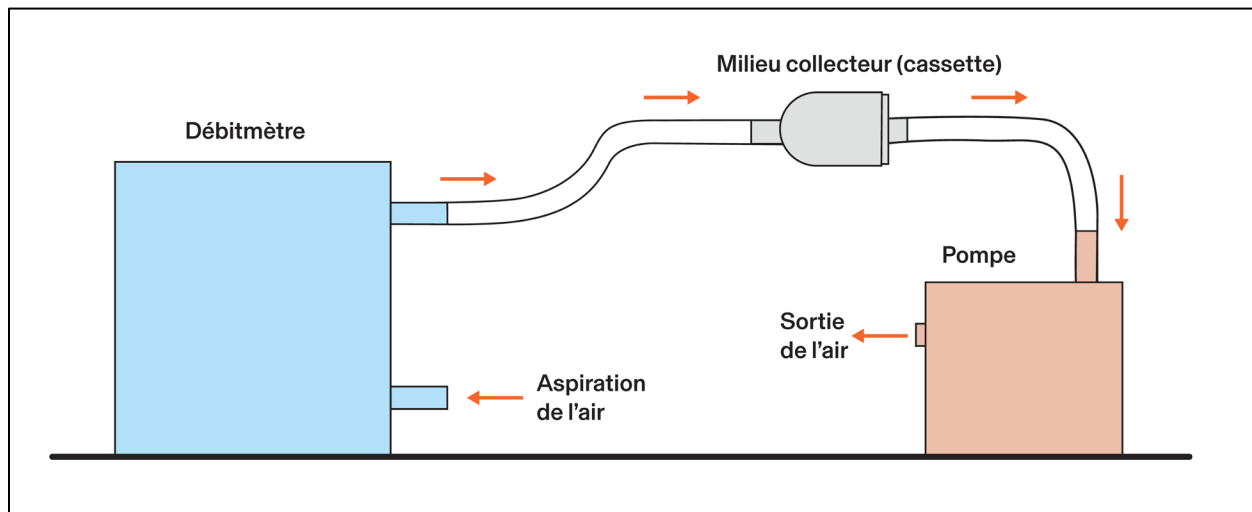
- La température et la pression atmosphériques ambiantes lors de la lecture du débit;
- Les conditions d'étalonnage du débitmètre;
- Le principe de fonctionnement du débitmètre.

Les rotamètres doivent être étalonnés par rapport aux conditions standards (étalonnage standard) et ils sont influencés par les changements de pression et de température. Une courbe d'étalonnage fournie par le fournisseur accompagne chaque rotamètre. Il est essentiel de s'y référer afin d'ajuster convenablement la pompe au débit désiré. La courbe d'étalonnage est établie à une pression et une température (variable selon la source) de référence. Le débit doit être corrigé en fonction de la pression et de la température du site de prélèvement selon l'équation des gaz parfaits.

Les débitmètres plus récents (TSI®, Sensidyne et Mesa Labs) possèdent des capteurs de température et de pression pour compenser les changements des conditions ambiantes. Ils peuvent faire des mesures de débit volumétriques ou de débit standard.

Les éléments rencontrés dans un train de prélèvement sont préférablement placés en ligne dans cet ordre : pompe, milieu collecteur et débitmètre (figure 46).

Figure 46. Ajustement du débit d'un train d'échantillonnage

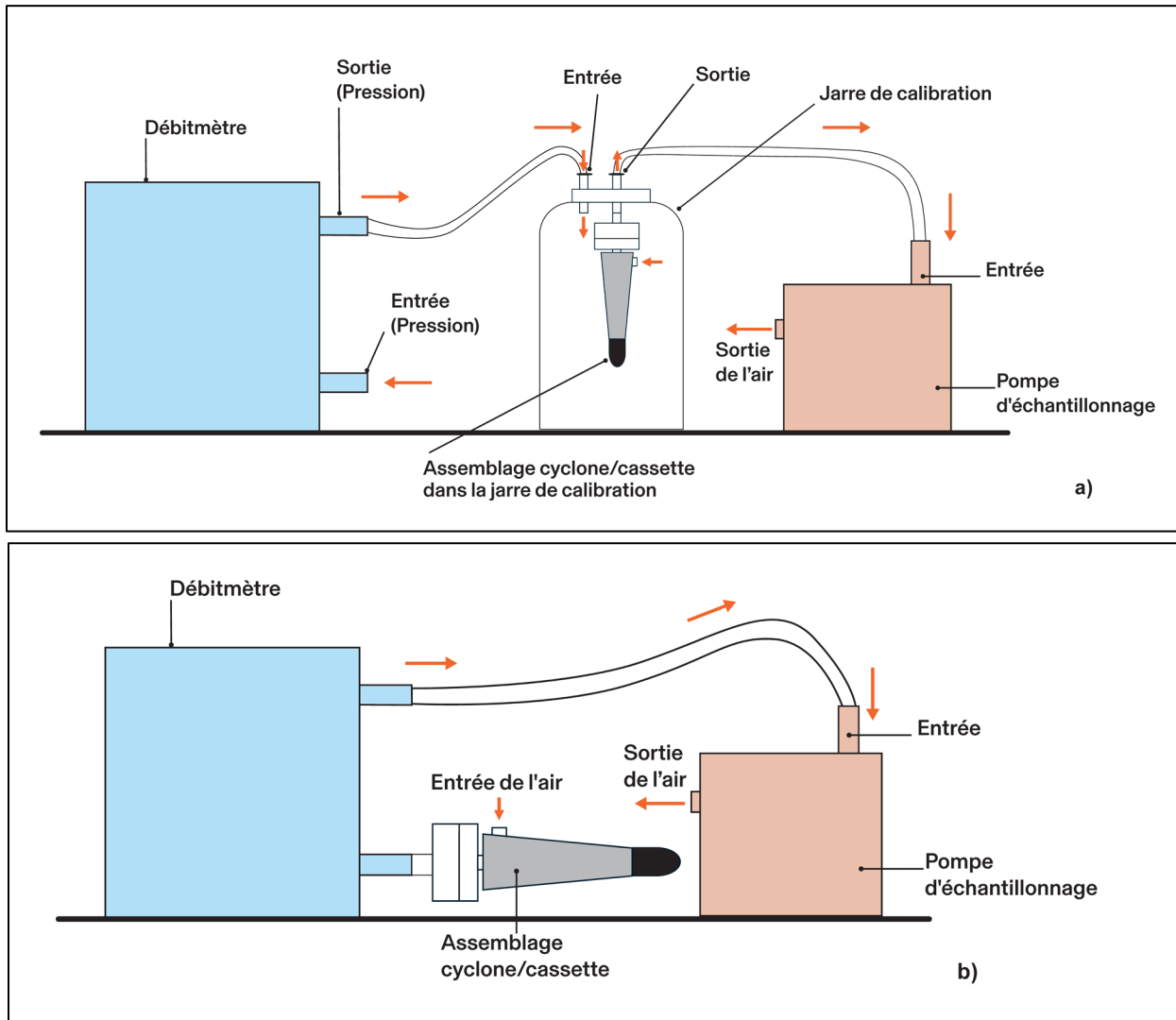


Idéalement, le débitmètre ne doit pas perturber le débit à mesurer. Dans certains cas, il est impossible de relier un élément, tel un cyclone (p. ex. GS3 ou Dorr-Oliver), directement à un débitmètre. Dans le cas où la liaison directe est impossible, on peut placer l'élément dans un réceptacle étanche (ex. jarre) possédant deux ou trois ports de connexion. Si le débitmètre est à bulle et n'occasionne aucune perte de charge, seuls deux ports de connexions sont nécessaires : un pour y brancher le débitmètre et l'autre pour y brancher la pompe. (figure 47 a)).

Cependant, cette méthode d'ajustement du débit d'un train de prélèvement avec un cyclone dans une jarre n'est pas recommandée par l'OSHA en raison de problèmes techniques comme les fuites au niveau du couvercle de la jarre ou de conflit avec les recommandations des fabricants de débitmètres (Mesa Labs, 2018). Pour cette raison, la méthode d'ajustement sans jarre (figure 47 b)) a été recommandée par l'OSHA pour l'ajustement de débit des pompes sur le terrain. Cette méthode indique que l'ordre des éléments du train d'échantillonnage peuvent être placés de la façon suivante : cyclone/débitmètre ou manomètre/pompe. Cette méthode est publiée sur le site du CDC (NIOSH, 1998). Elle permet d'éliminer les fuites et les adaptateurs utilisés pour la calibration. Aussi, la méthode fournit un ajustement du débit plus précis (Leshan, 2021).

Il existe maintenant des cyclones (p.ex. GK2.69 de la compagnie Mesa Labs) que l'on peut brancher directement au débitmètre, ce qui élimine l'utilisation de la méthode sans jarre.

Figure 47. Ajustement du débit d'un train d'échantillonnage avec un cyclone a) avec jarre (méthode non recommandée) et b) sans jarre



Températures d'utilisation des débitmètres

Les fabricants des débitmètres mentionnent généralement une gamme de températures pour lesquelles les débitmètres peuvent être utilisés. Des intervalles de températures sont listés au tableau 13.

Tableau 13. Débitmètres disponibles à l'IRSST et leurs débits et températures d'utilisation¹⁶

Type de débitmètre	Modèle (manufacturier)	Débit (L/min)	Températures d'utilisation (°C)
Bas débit	Defender bas débit 510 L (Mesa Labs)	0,005 – 0,5	0 à 50
Haut débit	Defender haut débit 510 M (Mesa Labs)	0,05 – 5	0 à 50
Très haut débit	Defender très haut débit 510 H (Mesa Labs)	0,3 – 30	0 à 50
	4146 (TSI®)	0,01 – 20	0 à 50
	4043 (TSI®)	0 – 200	0 à 50
	Rotamètre (Allegro)	0 – 226,5	-30 à 120

Pour les rotamètres, les débitmètres à bulles et les débitmètres à fil chaud (qui ne possèdent ni capteurs de température ni de pression) le débit doit être corrigé en fonction de la pression et de la température du site de prélèvement selon l'équation des gaz parfaits comme expliqué à la section qui suit.

2.10.2.1 Corrections pour les variations de température et/ou de pression

Selon la situation, des corrections doivent être appliquées pour tenir compte des variations de volume en fonction de la température et de la pression ambiantes. En effet, un volume ou débit évalué dans certaines conditions de température et de pression peut être rapporté dans d'autres conditions de température et de pression. Ces corrections sont basées sur la conservation du nombre de molécules dans le volume d'air prélevé :

Équation 16. Équation des gaz parfaits

$$\frac{P_1 \times V_1}{T_1} = \frac{P_2 \times V_2}{T_2}$$

P = Pression (Pa)

V = Volume (m³)

T = Température (°K)

1 = Conditions au site # 1

2 = Conditions au site # 2

¹⁶ La liste à jour des instruments disponibles se trouve sur :

<https://www.irsst.qc.ca/laboratoires/instruments-materiel-echantillonnage>

Pour la correction des débits, la même équation s'applique en substituant les volumes par les débits, puisque le débit est un volume par unité de temps ($Q = V/t$) :

Équation 17. Équation des gaz parfaits avec substitution du volume par le débit

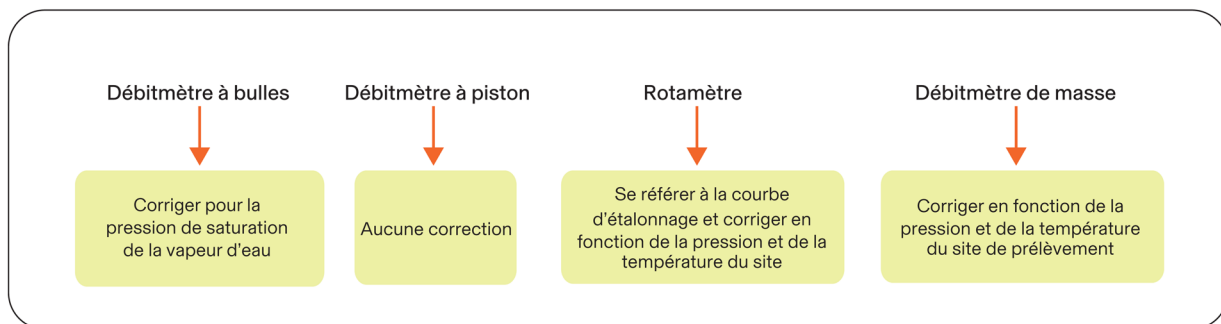
$$Q_1 = Q_2 \times \left(\frac{P_2}{T_2}\right) \times \left(\frac{T_1}{P_1}\right)$$

$Q = \text{Débit (m}^3/\text{s)}$
 $P = \text{Pression (Pa)}$
 $T = \text{Température (}^\circ\text{K)}$
 $1 = \text{Conditions au site \# 1}$
 $2 = \text{Conditions au site \# 2}$

2.10.3 Ajustement du débit sur le site prélèvement

Les bonnes pratiques en hygiène du travail recommandent d'ajuster le débit des pompes sur le site de prélèvement. Cela permet de ne pas tenir compte des conditions environnementales de température et de pression atmosphérique qui affectent directement le débit de prélèvement tel que recommandé par NIOSH et OSHA (Andrews et O'Connor, 2020, chapitre SA; OSHA, 2023). La synthèse du processus de correction est illustrée à la figure 48.

Figure 48. Synthèse du processus de correction de débit sur le site d'échantillonnage



2.10.4 Ajustement du débit hors site de prélèvement

Lors d'un prélèvement en hygiène du travail réalisé dans des conditions de pression atmosphérique extrême comme dans une mine profonde ou à haute altitude, l'utilisation d'une pompe de prélèvement munie de capteurs de température et de pression s'avère essentiel. Les fabricants¹⁷ proposent des pompes qui ont la capacité de compenser les changements de température et de pression atmosphérique afin de maintenir un débit précis et constant. Cette fonctionnalité permet de réaliser l'ajustement de débit hors site de prélèvement, par exemple l'étalonnage de la pompe au niveau du sol, et de réaliser le prélèvement dans une mine profonde ou à haute altitude sans que l'utilisateur doive recourir à des calculs théoriques et à d'autres instruments comme des thermomètres et baromètres. La pompe corrigera de façon automatique le débit.

¹⁷ Voici un exemple : https://sensidyne.com/wp-content/uploads/2024/03/GilAir-Plus_Barometric-Altitude-Sampling.pdf

3. ÉCHANTILLONNAGE ET ANALYSE DES CONTAMINANTS

Introduction

La section qui suit présente les paramètres de prélèvement et d'analyse utilisés pour l'évaluation des expositions professionnelles. Les VEA dont il est question sont énumérées et définies dans le RSST¹⁸. Des informations sur les principes d'utilisation des valeurs de référence sont traitées à la Partie 1 de ce document et dans plusieurs publications dont le recueil intitulé *2025 Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices* de l'ACGIH (2025).

3.1 Considérations particulières pour le laboratoire d'analyse

La qualité d'un résultat d'analyse est tributaire du processus complet d'évaluation, de l'établissement de la stratégie de prélèvement, du prélèvement lui-même et de l'analyse en laboratoire. Dans ce contexte, il est important de confier l'analyse des prélèvements à un laboratoire reconnu. La sélection d'un laboratoire d'analyse en hygiène du travail devrait se faire en fonction de son expertise, de ses accréditations et de son système de gestion de la qualité. Les laboratoires de l'IRSST sont quant à eux titulaires de plusieurs accréditations et certifications qui garantissent à ses partenaires et clients, la qualité, l'intégrité et la reconnaissance de ses travaux.

Les laboratoires d'analyses de l'IRSST sont accrédités par l'American Industrial Hygiene Association – Laboratory Accreditation Programs¹⁹ (AIHA-LAP) et par New York State Department of Health, Wadsworth Center – Environmental Laboratory Approval Program (NYSDOH-ELAP)²⁰. Pour maintenir cette accréditation, ils se conforment à la norme internationale ISO/IEC 17025 : 2017 (ISO, 2017) et aux exigences de l'AIHA-LAP et de NYSDOH-ELAP pour apporter la preuve de la gestion d'un système qualité, de l'existence d'une compétence technique adéquate au sein de l'Institut et de la validité technique des résultats produits. Ce système qualité est supporté par un ensemble de documents tels que des procédures et des instructions de travail qui reflètent les activités effectuées dans les laboratoires. La mise en œuvre des exigences de la documentation qualité implique que des enregistrements qualité et techniques soient conservés pour permettre la traçabilité²¹ des mesures et des analyses. Les modalités du système qualité sont établies

¹⁸ <https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/document/rc/S-2.1,%20r.%2013%20/>

¹⁹ https://online.aihaaccreditedlabs.org/lapssa/lapaccredcert_pdf.generate_cust_pdf?p_cust_id=LAP-101913

²⁰ <https://www.irsst.qc.ca/Portals/0/upload/3-laboratoires/Certificat-ELAP.pdf?ver=2022-04-21-093658-467>

²¹ La traçabilité se traduit par le suivi du chemin emprunté par un prélèvement, de sa réception jusqu'à la production du rapport d'analyse.

dans un manuel qualité et s'appliquent aux analyses associées aux différentes portées d'accréditation.

3.2 Fiches des substances du *Guide d'échantillonnage des contaminants de l'air en milieu de travail*

L'information est disponible sur le site web de l'IRSST à partir de la page <https://www.irsst.qc.ca/laboratoires/analyses/contaminants-air>.

Depuis la version 8.2 du présent document, les tableaux des substances du RSST et des substances analysées par l'IRSST ont été retirés de façon à simplifier leurs mises à jour.

Nous retrouvons dans cette page une liste de plus de 775 substances. Cette liste comprend l'ensemble des substances visées par le RSST ainsi que celles qui, bien que non réglementées, font partie du service analytique de l'IRSST. En lien avec les exigences mentionnées à l'article 44 du RSST, l'IRSST a attribué une méthode de mesure pour la majorité des substances figurant dans cette liste, dont un grand nombre repose sur des méthodes développées par l'IRSST. Quant aux autres substances, des méthodes mises au point par des organismes de référence sont recommandées. Les organismes de référence généralement consultés sont NIOSH et OSHA. D'autres organismes comme INRS, HSE (Health and Safety Executive) et ISO sont également cités. De plus, pour chacune des substances n'ayant pas de méthode IRSST, la Direction des laboratoires (DL) répertorie de l'information supplémentaire sur des méthodes qui y sont associées. Cette information peut être communiquée à tout intervenant en hygiène qui en fait la demande.

Il est important de souligner que les données de validation (p. ex. VMR ou précision analytique) associées aux méthodes qui ne sont pas effectuées à l'IRSST ne sont pas mentionnées dans les fiches des substances. Ces données de validation doivent provenir d'essais réalisés par le laboratoire effectuant l'analyse dans ses installations, et peuvent différer selon les laboratoires. L'intervenant doit donc s'assurer que celles-ci conviennent à sa stratégie d'évaluation. L'intervenant doit contacter directement le laboratoire utilisé dans le cas où la Direction des laboratoires de l'IRSST ne prend pas en charge la gestion des échantillons soumis.

Figure 49. Capture d'écran de la page web d'une fiche de substance

EN FR Contactez-nous Salle de presse Emplois

irst Recherche en SST Publications et outils Services de laboratoires Fonds et partenariats de recherche L'Institut

Services de laboratoires > Services d'analyses et d'essais > Contaminants de l'air - Fiches des substances > Acénaphthène

Acénaphthène

Nom anglais dans le règlement (si applicable) : Acenaphthene
CAS : 83-32-9

Substance non réglementée

CNESST - Service du répertoire toxicologique
Consulter la fiche REPTOX : Acénaphthène

Analyse :
Acénaphthène

Méthode - IRST - 225-2

Protocole d'échantillonnage

Dispositif :

Matériel requis :

#IRST	Description
2187	Tube Orbo 42L 100/50 mg

Paramètres :

Débit : 2 L/min
Volume VEMP : 900 L
Volume VECD : -

Remarques : Le train d'échantillonnage est constitué d'une cassette qui captera les HAP sous forme particulaire qui est suivi d'un tube qui adsorbait les HAP sous forme vapeur. Ce tube est relié directement à la pompe à l'aide d'un tube Tygon. Les échantillons doivent être conservés au congélateur et à l'abri de la lumière après l'échantillonnage. Les tubes et les filtres doivent être expédiés ensemble et leur correspondance doit être indiquée. 21 HAP sont déterminés simultanément. Voir les info-labor 2006-14 et 2014-02.

Protocole d'analyse +
Références bibliographiques +

Acénaphthène

Méthode - IRST - 225-2

Protocole d'échantillonnage

Dispositif :

Matériel requis :

#IRST	Description
911	Filtre FV 37mm 0,8µm

Paramètres :

Débit : 2 L/min
Volume VEMP : 900 L
Volume VECD : -

Remarques : Le train d'échantillonnage est constitué d'une cassette qui captera les HAP sous forme particulaire qui est suivi d'un tube qui adsorbait les HAP sous forme vapeur. Ce tube est relié directement à la pompe à l'aide d'un tube Tygon. Les échantillons doivent être conservés au congélateur et à l'abri de la lumière après l'échantillonnage. Les tubes et les filtres doivent être expédiés ensemble et leur correspondance doit être indiquée. 21 HAP sont déterminés simultanément. Voir les info-labor 2006-14 et 2014-02.

Protocole d'analyse +
Références bibliographiques +

3.3 Description des acronymes et de certains éléments des fiches des substances

Nom RSST

Dans le haut d'une fiche, on retrouve le nom de la substance tel que formulé dans le RSST en français, et en anglais si présent.

CAS

Il s'agit du numéro CAS (*Chemical Abstract Service Registry Number*) de la substance chimique. Le numéro CAS permet d'identifier facilement les substances chimiques qui parfois ont de nombreux synonymes. Il est à noter que pour certaines familles de substances, l'ensemble des CAS ne sont pas inscrits (p. ex. Cadmium, élémentaire et

composés). D'autres substances, comme les poussières de farine, n'ont tout simplement pas de numéro CAS.

Substance réglementée ou non réglementée

Sous le nom de la substance et du CAS sont présentés les principaux éléments mentionnés à l'Annexe I du RSST (p. ex. la VEA et les notations, explicités ci-après). La mention « Substance non réglementée » est inscrite si la substance n'est pas mentionnée dans la version du RSST en vigueur.

Figure 50. Capture d'écran d'une fiche de substance non réglementée disponible sur le site Web de l'IRSST

The screenshot shows the IRSST website interface. At the top left is the IRSST logo. To the right are navigation links: 'Recherche en SST', 'Publications et outils', 'Services de laboratoires' (highlighted in red), 'Fonds et partenariats de recherche', and 'L'Institut'. Below the navigation is a breadcrumb trail: 'Services de laboratoires > Services d'analyses et d'essais > Contaminants de l'air : Fiches des substances > Anthracène'. The main heading is 'Anthracène'. Below it, a light orange box contains the text: 'Nom anglais dans le règlement (si applicable) : Anthracene' and 'CAS : 120-12-7'. At the bottom of the page, a light pink box contains the text: 'Substance non réglementée'.

VEMP

Les chiffres dans cette ligne correspondent à la valeur d'exposition moyenne pondérée (VEMP) telle que définie dans le RSST.

VECD

Les chiffres dans cette ligne correspondent à la valeur d'exposition de courte durée (VECD) telle que définie dans le RSST.

Valeur plafond

Les chiffres dans cette ligne correspondent à la valeur plafond (P) telle que définie dans le RSST.

ppm

Unité de mesure : partie par million (parties de gaz ou de vapeur par million de parties d'air contaminé par volume mesuré à 25 °C et 101,3 kPa).

mg/m³

Unité de mesure : milligramme par mètre cube (milligramme de substance par mètre cube d'air).

Certaines substances sont exprimées uniquement en ppm dans le RSST. Pour ces substances, à titre informatif, l'IRSST a effectué le calcul de conversion pour exprimer ces valeurs de VEMP, VECD et valeur plafond en mg/m³. Toutefois, il est impératif de se référer aux valeurs exprimées dans le RSST puisque ce sont celles qui font force de loi.

f/cc

Unité de mesure : fibre par centimètre cube (nombre de fibre par centimètre cube d'air).

Notes

On retrouve sous cette colonne certaines notations et remarques inscrites dans l'Annexe I du RSST. Des explications supplémentaires au sujet de ces remarques sont présentes dans la section *Notes et définitions* de l'Annexe I du RSST.

- Note 1 : La norme correspond à la poussière ne contenant pas d'amiante et dont le pourcentage de silice cristalline est inférieur à 1 %;
- Note 2a : Valeurs d'exposition admissibles d'amiante en nombre de fibres respirables par cm³;
- Note 2b : Concentration admissible de recirculation de poussières respirables d'amiante : 0,1 mg/m³;
- Note 3 : Dans les cas où l'utilisation de ces produits est permise;
- Note 4 : Valeurs d'exposition admissibles en nombre de fibres respirables par cm³;
- Pr : Particules de la fraction respirable de l'aérosol;
- Pi : Particules de la fraction inhalable de l'aérosol;
- IFV : Fraction inhalable des particules et phase vapeur;
- Pthor : Particules de la fraction thoracique de l'aérosol;
- Pt : Particules totales.

Case informative

Sous la section des valeurs d'exposition admissibles se trouve un ensemble de cases mentionnant des notes présentes dans l'Annexe I du RSST. Des explications supplémentaires au sujet de ces remarques sont présentes dans la section *Notes et définitions* de l'Annexe I du RSST.

- **Cancérogénicité** : Les notations cancérogènes (C1, C2 et C3) telles que définies dans le RSST apparaissent dans cette case;
- **Sensibilisant** : Les notations S (sensibilisant) telles que définies dans le RSST apparaissent dans cette case : S(D) (la substance peut provoquer une sensibilisation de la peau) et S(R) (substance peut provoquer une sensibilisation des voies respiratoires);
- **Asphyxiant simple** : Un crochet est visible dans cette case si la substance a la notation asphyxiant simple dans le RSST;
- **Percutané (Pc)** : Un crochet est visible dans cette case si la substance a la notation Pc dans le RSST;
- **Usage prohibé** : Un crochet est visible dans cette case si la substance a la notation usage prohibé dans le RSST;
- **Recirculation prohibée (RP)** : Un crochet est visible dans cette case si la substance a la notation RP dans le RSST;
- **Exposition minimum (EM)** : Un crochet est visible dans cette case si c'est une substance dont l'exposition doit être réduite au minimum (EM) selon le RSST;
- **Risque d'explosion (EX)** : Un crochet est visible dans cette case si la substance à la notation EX dans le RSST;
- **Ototoxique (OTO)** : Un crochet est visible dans cette case si la substance a la notation OTO dans le RSST.

Ajustement de la VEMP en fonction d'horaires non conventionnels

Dans cette section, pour déterminer si un ajustement de la VEMP est nécessaire, on retrouve la catégorie d'ajustement (I, II, III, IV, selon les effets aigus, de courte ou de longue durée), ainsi que son type le cas échéant, lorsque l'horaire de travail est non-conventionnel (aucun ajustement, quotidien, hebdomadaire ou le plus sévère des deux).

Il est possible que la catégorie de certaines substances soit « indéterminée » en raison d'un ajout ou d'une modification récente au RSST qui nécessite une documentation scientifique supplémentaire. Cette section est mise à jour lorsque l'analyse de la documentation scientifique disponible est complétée.

Les informations pertinentes à l'ajustement des VEMP et les règles d'interprétation qui en découlent sont décrites dans le [Guide d'ajustement des valeurs d'exposition admissibles \(VEA\) pour les horaires de travail non conventionnels](#) (Drolet, 2015).

CNESST – Répertoire toxicologique

Dans cette section, on retrouve le lien hypertexte pour la substance mentionnée dans le Répertoire toxicologique de la CNESST s'il est disponible.

Section analyse

Dans cette section, on retrouve la ou les descriptions des méthodes attribuées ou recommandées pour le prélèvement des contaminants présents dans les fiches des substances.

- **Méthode**

Identification du numéro de la méthode d'analyse attribuée ou recommandée ainsi que l'identification de l'organisme de publication de la méthode d'analyse (p. ex. IRSST, OSHA, NIOSH).

Protocole d'échantillonnage

Information relative au prélèvement.

Dispositif (matériel requis)

Dans cette section, on retrouve une courte description du matériel de prélèvement. Le numéro d'inventaire « IRSST » du train de prélèvement est également inscrit.

- **Débit (L/min)**

Il s'agit du débit de prélèvement prescrit ou recommandé. Il est exprimé normalement en litre par minute.

Pour ce qui est des méthodes recourant au principe de la dosimétrie passive, la valeur indiquée doit être interprétée comme un taux d'échantillonnage pré-établi par le dispositif et non comme un débit (voir section 2.2.3.2). De l'information supplémentaire est présentée à la section .

- **Volumes VEMP/VECD (L)**

Il s'agit des volumes de prélèvement recommandés pour vérifier soit la VEMP, soit la VECD. Ils sont exprimés normalement en litre. De l'information supplémentaire est présentée à la section 3.4.

- **Remarque (section Protocole d'échantillonnage)**

On retrouve dans cette section toutes les informations pertinentes au sujet de l'échantillonnage.

Protocole d'analyse

Information relative à la méthode d'analyse.

Principe

On retrouve dans cette ligne la technique ou le principe analytique utilisé pour l'analyse du contaminant.

Incertitude analytique en % (CVa)

Ce paramètre donne le niveau de l'incertitude analytique pour la méthode en question. Il permettra à l'intervenant de calculer les LCI et LCS selon les équations retrouvées dans la partie 1 du présent guide.

L'incertitude analytique en vigueur lors de l'analyse par les laboratoires de l'IRSST est présente sur le rapport d'analyse final.

Dans la majorité des cas, pour les analyses effectuées par un autre laboratoire que l'IRSST, il est possible d'avoir l'incertitude analytique sur le rapport final. Cependant, ce résultat d'incertitude présent sur le rapport peut avoir été transformé mathématiquement et ne pas être adéquat pour le calcul des LCI et LCS selon les équations retrouvées dans la partie 1 du présent guide. Il est recommandé de vérifier comment l'incertitude analytique a été obtenue avant de l'utiliser pour le calcul des LCI et LCS.

Valeur minimale rapportée (VMR)

On retrouve dans cette colonne la valeur minimale rapportée telle que définie dans la méthode. Cette valeur est exprimée en masse (p. ex. en microgramme, μg) de substance par échantillon. Il est toutefois préférable dans certains cas de consulter la méthode d'analyse pour bien comprendre le sens de cette valeur.

Il est important de souligner que le traitement mathématique d'un résultat inférieur à la VMR (<VMR) doit être effectué par l'hygiéniste du travail qui exerce un jugement professionnel basé sur sa connaissance du milieu de travail, sur la variabilité intrinsèque de l'exposition et sur les techniques couramment utilisées pour estimer une concentration équivalente en mg/m^3 entre 0 et la VMR (ACGIH, 2025; Jahn *et al.*, 2015; Roberge *et al.*, 2021, p. 405-454).

La VMR en vigueur lors de l'analyse par les laboratoires de l'IRSST est présente sur le rapport d'analyse final.

Remarque (section Protocole d'analyse)

On retrouve dans cette section toutes les informations pertinentes au sujet de la méthode d'analyse.

Référence bibliographique

Référence bibliographique d'appui à la méthode. Dans la plupart des cas où l'analyse n'est pas implantée au laboratoire de l'IRSST, un numéro de méthode NIOSH, OSHA ou une référence est inscrit.

3.4 Paramètres de prélèvement et contraintes analytiques

Un débit est prescrit lorsqu'un sélecteur granulométrique est utilisé (p. ex. cyclone) ou lorsqu'un dispositif est conçu pour fonctionner à un débit donné (p. ex. échantillonneur IOM). Pour d'autres types de méthode, le débit peut être influencé par un paramètre ou une combinaison de paramètres tels que la volatilité de la substance, le domaine d'applicabilité de la méthode, la restriction au passage de l'air du milieu collecteur, etc.

Le volume de prélèvement, ou encore la durée du prélèvement pour un débit donné, sont déterminés de façon à obtenir un résultat comparable à une VEA. En règle générale, les méthodes sont validées pour être capable, à la VMR, de produire un résultat à au moins 10 % de la VEMP ou à au moins 50 % de la VECD lorsque le volume recommandé est prélevé. L'intervenant peut adapter la durée du prélèvement selon sa stratégie d'échantillonnage ou selon certaines contraintes, à la condition que cela soit compatible avec les performances établies de la méthode, sa capacité à produire un résultat pertinent à comparer à une VEA ou seuil d'action donné ainsi qu'avec son domaine d'applicabilité. Par exemple, il est possible pour la mesure de vapeurs organiques de diminuer le débit afin de prolonger la durée de l'échantillonnage. Pour plusieurs métaux, il est possible d'augmenter le volume d'échantillonnage afin de détecter des concentrations plus faibles dans l'air. Cependant, ces modifications doivent respecter la portée des méthodes dans leur ensemble. Ainsi, l'intervenant devrait contacter le laboratoire pour confirmer si une méthode peut être utilisée en dehors de ses paramètres de prélèvement recommandés.

Selon les méthodes d'analyse, plusieurs substances peuvent être analysées sur un seul média d'échantillonnage. Ainsi, plusieurs métaux ou plusieurs vapeurs organiques peuvent être analysés simultanément sur le même média à la condition de ne pas retrouver dans la section « Remarques » la mention « désorption spécifique » ou « analyse spécifique ».

3.5 Note au sujet des asphyxiants simples

Il est important d'apporter une nuance en ce qui concerne les méthodes pour les asphyxiants simples. Le règlement à cet égard prévoit que les concentrations de ces substances doivent être telles que la concentration d'oxygène dans l'air ne soit pas inférieure à 19,5 %. Les méthodes suggérées pour les asphyxiants simples sont donc reliées à la mesure de l'oxygène par un instrument à lecture directe (ILD).

Toutefois, dans un contexte de sécurité au travail, il faut souligner que le potentiel d'explosibilité de certains asphyxiants simples (p. ex. acétylène, hydrogène, méthane) représente un risque qui doit absolument être considéré. En effet, malgré le respect des dispositions relatives à l'oxygène, un milieu ambiant ayant une concentration d'un asphyxiant à un niveau plus grand que sa limite inférieure d'explosibilité (LIE) doit être considéré comme extrêmement dangereux. La mesure de la LIE doit se faire en même temps que la mesure de l'oxygène. Certaines substances inflammables n'ont pas la notation EX (substance inflammable) dans le RSST. Dans ce cas-ci, il est recommandé de vérifier la fiche signalétique de la substance ou le Répertoire toxicologique - CNESST²².

²² <https://reptox.cnesst.gouv.qc.ca/Pages/repertoire-toxicologique.aspx>

BIBLIOGRAPHIE

- Alex, S., Sovers, M. et O'Shaughnessy, P. T. (2021). Particle-phase collection efficiency of the OVS and IFV Pro personal pesticide samplers. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 18(12), 579-589.
<https://doi.org/10.1080/15459624.2021.1989443>
- Alonso, L., Andrea, E., Loison, P., Gautier, M., Simon, X., Durand-Brillaud, É., . . . Bouslama, M. (2025). Résultats de mesures d'endotoxines : exploitation et impact sur les valeurs guides existantes. *Hygiène et sécurité du travail*, (279), 63-69.
- Ambient air monitoring reference and equivalent methods*, 40 C.F.R. § 53 (2025).
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists. (2003). *2003 TLVs and BEIs: Based on the documentation of the threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices*. ACGIH.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists. (2025). *2025 TLVs and BEIs: Based on the documentation of the threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices*. ACGIH.
- Andrews, R. et O'connor, P. F. (édit.). (2020). *NIOSH manual of analytical methods (NMAM)* (5^e éd.). NIOSH. https://www.cdc.gov/niosh/nmam/pdf/NMAM_5thEd_EBook-508-final.pdf
- ASTM International. (2019). *Standard test method for analysis of organic compound vapors collected by the activated charcoal tube adsorption method*. Norme ASTM D3687-19.
- ASTM International. (2021). *Standard practice for collection of surface dust by micro-vacuum sampling for subsequent determination of metals and metalloids*. Norme ASTM D7144-21.
- ASTM International. (2024). *Standard practice for collection of settled dust samples using wipe sampling methods for subsequent determination of metals*. Norme ASTM D6966-18.
- Atkins, P., Paula, J. D. et Keeler, J. (2022). *Atkins' physical chemistry* (12^e éd.). Oxford University Press.
- Aubin, S. et Drolet, D. (2008). *Conversion des valeurs d'exposition admissibles (VEA)*. IRSST. <http://www.irsst.qc.ca/vea>
- Beauparlant, M., Pelletier, C., Ouellet, A. et Boisvert, J. (2015). *Caractérisation des fibres dans les poussières déposées ou dans les matériaux en vrac* (Méthode analytique n° MA-244). IRSST. <https://pharesst.irsst.qc.ca/environnementales/9/>
- Bernèche-D'Amours, A., Marchand, G., Lacombe, N. et Lanoie, D. (2021). *Dénombrement des bactéries et moisissures cultivables prélevées à l'aide d'un impacteur de marque Andersen* (Méthode analytique n° MA-264). IRSST. <https://pharesst.irsst.qc.ca/microbiologiques/13>

- Brassard, N., Marchand, G., Pépin, C. et Lacombe, N. (2015). *Détection et identification des bactéries du genre Legionella* (Méthode analytique n° MA-370). IRSST. <https://pharesst.irsst.qc.ca/microbiologiques/11>
- Canadian Standards Association. (en vigueur). *Air comprimé respirable et systèmes connexes*. Norme CSA Z180.1.
- Canadian Standards Association. (2011). *Règles de sécurité pour les travailleurs en plongée*. Norme CSA Z275.2:F11.
- Chronic beryllium disease prevention program*, 10 C.F.R. § 850 (2025).
- Chung, K. Y. K. (1999). Laboratory evaluation of a protocol for personal sampling of airborne particles in welding and allied processes. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, 14(2), 107-118. <https://doi.org/10.1080/104732299303278>
- Cloutier, P.-L., Meddour, A., Huard, M. et Bangoura, O. (2025). *Calculateur de concentrations*. IRSST. <https://www.irsst.qc.ca/calculateur-vmr/>
- Cloutier, Y. et Lazure, L. (2003). *Mémento sur l'utilisation des pompes et des débitmètres* (Rapport n° R-352). IRSST. <https://pharesst.irsst.qc.ca/rapports-scientifique/613/>
- Code de sécurité*, RLRQ, c. B-1.1, r. 3, art. 401-419.
- Code de sécurité pour les travaux de construction*, RLRQ, c. S-2.1, r. 4.
- Cohen, B. S. et McCammon, C. S. (2001). *Air sampling instruments for evaluation of atmospheric contaminants* (9^e éd.). ACGIH.
- Comité européen de normalisation. (1993). *Atmosphères des lieux de travail : définition des fractions de taille pour le mesurage des particules en suspension dans l'air*. Norme EN 481.
- Comité européen de normalisation. (1995). *Atmosphères des lieux de travail : conseils pour l'évaluation de l'exposition aux agents chimiques aux fins de comparaison avec des valeurs limites et stratégie de mesurage*. Norme EN 689.
- David, C., Emili, A., Alonso, L., Loison, P., Mater, G., Duquenne, P., . . . Nicolas, S. (2023). Valeurs guides bactéries et moisissures cultivables : interprétation des résultats de métrologie des bioaérosols. *Hygiène et sécurité du travail*, (271), 55-63.
- Dragan, G. C., Karg, E., Nordsieck, H., Schnelle-Kreis, J., Breuer, D., Arteaga-Salas, J. M., . . . Zimmermann, R. (2014). Short-term evaporation of semi-volatile n-alkane aerosol particles: Experimental and computational approach. *Environmental Engineering & Management Journal*, 13(7), 1775-1785.
- Drolet, D. (2015). *Guide d'ajustement des valeurs d'exposition admissibles (VEA) pour les horaires de travail non conventionnels* (Guide n° T-21, 4^e éd.). IRSST. <https://pharesst.irsst.qc.ca/guides/59/>

- Gagné, S., Cormier, D. et Blanchet-Chouinard, G. (2016). *Détermination des composés inorganiques du chrome hexavalent hydrosolubles et hydro-insolubles dans l'air des lieux de travail* (Méthode analytique n° MA-365). IRSST. <https://pharesst.irsst.qc.ca/environnementales/4/>
- Gagné, S. (2019). *Guide de prélèvement des échantillons biologiques* (Guide technique n° T-25, 2^e éd.). IRSST. <https://pharesst.irsst.qc.ca/guides/71/>
- Godin, C. (2018). *Prévention pour le soudage et le coupage : guide*. MultiPrévention.
- Goller, J. W. (1995). Environmental sampling based on outside-the-helmet. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 56(8), 841.
- Goller, J. W. et Paik, N. W. (1985). A comparison of iron oxide fume inside and outside of welding helmets. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 46(2), 89-93. <https://doi.org/10.1080/15298668591394455>
- Goyer, N., Lavoie, J., Lazure, L. et Marchand, G. (2001). *Les bioaérosols en milieu de travail : guide d'évaluation, de contrôle et de prévention* (Guide n° T-23). IRSST. <https://pharesst.irsst.qc.ca/guides/44/>
- Harris, M. K., Ewing, W. M., Longo, W., DePasquale, C., Mount, M. D., Hatfield, R. et Stapleton, R. (2005). Manganese exposures during shielded metal arc welding (SMAW) in an enclosed space. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 2(8), 375-382. <https://doi.org/10.1080/15459620591007736>
- Huppé, V., Leclerc, J.-M., Legris, M. et Marchand, G. (2016). *Outil d'aide à l'interprétation de rapports d'investigation de la contamination fongique*. INSPQ. https://www.inspq.qc.ca/sites/default/files/livres/outil-contamination-fongique/outil_investigation_fongique.pdf
- Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail. (2016). *Détermination des particules de diesel (exprimée en carbone total) dans l'air* (Méthode analytique n° MA-388). IRSST. [Document non publié]
- Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail. (2023a). *Échantillonnage des moisissures ou bactéries dans l'air à l'aide d'un impacteur Andersen N-6 (1 étage)* (Consignes d'utilisation n° I-MAT-030). IRSST. <https://www.irsst.qc.ca/media/documents/consignes/I-MAT-030.pdf>
- Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail. (2023b). *Échantillonnage des spores de moisissures par impaction sur cassette* (Consignes d'utilisation n° I-MAT-026). IRSST. <https://www.irsst.qc.ca/media/documents/consignes/I-MAT-026.pdf>
- Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail. (2023c). *Prélèvement d'échantillon de procédé (bactéries et moisissures cultivables, structures mycologiques)* (Consignes d'utilisation n° I-MAT-024). IRSST. <https://www.irsst.qc.ca/media/documents/consignes/I-MAT-024.pdf>

- Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail. (2023d). *Prélèvement sur éponge stérile (actéries et moisissures cultivables)* (Consignes d'utilisation n° I-MAT-023). IRSST. <https://www.irsst.qc.ca/media/documents/consignes/I-MAT-023.pdf>
- Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail. (2023e). *Prélèvements pour l'analyse de Legionella pneumophila et Legionella spp. par biologie moléculaire - ddPCR* (Consignes d'utilisation n° I-MAT-037). IRSST. <https://www.irsst.qc.ca/media/documents/consignes/I-MAT-037.pdf>
- Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail. (2023f). *Prélèvements pour l'analyse de Legionella pneumophila et Legionella spp. par culture* (Consignes d'utilisation n° I-MAT-025). IRSST. <https://www.irsst.qc.ca/media/documents/consignes/I-MAT-025.pdf>
- Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail. (2024a). *Prélèvement de surface sur écouvillon (bactéries et moisissures cultivables)* (Consignes d'utilisation n° I-MAT-048). IRSST. [Document non publié]
- Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail. (2024b). *Prélèvement sur lame autocollante (structures mycologiques)* (Consignes d'utilisation n° I-MAT-022). IRSST. <https://www.irsst.qc.ca/media/documents/consignes/I-MAT-022.pdf>
- Institut national de recherche et de sécurité. (2021). *Les légionelles en milieu de travail* (Fiche agents biologiques n° ED 4417). INRS.
- Institut national de recherche et de sécurité. (2024). *HDI M-451*. INRS. https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol/fiche.html?refINRS=METROPOL_451
- Jahn, S. D., Bullock, W. et Ignacio, J. S. (édit.). (2015). *A strategy for assessing and managing occupational exposures* (4^e éd.). AIHA.
- Jargot, D. et Sutter, B. (2017). Aérosols semi-volatils : de l'identification au prélèvement. *Hygiène et sécurité du travail*, (247), 42-47.
- Kim, S. W. et Soderholm, S. C. (2013). Particle and gas phase interactions in air sampling. Dans American Conference of Governmental Industrial Hygienists (édit.), *Air sampling technologies: Principles and applications*. ACGIH.
- Langlois, E., Lemaçon, C., Sutter, B. et Oury, B. (2021). *Prélèvement actif pour les gaz et vapeurs et les aérosols semi-volatils* (2^e éd.). INRS. <https://www.inrs.fr/dam/jcr:42884287-c36d-467e-99d4-b46c8abdd748/metropol-prelevement-gaz-vapeur-actif.pdf>
- Lanoie, D., Bernèche-D'Amours, A., Lacombe, N., Nguyen, T. T. T. et Marchand, G. (2022). *Détection moléculaire et quantification absolue des bactéries du genre Legionella par ddPCR* (Méthode analytique n° MA-410). IRSST. <https://pharesst.irsst.qc.ca/microbiologiques/14/>

- Lanoie, D., Nguyen, T. T. T. et Bernèche-D'Amours, A. (2024). *Identification des bactéries cultivables* (Méthode analytique n° MA-341, 4^e éd.). IRSST. <https://pharesst.irsst.qc.ca/microbiologiques/5>
- Larivière, P., Gendreau, L. et Lajoie, A. (1985). *Stabilité de mélanges de gaz dans des sacs d'échantillonnage* (Rapport n° E-013). IRSST. <https://pharesst.irsst.qc.ca/expertises-revues/162/>
- Leidel, N., Busch, K. et Lynch, J. (1977). *Occupational exposure sampling strategy manual*. NIOSH.
- Leshan, K. (2021). Evaluation of the jarless method for cyclone calibration in occupational air sampling. *International Journal of Occupational Hygiene*, 13(3), 218-231. <https://doi.org/10.18502/ijoh.v13i3.8415>
- Liu, D., Wong, H., Quinlan, P. et Blanc, P. D. (1995). Welding helmet airborne fume concentrations compared to personal breathing zone sampling. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 56(3), 280-283. <https://doi.org/10.1080/15428119591017123>
- Loi sur la santé et la sécurité du travail*, RLRQ, c. S-2.1.
- Marchand, G., Barrette, M.-C., Lesage, J. et Lajoie, A. (2008a). *Caractérisation et dénombrement des spores de moisissures prélevées par impaction sur cassette* (Méthode analytique n° MA-367). IRSST. <https://pharesst.irsst.qc.ca/microbiologiques/4/>
- Marchand, G., Barrette, M.-C., Lesage, J. et Lajoie, A. (2008b). *Évaluation de structures mycologiques par examen microscopique* (Méthode analytique n° MA-360). IRSST. <https://pharesst.irsst.qc.ca/microbiologiques/1/>
- Marchand, G., Barrette, M.-C., Lesage, J. et Lajoie, A. (2008c). *Identification des moisissures cultivables* (Méthode analytique n° MA-340). <https://pharesst.irsst.qc.ca/microbiologiques/3/>
- Marchand, G., Barrette, M.-C., Lesage, J. et Lajoie, A. (2008d). *Préparation des échantillons de matrices solides ou liquides : évaluation des bactéries et moisissures cultivables* (Méthode analytique n° MA-342). IRSST. <https://pharesst.irsst.qc.ca/microbiologiques/6/>
- Marchand, G., Barrette, M.-C., Lesage, J. et Larue, M. (2009a). *Analyse des endotoxines* (Méthode analytique n° MA-332). IRSST. <https://pharesst.irsst.qc.ca/microbiologiques/9/>
- Marchand, G., Barrette, M.-C., Lesage, J. et Larue, M. (2009b). *Méthode d'échantillonnage et d'identification de bactéries et de moisissures par la méthode de prélèvements de surface* (Méthode analytique n° MA-343). IRSST. <https://pharesst.irsst.qc.ca/microbiologiques/8/>
- Marchand, G., Barrette, M.-C., Lesage, J. et Larue, M. (2011). *Dénombrement des bactéries et moisissures viables de l'air prélevées sur filtre de polycarbonate* (Méthode analytique n° MA-368). IRSST. <https://pharesst.irsst.qc.ca/microbiologiques/7/>

- Ménard, L., Cloutier, Y. et Goyer, N. (1987). *Stratégie d'évaluation exploratoire d'un milieu de travail* (Guide n° T-02). IRSST. <https://pharesst.irsst.qc.ca/guides/26/>
- Mesa Labs. (2018). *Calibrating cyclones with Defender (application notes)*. Mesa Labs. <https://mesalabs.com/hubfs/inmind/public/Calibrating-Cyclones-with-Defender.16AUG2018.pdf>
- Mine Safety and Health Administration. (2020). *Health inspection procedures handbook* (Guide n° PH20-V-4). MSHA. <https://arlweb.msha.gov/READROOM/HANDBOOK/PH20-V-4.pdf>
- Mulhaussen, J. et Damiano, J. (1998). *A strategy for assessing and managing occupational exposures*. AIHA Press.
- National Institute for Occupational Safety and Health. (2007). *NIOSH pocket guide to chemical hazards* (Publication n° 2005-149). NIOSH. <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/21265>
- National Institute for Occupational Safety and Health. (1998). *Particulates not otherwise regulated, respirable* (Méthode n° 0600). NIOSH. <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/0600.pdf>
- National Institute for Occupational Safety and Health. (2011). *Occupational exposure to titanium dioxide* (Publication n° 2011-160). NIOSH. <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2011-160/pdfs/2011-160.pdf>
- National Institute for Occupational Safety and Health. (2013). *Occupational exposure to carbon nanotubes and nanofibers* (Publication n° 2013-145). NIOSH. <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2013-145/pdfs/2013-145.pdf>
- National Institute for Occupational Safety and Health. (2016). *Factors affecting aerosol sampling* (5^e éd.). NIOSH. <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2014-151/pdfs/chapters/chapter-ae.pdf>
- Occupational Safety and Health Administration. (2023). Personal sampling for air contaminants. Dans *OSHA technical manual*. OSHA. <https://www.osha.gov/otm/section-2-health-hazards/chapter-1>
- Occupational Safety and Health Administration. (2025). *Surface contamination-standards*. OSHA. <https://www.osha.gov/surface-contamination/standards>
- Occupational Safety and Health Standards: Toxic and Hazardous Substances: Limits for Air Contaminants*, 29 C.F.R. § 1910.1000, tableau Z-1 (2024).
- Organisation internationale de normalisation. (1995). *Qualité de l'air : définitions des fractions de taille des particules pour l'échantillonnage lié aux problèmes de santé*. Norme ISO 7708.
- Organisation internationale de normalisation. (2001). *Qualité de l'air des lieux de travail : échantillonnage et analyse des composés organiques volatiles par désorption au solvant/chromatographie en phase gazeuse*. Norme ISO 16200-1:2001.

- Organisation internationale de normalisation. (2005). *Air des lieux de travail : détermination du chrome hexavalent dans les particules en suspension dans l'air : méthode par chromatographie ionique et détection spectrophotométrique avec diphényl carbazide*. Norme ISO 16740.
- Organisation internationale de normalisation. (2017). *Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais*. Norme ISO/IEC 17025.
- Organisation internationale de normalisation. (2022). *Air des lieux de travail : pompes pour le prélèvement individuel des agents chimiques et biologiques : exigences et méthodes d'essai*. Norme ISO 13137.
- Organisation internationale de normalisation. (2023). *Nanotechnologies : vocabulaire. Partie 1 : vocabulaire "coeur"*. Norme ISO 80004-1.
- Organisation internationale de normalisation. (2024). *Nanotechnologies : gestion du risque professionnel appliquée aux nanomatériaux manufacturés. Partie 1 : principes et approches*. Norme ISO 12901-1.
- Puscasu, S., Aubin, S., Cloutier, Y., Sarazin, P., Van Tra, H. et Gagné, S. (2015). Comparison between the ASSET EZ4 NCO and impinger sampling devices for aerosol sampling of 4,4'-methylene diphenyl diisocyanate in spray foam application. *Annals of Occupational Hygiene*, 59(7), 872-881. <https://doi.org/10.1093/annhyg/mev025>
- Règlement sur la santé et sécurité du travail RLRQ*, c. S-2.1, r.13.
- Règlement sur la santé et la sécurité du travail dans les mines*, RLRQ, c. S-2.1, r. 14.
- Ricaud, M. (2018). *Les fumées de soudage et des techniques connexes* (Aide-mémoire technique n° ED 6132). INRS. <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206132>
- Ricaud, M. et Witschger, O. (2020). *Les nanomatériaux manufacturés* (Brochure n° ED 6050). INRS. <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206050>
- Roberge, B., Aubin, S. et Cloutier, Y. (2011). *Caractérisation des poussières dans les boulangeries artisanales* (Rapport n° R-693). IRSST. <https://pharesst.irsst.gc.ca/rapports-scientifique/344>
- Roberge, B., Aubin, S., Ostiguy, C. et Lesage, J. (2013). *Guide de prévention pour une utilisation sécuritaire des isocyanates : démarche d'hygiène du travail* (Guide n° RG-764). IRSST. <https://pharesst.irsst.gc.ca/guides/72/>
- Roberge, B., Nadon, G., Gagné, C. et Sirois, É. (édit.) (2021). *Hygiène du travail : du diagnostic à la maîtrise des facteurs de risque* (2^e éd.). Modulo.
- Safe Work Australia. (2024). *Interpretation of workplace exposure standards for airborne contaminants: Guidance*. Safe Work Australia. <https://www.safeworkaustralia.gov.au/doc/guidance-interpretation-workplace-exposure-standards-airborne-contaminants>

- Santé Canada. (2023). *Document de conseils pour lutter contre l'humidité et les moisissures dans les espaces intérieurs*. Santé Canada. <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/publications/vie-saine/prendre-charge-problemes-humidite-et-moisissure-votre-demeure.html>
- Sarazin, P., Lavoué, J., Tardif, R. et Lévesque, M. (2022). *Guide de surveillance biologique de l'exposition : stratégie de prélèvement et interprétation des résultats* (Guide technique n° T-03, 8^e éd.). IRSST. <https://pharesst.irsst.qc.ca/guides/59/>
- SKC. (2025). *Skin SWYPES*. SKC. <https://international.skcinc.com/products/surface-and-dermal/dermal-samplers/skin-swypes>
- Slitt, A. L. (2019). Absorption, distribution, and excretion of toxicants. Dans C. D. Klaassen (édit.), *Casarett & Doull's toxicology: The basic science of poisons* (9^e éd.). McGraw-Hill Education.
- Stephenson, D. J. et Lillquist, D. R. (2001). The effects of temperature and pressure on airborne exposure concentrations when performing compliance evaluations using ACGIH TLVs and OSHA PELs. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, 16(4), 482-486. <https://doi.org/10.1080/10473220118591>
- Suva. (2025). *Valeurs limites d'exposition aux postes de travail* (Publication n° 1903.f). Suva.
- Sylvestre, É. et Julian, T. R. (2023). *Legionella control in building water systems: A guide for building managers and operators*. CCIAQ.
- Viau, S., Dion, C. et Calosso, M. (2025). *Béryllium : guide de nettoyage : entretien ménager et décontamination des lieux de travail* (Guide n° RG-638, 3^e éd.). IRSST. <https://doi.org/10.70010/LEYA1622>
- Woolfenden, E. A. et McClenny, W. A. (1999). *Determination of volatile organic compounds in ambient air using active sampling onto sorbent tubes* (Méthode n° TO-17). EPA.

ANNEXE A

Table des acronymes des principes analytiques

Voici la liste des principes analytiques les plus courants cités dans la table des substances disponible dans la page [Contaminants de l'air en milieu de travail : Fiches des substances \(irsst.qc.ca\)](https://www.irsst.qc.ca). Des informations sur les principes analytiques peuvent être consultées dans le chapitre 17 de l'ouvrage *Hygiène du travail : du diagnostic à la maîtrise des facteurs de risque* (Roberge et al., 2021, p. 455-486).

Acronyme	Principe analytique
CI-DC	Chromatographie ionique avec détection par conductivité
CI-DEP	Chromatographie ionique couplée à un détecteur électrochimique pulsé
CI-VIS	Chromatographie ionique avec détection par colorimétrie
CLHP-F	Chromatographie en phase liquide à haute pression avec détection par fluorescence
CLHP-FGAA	Chromatographie en phase liquide à haute pression couplée avec une fournaise au graphite
CLHP-ICP-MS	Chromatographie en phase liquide à haute pression avec spectrométrie de masse à plasma d'argon induit
CLHP-SAAE	Chromatographie en phase liquide à haute pression avec spectrophotométrie d'absorption atomique- avec atomisation électrothermique
CLHP-SM	Chromatographie en phase liquide à haute pression couplée à la spectrométrie de masse
CLHP-SM/SM	Chromatographie en phase liquide à haute pression couplée à la spectrométrie de masse en tandem
CLHP-UV	Chromatographie en phase liquide à haute pression avec détection par UV
CLHP-UVF	Chromatographie en phase liquide à haute pression avec détection par UV et fluorescence
Colo	Colorimétrie
CPG-DAP	Chromatographie en phase gazeuse avec détection à l'azote et au phosphore
CPG-DCE	Chromatographie en phase gazeuse avec détecteur à capture d'électrons
CPG-DCL	Chromatographie en phase gazeuse avec détection à conductivité électrolytique
CPG-DCT	Chromatographie en phase gazeuse avec détection à conductivité thermique
CPG-DIF	Chromatographie en phase gazeuse avec détection par ionisation de flamme
CPG-DPF	Chromatographie en phase gazeuse avec détection photométrique à la flamme
CPG-DPI	Chromatographie en phase gazeuse avec détection à photo-ionisation
CPG-FPD	Chromatographie en phase gazeuse avec filtre à phosphore
CPG-HAL	Chromatographie en phase gazeuse avec détecteur électrolytique de Hall
CPG-SM	Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse
DRX	Diffraction des rayons X
ES	Électrode spécifique
HMOS	Semiconducteur métal oxyde
ICP-MS	Spectrométrie de masse à plasma d'argon induit

Acronyme	Principe analytique
ICP-OES	Spectromètre d'émission optique à plasma à couplage inductif
ILD-Am	Instrument à lecture directe – amalgamation
ILD-EX	Instrument à lecture directe à gaz combustible
ILD-EX/PEL	Instrument à lecture directe à gaz combustible et détection par pile électrochimique
ILD-IR	Instrument à lecture directe – détection par infrarouge
ILD-PA	Instrument à lecture directe – détection photoacoustique
ILD-PEL	Instrument à lecture directe – détection par pile électrochimique
IRTF	Spectrophotométrie infrarouge à transformée de Fourier
LAL	Limulus amebocyte lysate
MALDI/SANGER/BIO	Spectrométrie de masse MALDI-ToF, séquençage Sanger ou analyse biochimique
MET	Microscopie électronique en transmission
MLD	Microscopie à lumière directe
MLD-GC	Microscopie à lumière directe et chromatographie en phase gazeuse
MLP	Microscopie à lumière polarisée
MOCP	Microscopie optique à contraste de phase
MP	Mesure pondérale
Polaro	Polarographie à pulsion différentielle
SAAE	Spectrophotométrie d'absorption atomique – avec atomisation électrothermique
SAAF	Spectrophotométrie d'absorption atomique – avec flamme
SAAV	Spectrophotométrie d'absorption atomique – avec vapeur froide
SEAP	Spectrométrie d'émission atomique au plasma
SF	Spectro-fluorométrie
SM	Stéréomicroscopie
S-UV/VIS	Spectrophotométrie ultraviolet et visible
TO-DIF	Thermo-optique avec détection par ionisation de flamme
TD-CPG-SM	Désorption thermique couplée à la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse