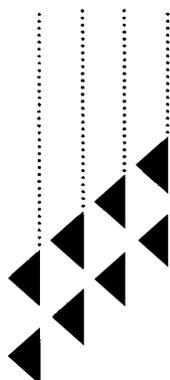




Santé Health
Canada Canada

Guide technique pour l'évaluation de la qualité de l'air dans les immeubles à bureaux



Canada

Guide technique pour l'évaluation de la qualité de l'air dans les immeubles à bureaux

Rapport du Comité consultatif
fédéral-provincial de l'hygiène du milieu et du travail

Also available in English under the title:
"Indoor Air Quality in Office Buildings: A Technical Guide"

93-DHM-166
(révisé en 1995)

Notre mission est d'aider les Canadiens et les Canadiennes
à maintenir et à améliorer leur état de santé.
Santé Canada

Publication autorisée par le ministre de la Santé nationale
et du Bien-être social

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada, 1995

Cat. H46-2/93-166 Frev

ISBN 0-662-80581-X



Les opinions exprimées dans le présent rapport sont celles de l'auteur et cette publication ne constitue pas nécessairement une approbation de la part de Santé Canada. Des exemplaires du Rapport peuvent être obtenus auprès de la :

Direction générale des communications
Santé Canada
Pré Tunney
Ottawa (Ontario)
K1A 0K9

Téléphone: (613) 952-9191
Télécopieur: (613) 952-7266

Auteur

Tedd Nathanson, ingénieur principal, Qualité de l'air dans les immeubles, Travaux publics et Services gouvernementaux Canada

Groupe de travail fédéral-provincial sur la qualité de l'air à l'intérieur des bureaux

Herb Wooley, président – Saskatchewan

Quang Bach Pham – Québec

Dan Clark – Alberta

Greg Cook – Nouveau-Brunswick

Leonard Gallant – Île-du-Prince-Édouard

Shelley Gray – Nouvelle-Écosse

John Kirkbride – Santé et Bien-être social Canada

David Leong – Ontario

Dennis Nikkel – Manitoba

Robert Smith – Colombie-Britannique

Sylvester Wong – Territoires du Nord-Ouest

Secrétariat

David Green – Santé et Bien-être social Canada

Gemma Kerr – Travaux publics Canada

Tedd Nathanson – Travaux publics Canada

Éditrices

Joy McDonell

Marla Sheffer

Ce projet a été financé par

le ministère de la Santé nationale et du Bien-être social

Définitions

Maladie liée aux édifices

Maladie spécifique, de cause connue, qui résulte de l'exposition à un agent intérieur (par exemple, la maladie des légionnaires et la fièvre de Pontiac).

Santé

État de bien-être physique, mental et social complet et non pas seulement l'absence de maladie ou d'infirmité.

Qualité de l'air intérieur

Caractéristiques physiques, chimiques et biologiques de l'air intérieur dans les lieux de travail non résidentiels où aucun procédé ou opération de nature industrielle ne peuvent influencer sur le confort ou la santé de l'occupant.

Syndrome des édifices hermétiques

Série de symptômes qui sont liés à une exposition d'ordre chimique, particulaire ou biologique et que l'on ne peut attribuer à une cause spécifique, mais qui s'atténuent lorsque l'occupant quitte le bâtiment. Les symptômes signalés comprennent en particulier maux de tête, nausées, fatigue, somnolence, irritation des yeux, du nez et de la gorge.

Agents stressants

Paramètres environnementaux comme l'éclairage, le bruit, les vibrations, l'ergonomie, le surpeuplement et autres questions d'ordre psychosocial, qui peuvent influencer la perception et la satisfaction qu'une personne peut avoir vis-à-vis le cadre architectural et la qualité de l'air qu'elle y trouve.

Confort thermique

État d'esprit dans lequel se trouve une personne satisfaite de la température ambiante. Les facteurs qui influent sur le confort thermique sont la température de l'air, la température radiante moyenne, la stratification et le mouvement de l'air, le taux d'humidité relative, le niveau d'activité et les vêtements.

Taux de ventilation

Quantité d'air de l'extérieur distribuée à l'intérieur.

Acronymes

ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers
CG	Chromatographie en phase gazeuse
COV	Composés organiques volatils
COVT	Composés organiques volatils totaux
CVC	Chauffage, ventilation, climatisation
DIF	Détecteur à ionisation de flamme
DPI	Détecteur à photoionisation
PCB	Polychlorbiphényles
PRS	Particules respirables en suspension
PTS	Particules totales en suspension
QAI	Qualité de l'air intérieur
RUV	Rayons ultra-violets
SÉH	Syndrome des édifices hermétiques
SM	Spectrométrie de masse
UTA	Unité de traitement de l'air

Unités

µm	Micromètre (micron, µ)
UFC	Unité formant colonie
g	Gramme
L	Litre
m	Mètre
m³	Mètre cube
min	Minute
ppb	Partie par milliard
ppm	Partie par million
s	Seconde

Table des matières

	Page
1. Introduction et portée	9
1.1 But du document	9
1.2 Utilisateurs	9
1.3 Méthodes d'évaluation	9
2. Contexte	10
2.1 Syndrome des édifices hermétiques et malaises apparentés	10
2.2 Facteurs influant sur la qualité de l'air intérieur	11
2.3 Recommandations relatives à la ventilation	11
3. Stratégie de communication	13
4. Évaluation initiale	15
4.1 Visite initiale	15
4.2 Inspection de la zone faisant l'objet de plaintes	16
4.3 Définir le problème et tirer des conclusions	17
5. Évaluation détaillée	19
5.1 Collecte de l'information au sujet des indicateurs de la qualité de l'air	19
5.1.1 But des mesures	19
5.1.2 Considérations relatives à l'échantillonnage	20
5.1.3 Aperçu des méthodes et de l'équipement de surveillance	22
5.2 Évaluation des sources individuelles	22
5.2.1 Température et humidité	23
5.2.2 Dioxyde de carbone	26
5.2.3 Mouvement de l'air	31
5.2.4 Monoxyde de carbone	33
5.2.5 Formaldéhyde	36
5.2.6 Particules	39
5.2.7 Composés organiques volatils	43
5.2.8 Microbes	51

	Page
5.3 Évaluation du système de CVC	58
5.3.1 Collecte de l'information de base	59
5.3.2 Inspection du système de CVC	59
6. Bibliographie	62

Liste des tableaux

1. Facteurs et sources influant sur la qualité de l'air et le confort à l'intérieur	12
2. Odeurs servant d'indicateurs de problèmes dans les immeubles à bureaux	16
3. COV courants et leurs sources	44

1. Introduction et portée

1.1 But du document

Le présent document servira de guide aux personnes chargées d'évaluer la qualité de l'air intérieur (QAI) des bureaux. Il les aidera à déterminer la cause de la mauvaise QAI, à déterminer à quel moment il est nécessaire de faire appel à des services professionnels et à définir la méthode et la portée d'une étude donnée de la QAI.

1.2 Utilisateurs

Le présent rapport est destiné au personnel chargé de l'entretien des bâtiments, aux agents de santé-sécurité et aux experts-conseils travaillant dans le domaine de l'hygiène du milieu de travail. Il facilitera la communication entre ceux qui étudient les plaintes relatives à la QAI et toute autre personne concernée.

1.3 Méthodes d'évaluation

L'évaluation de la QAI vise à isoler et à atténuer un ou plusieurs problèmes liés à l'environnement de travail dans les édifices à bureaux. L'approche est orientée vers la recherche de solutions et la réduction systématique de l'éventail des possibilités. L'évaluateur doit étudier soigneusement les indices pour résoudre le problème. La plupart des plaintes, particulièrement dans les petits bâtiments, peuvent être réglées sur place par une personne qui comprend l'exploitation de l'immeuble et les aspects techniques de la QAI.

L'évaluation se fait généralement dans le cadre d'une simple consultation et d'une observation ainsi que par une collecte d'information, la formulation d'une hypothèse et des essais qui se poursuivent jusqu'à ce qu'une solution soit trouvée.

2. Contexte

2.1 Syndrome des édifices hermétiques et malaises apparentés

La QAI est devenue une question environnementale importante. Le nombre de plaintes à ce sujet a augmenté au cours des dernières années au fur et à mesure que les bâtiments devenaient de plus en plus hermétiques, que l'utilisation de matières synthétiques augmentait et que les mesures de conservation de l'énergie réduisant l'apport d'air de l'extérieur étaient mises en application. L'équipement moderne des bureaux (p. ex. photocopieuses, imprimantes au laser, ordinateurs), les produits de nettoyage et la pollution de l'air extérieur peuvent également accroître le degré de contamination de l'air intérieur. La réaction à ces contaminants a donné lieu au phénomène appelé syndrome des édifices hermétiques (SÉH).

De nombreux facteurs, souvent insaisissables, sont à l'origine des plaintes formulées par les occupants. Il peut s'agir de mécanismes relevant de la chimie, de la microbiologie, de la physique, de la psychologie. Dans une perspective rationnelle, cependant, le contrôle des sources de contaminants constitue le meilleur des moyens d'ordre général d'améliorer la QAI.

L'analyse d'échantillons d'air peut ne pas signaler la présence de concentrations importantes d'un contaminant quelconque, de sorte que le problème est souvent attribué aux effets combinés de nombreux polluants présents en faible concentration, combinés à d'autres facteurs environnementaux. Par exemple, plusieurs facteurs influent sur le confort thermique : un chauffage excessif ou insuffisant, des taux d'humidité extrêmes, des courants d'air et une mauvaise circulation de l'air. De plus, les odeurs sont souvent associées à une mauvaise qualité d'air bien qu'elles ne sont pas nécessairement à l'origine des symptômes. Des agents stressants comme le bruit, les vibrations, le surpeuplement, un milieu de travail et un éclairage mal conçus peuvent causer l'apparition de symptômes que l'on peut confondre avec des effets de la mauvaise qualité de l'air. Par ailleurs, l'inconfort physique ou des problèmes psycho-sociaux (comme le stress lié au travail) peuvent réduire la tolérance à l'air de mauvaise qualité.

2.2 Facteurs influant sur la qualité de l'air intérieur

L'environnement intérieur résulte de l'interaction entre le site, le climat, le bâtiment et les sources potentielles de contaminants (p. ex. le mobilier, les sources d'humidité, les procédés et les activités de travail ainsi que les sources extérieures de contaminants) et les occupants du bâtiment. Certains de ces facteurs et de ces sources sont indiqués dans le Tableau 1.

Le système de chauffage, de ventilation et de climatisation (CVC) est conçu pour procurer un certain confort thermique (régulation de la température et de l'humidité), pour distribuer l'air extérieur aux occupants, pour éliminer les odeurs et les contaminants avec des ventilateurs d'extraction ou pour diluer ces concentrations à des niveaux acceptables et équilibrer la pression entre les différentes pièces. Les salles de bain, les cuisines et les fumoirs doivent être maintenus à une pression négative de manière que les polluants qui y sont produits ne puissent contaminer d'autres pièces. Les salles d'ordinateurs doivent être maintenues à une pression positive pour refouler la poussière.

2.3 Recommandations relatives à la ventilation

Les recommandations généralement acceptées pour la ventilation et la QAI sont les suivantes : norme ASHRAE 62-1989, *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality* et norme ASHRAE 55-1992, *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*.

Tableau 1
Facteurs et sources influant sur la qualité de
l'air et le confort à l'intérieur

Facteur	Source
Températures et taux d'humidité extrêmes	Emplacement inadéquat des thermostats, mauvaise régulation de l'humidité, incapacité du bâtiment à compenser les changements climatiques extrêmes, équipement et procédés ajoutés par les occupants
Dioxyde de carbone	Respiration humaine, combustion de combustibles fossiles (p. ex. chaudières au gaz et à l'huile, dispositifs de chauffage)
Monoxyde de carbone	Gaz d'échappement des automobiles (garages, quais de chargement, prises d'air), combustion, fumée de tabac
Formaldéhyde	Panneaux de contreplaqué ou de particules non scellés, isolant d'urée-formaldéhyde, tissus, colles, tapis, meubles, papier autocopiant
Particules	Fumée, prises d'air, papier, isolant des conduites, résidus aqueux, tapis, filtres pour CVC, ménage des bureaux
Composés organiques volatils (COV)	Machines à copier ou imprimantes, ordinateurs, tapis, meubles, produits de nettoyage, fumée, peintures, adhésifs, produits de calfeutrage, parfums, fixatifs pour cheveux, solvants
Ventilation inadéquate (apport insuffisant d'air extérieur, débit insuffisant, circulation de l'air insuffisante)	Mesures d'économie d'énergie et d'entretien, conception ou fonctionnement inadéquats du système, modification du système de CVC par l'occupant, mauvais aménagement du bureau, dérèglement du système
Matière microbienne	Eau stagnante dans le système de CVC, matières humides et mouillées, humidificateurs, plateaux de drainage de condensat, châteaux d'eau

3. Stratégie de communication

Il est nécessaire de définir une procédure de traitement des plaintes et de communication de l'information avant, pendant et après l'évaluation. Les voies de communication doivent être établies entre les personnes clés comme les occupants, le personnel responsable de l'immeuble, les comités de santé-sécurité sur le lieu de travail, la direction et les représentants syndicaux ainsi que les organismes responsables de la santé et de la réglementation. C'est toutefois au propriétaire de l'immeuble qu'il incombe de résoudre le problème. Grâce à la coopération et à une intervention rapide, une solution efficace peut être adoptée. Si la communication n'est pas ouverte, des frustrations et de la méfiance risquent de s'ajouter au problème de QAI, ce qui retarde sa résolution.

Comme la perception du confort varie d'un individu à l'autre, il est probablement impossible de satisfaire tous les occupants d'un immeuble. Parmi les occupants de n'importe quel bâtiment, on peut retrouver des individus hypersensibles à l'environnement qui sont perturbés par des facteurs environnementaux très divers, malgré une exposition relativement faible. Dans ce cas, il faudra effectuer un travail personnel de détective pour déterminer la cause de cette hypersensibilité, et en contrôler les symptômes, pour établir des conditions de travail et de vie adéquates, effectuer des changements dans le style de vie et trouver des traitements médicaux qui pourraient, avec le temps, amener une désensibilisation.

Il est dans l'intérêt du gestionnaire du bâtiment de réagir rapidement et sérieusement à toutes les plaintes liées à l'environnement intérieur et d'établir sa crédibilité en communiquant ouvertement avec les occupants du bâtiment. Les gestionnaires du bâtiment ne doivent pas sous-estimer l'anxiété et la frustration que peuvent ressentir les occupants si ces derniers pensent qu'aucune mesure n'est prise et que de l'information importante ne leur est pas communiquée.

Pour que la communication soit efficace au cours de l'évaluation de la QAI, il faut respecter les étapes suivantes :

- Délimiter la zone problème en se basant sur la provenance des plaintes et sur leur répartition (l'étendue de cette zone peut être modifiée avec le temps)

- Identifier les personnes clés et constituer une équipe d'inspection équilibrée. Les occupants de l'immeuble peuvent être des alliés précieux pour résoudre les problèmes de QAI, particulièrement lorsqu'il s'agit de déceler des odeurs ou des tendances liées aux plaintes relatives à la QAI. Pour favoriser cette coopération, il est recommandé de prendre en considération les théories des occupants pendant l'évaluation.
- Mettre sur pied un système pour noter l'heure et l'endroit où sont formulées les plaintes. Il peut s'agir de registres des plaintes ou de questionnaires distribués aux occupants. Les pièces écrites sont importantes pour comprendre les problèmes de QAI.
- Avertir les occupants de l'immeuble de la portée et de l'objet de l'évaluation imminente. Cette information peut être affichée, distribuée ou annoncée lors d'une réunion du comité de santé-sécurité.
- Mettre à la disposition des personnes intéressées les résultats finaux et l'intervention proposée. Présenter des rapports au fur et à mesure de l'avancement des travaux. La rétroaction et la coopération sont importantes.

4. Évaluation initiale

L'évaluation initiale est un exercice qui consiste à recueillir des faits concernant la plainte. Au cours de l'évaluation initiale, on définit les problèmes et on évalue leur gravité. On recueille de l'information générale qui facilitera la caractérisation des polluants possibles et la localisation des sources de ces polluants, notamment des renseignements sur le bâtiment lui-même, sur les types de symptômes que présentent les employés et sur la période pendant laquelle ils ont présenté ces symptômes.

Il est utile de disposer d'une copie des plans de l'étage pour pouvoir y indiquer directement des observations. L'évaluateur devrait également étudier les documents relatifs à l'historique du bâtiment, notamment les modifications qu'il a subies, particulièrement les modifications récentes. Une personne qui connaît bien le système de CVC doit pouvoir participer à l'évaluation et il faut identifier les personnes qui peuvent permettre l'accès aux différents emplacements.

4.1 Visite initiale

Une telle visite est nécessaire pour effectuer une évaluation directe et visuelle de la conception du bâtiment, du plan de l'étage et du système de ventilation. Cette visite devrait fournir à l'évaluateur suffisamment d'information pour lui permettre de formuler une hypothèse, peut-être de formuler des recommandations simples et d'élaborer un plan, en vue de l'évaluation subséquente.

Pendant la visite initiale, on prend un minimum de mesures. L'évaluateur peut se servir de listes de points à vérifier ou de feuilles de travail et il peut se concentrer sur une zone problème localisée.

Les occupants devraient être interrogés, particulièrement ceux qui se sont plaints. Il faut recueillir de l'information sur les symptômes, sur le moment de leur apparition et de leur disparition et sur la répartition spatiale des plaintes afin de définir le problème de la manière la plus complète possible. L'évaluateur doit aussi noter toute source visible de pollution interne ou externe.

4.2 Inspection de la zone faisant l'objet de plaintes

Les indicateurs généraux suivants aident à attirer l'attention sur les sources de polluants :

- odeurs (voir le Tableau 2)
- surpeuplement
- conditions non hygiéniques
- poussière
- problèmes d'humidité, croissance fongique visible
- apparition de taches et de décoloration sur les tuiles du plafond ou les murs
- présence de substances chimiques.

Tableau 2
Odeurs servant d'indicateurs de problèmes dans les immeubles à bureaux

Description	Problème	Plaintes
Gaz d'échappement des automobiles, vapeurs de diesel	Monoxyde de carbone	Maux de tête, nausée, étourdissement, fatigue
Odeur corporelle	Surpeuplement, faible débit de ventilation (teneur élevée en dioxyde de carbone)	Maux de tête, fatigue, manque d'air
Odeur de moisi	Matière microbienne, surfaces humides	Symptômes d'allergie
Odeur de produit chimique	Formaldéhyde, pesticides, autres produits chimiques	Irritation des yeux, du nez et de la gorge
Odeur de solvant	COV	Odeur fétide, symptôme d'allergie, étourdissements, maux de tête
Odeur de ciment humide, de poussière, de craie	Particules, système d'humidification	Sécheresse des yeux, problèmes respiratoires, irritation du nez et de la gorge, irritation de la peau, toux, éternuements
Odeur de gaz d'égout	Pièges à eau secs dans les drains du sol, dans les salles de toilettes ou dans les sous-sols	Odeur fétide

Parmi les autres activités que comporte l'inspection de la zone faisant l'objet de plaintes, on compte les suivantes :

- Comparer les utilisations originales de la zone problème et des pièces voisines avec leur utilisation actuelle. La densité des occupants a-t-elle augmenté? Les zones de travail ont-elles été réarrangées ou transformées en vue de nouvelles utilisations? A-t-on ajouté du nouvel équipement comme des ordinateurs, des imprimantes, des photocopieurs ou des humidificateurs?
- Délimiter les zones où des activités de rénovations, de réparations ou de redécoration sont en cours ou viennent d'être effectuées. Vérifier si des mesures adéquates sont mises en oeuvre pour isoler la poussière, les vapeurs de peintures et les autres contaminants qui peuvent provenir de ces activités.
- Vérifier si la température et le degré d'humidité se situent à l'intérieur de l'intervalle confortable. Observer s'il y a trace de moisissures causées par la condensation, par de hauts niveaux d'humidité ou par des fuites d'eau.
- Vérifier la teneur en dioxyde de carbone qui sert d'indicateur de la qualité de la ventilation dans les zones occupées. Si la concentration de dioxyde de carbone est supérieure à 1 000 parties par million (ppm) dans les bureaux, la ventilation est faible et d'autres contaminants atmosphériques s'accumulent.
- Observer les mouvements de circulation d'air. Rechercher les emplacements où le mélange est insuffisant, où il y a courts-circuits (les diffuseurs et les grilles de retour sont près les uns des autres), et les obstructions des conduits d'alimentation et d'évacuation.

4.3 Définir le problème et tirer des conclusions

À la fin de l'évaluation initiale, il devrait être possible de déterminer :

- la nature des plaintes
- le nombre d'occupants touchés
- les paramètres liés au bâtiment, d'après le moment, la provenance, etc., des plaintes
- les défauts et problèmes possibles de fonctionnement et d'entretien généraux du système de CVC

- si le système de ventilation a été modifié par l'occupant
- les sources visibles de pollution intérieure et extérieure.

Si la source spécifique du problème a été déterminée et qu'une solution a été proposée, l'évaluation sera interrompue jusqu'à ce que les changements soient effectués et que l'effet soit évalué. Si l'on n'arrive pas à trouver de solution ou que d'autres problèmes ont surgi, il est alors nécessaire de poursuivre l'évaluation de manière plus détaillée.

5. Évaluation détaillée

L'évaluation détaillée d'un milieu intérieur consiste à mesurer les indicateurs de la qualité de l'air et les sources de pollution ainsi qu'à vérifier le système de CVCA. Pour effectuer cette évaluation, on peut faire appel entre autres à des listes de vérification et à de l'équipement de mesure étalonné.

Certaines mesures peuvent exiger l'utilisation d'appareils complexes et des analyses en laboratoire. Il peut être nécessaire de faire appel à des spécialistes à certaines étapes du diagnostic et le travail en équipe est recommandé. Un hygiéniste industriel, un chimiste ou un ingénieur peut mesurer et évaluer divers polluants dont la présence est soupçonnée, alors qu'un ingénieur spécialisé en mécanique peut évaluer la qualité de la conception du système de ventilation et l'efficacité de son fonctionnement. Comme dans la plupart des édifices à bureaux, on compte sur le système de CVC pour contrôler les niveaux de contaminants au moyen de la ventilation, il est important de bien évaluer la performance du système.

5.1 Collecte de l'information au sujet des indicateurs de la qualité de l'air

Avant de traiter les sources de pollution individuelles, nous examinerons les facteurs à considérer lorsqu'on effectue des mesures, ainsi que l'équipement et les méthodes employées, et la marche à suivre pour l'évaluation.

5.1.1 But des mesures

On ne doit faire appel à l'échantillonnage de l'air qu'après avoir épuisé certaines ou toutes les autres méthodes d'évaluation existantes. La stratégie d'échantillonnage devrait être basée sur une compréhension approfondie de la manière dont fonctionne le bâtiment et de la nature des plaintes.

En présence du SÉH, il faut prélever divers contaminants de l'air intérieur. Si des concentrations élevées sont décelées, on peut conclure à l'existence d'un problème. Toutefois, la détection de faibles concen-

trations ne permet pas d'écarter la possibilité qu'il existe des problèmes de qualité de l'air subtils ou intermittents.

Il peut être souhaitable d'effectuer certaines mesures préliminaires de la qualité de l'air indicatrices de problèmes courants de QAI comme la température, l'humidité relative, le mouvement de l'air et le dioxyde de carbone.

L'échantillonnage de l'air permet :

- d'établir les conditions de base de sorte que les concentrations mesurées dans les zones problèmes puissent être comparées avec les concentrations mesurées à d'autres moments et à d'autres endroits
- de comparer la qualité de l'air intérieur à celle de l'air extérieur
- de vérifier une hypothèse quant à la source du problème
- de confirmer qu'une approche contrôlée permet de réduire les concentrations des polluants ou d'améliorer la ventilation
- de révéler l'existence de composés associés à des problèmes particuliers dans les bâtiments (p. ex. une concentration de dioxyde de carbone supérieure à 1 000 ppm indique que la ventilation est insuffisante; une concentration de monoxyde de carbone supérieure à 5 ppm révèle la présence de produits de combustion non évacués ou l'entraînement de gaz d'échappement de véhicules)
- de comparer des concentrations mesurées avec des normes d'exposition professionnelles et avec des lignes directrices de santé et de confort pour le public en ce qui concerne des polluants spécifiques.

5.1.2 Considérations relatives à l'échantillonnage

Il existe plusieurs façons de choisir les sites à échantillonner en vue d'une évaluation de la QAI. Un bâtiment peut être divisé :

- en zones de CVC individuelles
- en zones types de CVC (intérieures ou de périmètre)
- en zones faisant ou non l'objet de plaintes

- en zones réparties selon leur emplacement par rapport à des sources importantes (p. ex. proximité par rapport aux zones où il est permis de fumer, atelier d'impression)
- en fonction du type de plaintes.

Il est préférable de mesurer les polluants produits par la structure du bâtiment, les meubles ou la ventilation (p. ex. formaldéhyde, COV, contamination microbienne) le matin si le système de ventilation est fermé pendant la nuit ou pendant la fin de semaine. Dans le cas des polluants produits par les occupants (p. ex. le dioxyde de carbone) ou par les activités des occupants (p. ex. l'utilisation de photocopieuses), il vaut mieux procéder à l'échantillonnage à la fin de la journée de travail afin de mesurer les concentrations maximales.

L'époque de l'année est également un facteur important. Si l'on utilise le cycle économique, l'apport d'air extérieur sera moins grand par temps très froid ou très chaud, ce qui fera généralement augmenter la concentration des polluants. De plus, certaines sources sont saisonnières, comme les humidificateurs et les systèmes de climatisation.

Le bon fonctionnement et l'étalonnage adéquat de l'équipement sont essentiels pour assurer le succès d'un programme d'échantillonnage. L'étalonnage visant à assurer des mesures exactes se fait habituellement à l'aide d'un étalon connu correspondant au bas de l'échelle (zéro) et au haut de l'échelle des mesures prévues.

La stratégie d'échantillonnage doit être conçue pour évaluer le pire cas, par exemple des émissions maximales de l'équipement, une ventilation minimale ou des perturbations des surfaces contaminées. L'échantillonnage effectué dans de telles conditions peut s'avérer très utile pour caractériser l'exposition maximale des occupants.

La durée de l'échantillonnage peut varier selon le seuil de détection minimal de la méthode d'analyse, les caractéristiques d'émission de la source, le degré de variation des concentrations de polluants et les objectifs spécifiques de la mesure.

L'expérience a montré que la grande majorité des polluants chimiques seront présents en concentrations bien inférieures à celles qui causent des problèmes de santé. On ne sait pas très bien dans quelle mesure des concentrations traces de ces substances, seules ou mélangées, peuvent causer de l'inconfort, mais il est clair que les normes et les critères d'hygiène industrielle traditionnelle ne constituent pas une base significative pour l'évaluation et la résolution subséquente des plaintes liées à la QAI.

5.1.3 Aperçu des méthodes et de l'équipement de surveillance

Il existe des méthodes de surveillance simples destinées à être utilisées par des non-spécialistes comme le responsable du bâtiment ou le gestionnaire qui reçoit des plaintes relatives à la qualité de l'air dans un bâtiment. Ces mesures se prennent facilement et rapidement.

Le fait de ne pas déceler de problème de QAI par la mesure de paramètres individuels ne signifie pas qu'il n'y a pas de problème. Il est probable que l'on ait évalué dans ce cas un paramètre non pertinent, que la mesure ait été prise au mauvais moment ou que les normes d'exposition acceptables existantes ne permettent tout simplement pas de déterminer si un polluant ou une combinaison de polluants constituent pour certaines personnes un risque d'inconfort.

L'efficacité des mesures peut varier selon que la méthode est passive ou active, selon que l'appareil est un échantillonneur, un analyseur, un dispositif à lecture directe et selon que les mesures sont continues ou ponctuelles. Les échantillonneurs passifs comme les dosimètres sont peu coûteux et faciles à employer; toutefois, pour déterminer la concentration de contaminant, il faut habituellement effectuer une analyse en laboratoire. Les échantillonneurs actifs comme les tubes colorimétriques sont également peu coûteux et ils fourniront sur place des mesures ponctuelles de la concentration de monoxyde de carbone, de dioxyde de carbone et d'autres polluants spécifiques. Toutefois, leur sensibilité est limitée.

Les appareils à lecture directe peuvent être utilisés pour des vérifications ponctuelles ou être installés pour assurer une surveillance continue de polluants spécifiques. Toutefois, ils coûtent cher, doivent être étalonnés et l'opérateur doit avoir suivi une formation spéciale.

5.2 Évaluation des sources individuelles

La présente section porte particulièrement sur les indicateurs de QAI et les polluants. On traitera les caractéristiques, les recommandations, les concentrations idéales et les effets sur la santé correspondant à chacun. Une liste de vérification à utiliser lors de l'inspection et les méthodes de mesures spécifiques à chacun des indicateurs de QAI ou chacune des sources de contaminant sont également incluses. Celles-ci seront suivies de la présentation des stratégies d'intervention applicables.

5.2.1 Température et humidité

La température et l'humidité relative sont deux paramètres parmi plusieurs qui influent sur le confort thermique. La satisfaction que procure l'environnement thermique peut aussi être influencée par des facteurs comme la température radiante, la vitesse de l'air, le degré d'activité des occupants et les vêtements.

Dans la norme ASHRAE 55-1992 intitulée *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, on présente des recommandations visant à obtenir les conditions thermiques qui sont jugées acceptables et confortables par au moins 80 p. 100 des occupants.

En présence de taux d'humidité relative inférieurs à 25 p. 100, on constate un inconfort accru et un assèchement des muqueuses et de la peau qui peut provoquer des gerçures et de l'irritation. En présence d'un faible taux d'humidité relative, l'électricité statique s'accroît, ce qui cause de l'inconfort et peut perturber l'utilisation des ordinateurs et de l'équipement utilisant du papier. Par contre, si le taux d'humidité est élevé, de la condensation peut se former à l'intérieur de la structure du bâtiment et sur les surfaces intérieures ou extérieures, ce qui peut favoriser la croissance subséquente de moisissures et de champignons microscopiques. Dans la plupart des villes canadiennes, le taux d'humidité idéal à l'intérieur est de 35 p. 100 en hiver et de 50 p. 100 en été. La norme ASHRAE précise une plage de 25 à 60 %.

En hiver dans les gros bâtiments, l'air fourni est généralement humidifié au moyen d'un jet d'eau ou de vapeur. Les humidificateurs à jet d'eau exigent un entretien à intervalles réguliers pour contrôler la qualité de l'air. Les humidificateurs à vapeur sont plus propres et plus faciles à entretenir, mais ils consomment davantage d'électricité. En été, le système de climatisation de l'air déshumidifie l'air provenant de l'extérieur.

5.2.1.1 Liste de vérification. Au cours de la visite préliminaire, on aura déterminé les problèmes ayant trait au confort selon les plaintes formulées par les occupants et selon les observations.

a. Température

- Déterminer si la température est trop élevée ou trop basse. Cela est-il dû à l'intervention des occupants, p. ex. à l'installation de dispositifs de chauffage ou de nouvel équipement?
- Rechercher des sources locales de chaleur ou de refroidissement comme des sols non isolés au-dessus d'un garage ou d'un surplomb, la charge solaire passant par les fenêtres, ou des cadres de fenêtre froids.

- S'assurer que les thermostats fonctionnent bien, qu'ils sont étalonnés, que leur emplacement est approprié et qu'ils ne sont pas obstrués ni enfermés.
- Rechercher des gradients thermiques; la différence de température entre le sol et le plafond ne doit pas être supérieure à 3 °C.
- Vérifier si le réseau de distribution de l'air est équilibré (circulation de l'air uniforme et courants d'air). Les occupants utilisent-ils des ventilateurs?
- Déterminer si la circulation de l'air est obstruée, par exemple par des cloisons, des diffuseurs bloqués ou des unités de périmètre bloquées par du papier, des livres ou des armoires.
- Rechercher les diffuseurs se trouvant directement au-dessus des occupants ou situés à proximité des grilles de retour d'air.

b. Humidité relative

- Vérifier le fonctionnement de l'humidificateur, rechercher notamment la présence d'un excès de dépôt calcaire ou de rouille, des jets bloqués, une pompe brisée et des endroits où l'eau est stagnante ou sale.
- Déterminer si l'humidistat situé dans la conduite de retour de l'air est défectueux ou mal étalonné.
- Rechercher des signes de condensation causée par un excès d'humidité ou par une isolation thermique insuffisante sur l'enveloppe du bâtiment.
- Vérifier si l'on utilise des additifs chimiques pour le traitement de l'eau.

5.2.1.2 Méthodes de mesure et équipement. Il existe plusieurs méthodes pour mesurer la température et l'humidité relative lesquelles varient de l'utilisation d'un simple thermomètre pour la température et d'un psychromètre pour l'humidité à celle d'appareils électroniques perfectionnés munis de détecteurs à semi-conducteur.

Pour l'échantillonnage, éviter de choisir des endroits situés à proximité de la machinerie ou chauffés directement par le soleil ou par d'autres sources de rayonnement. Si possible, l'opérateur doit se tenir face au courant d'air de sorte que l'appareil reçoive l'air en premier.

a. Psychromètres

Le psychromètre mesure le taux d'humidité relative d'après la différence de température entre deux détecteurs dont l'un est humide et refroidi par un courant d'air. Un ventilateur électrique (dans le cas d'un psychromètre électrique) ou un simple mouvement de tourbillon manuel (dans le cas d'un psychromètre à fronde) permet de produire le courant d'air.

Les psychromètres à fronde sont peu coûteux et simples à utiliser; toutefois, les résultats qu'ils fournissent ne sont pas fiables. L'appareil doit être fréquemment étalonné par rapport à un étalon primaire et la mèche doit être maintenue humide et propre. Les psychromètres électriques sont plus coûteux, mais ils donnent une lecture directe et plus exacte de l'humidité relative.

b. Hygromètres

Les hygromètres sont de petites unités électroniques compactes à affichage digital permettant des mesures ponctuelles ou un enregistrement continu de l'humidité relative. Certaines unités mesurent également la température et le mouvement de l'air.

L'hygromètre contient un détecteur dont la résistance ou la capacité changent au fur et à mesure que l'humidité varie. Ce détecteur est habituellement un sel hygroscopique ou un petit condensateur qui absorbe l'humidité en produisant un débit proportionnel. Les hygromètres doivent être étalonnés au moins une fois par an. On peut habituellement se procurer des trousseaux auprès du fabricant; on peut également faire étalonner l'unité par un laboratoire.

5.2.1.3 Stratégie d'intervention. Lorsque l'inconfort thermique suscite des plaintes, il faut déterminer si la capacité du système de CVC permet de chauffer ou de refroidir, d'humidifier ou de déshumidifier adéquatement la zone occupée. Les exigences réelles peuvent être très différentes des paramètres de conception originaux, particulièrement s'il y a eu des changements dans l'utilisation de l'espace, l'aménagement, la disposition et le nombre d'occupants ou si l'on a introduit un nouvel équipement. Il peut se révéler nécessaire de ventiler séparément l'équipement qui génère beaucoup de chaleur ou de l'éliminer si le système existant ne permet pas de refroidir l'espace environnant.

Le système de CVC et le système de régulation doivent être en bon état de fonctionnement, bien équilibrés et étalonnés. Bien que la régulation par zone soit importante pour que, par exemple, un local orienté vers le sud puisse être refroidi alors qu'un local orienté vers le nord est chauffé, une régulation individuelle par l'occupant permettrait idéale-

ment d'assurer le confort thermique de tous, quel que soit leur emplacement, les vêtements qu'ils portent ou le degré d'activité.

Parmi les autres mesures d'intervention, mentionnons les suivantes :

- Les surfaces chaudes ou froides peuvent être isolées pour réduire le gain ou la perte de chaleur, ce qui fait diminuer les gradients de température, les courants d'air et la condensation. On peut isoler les fenêtres en ajoutant un autre panneau, une surface réfléchissante ou un revêtement.
- L'infiltration et l'exfiltration à travers l'enveloppe du bâtiment peuvent être réduites grâce au calfeutrage des ouvertures et des vides et par le maintien d'une différence de pression adéquate entre les étages et entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment.
- Il peut s'avérer nécessaire d'accroître la ventilation et la circulation de l'air. On devra peut-être ajouter une unité de traitement de l'air (UTA), un diffuseur ou un dispositif de chauffage supplémentaire dans la zone problème.
- Les heures de fonctionnement du système peuvent devoir être prolongées de manière à régulariser les conditions environnementales. Par exemple, l'opérateur peut devoir faire fonctionner le système de climatisation le soir pendant une période de grande chaleur pour que la qualité de l'air intérieur soit acceptable le lendemain matin.

5.2.2 Dioxyde de carbone

Le dioxyde de carbone ou gaz carbonique, est incolore et inodore. Il s'agit d'un constituant normal de l'atmosphère à une concentration de 330 à 350 ppm. Sa concentration dans l'air des bureaux peut dans certaines conditions fournir une bonne indication du taux de ventilation. À l'intérieur, il est principalement produit par le métabolisme humain. Les occupants des bureaux exhalent du dioxyde de carbone à raison d'environ 0,3 L/min lorsqu'ils effectuent de légères tâches de bureau.

Bien que la fonction principale d'un système de CVC soit d'assurer le confort thermique, il est nécessaire d'introduire une certaine quantité d'air extérieur afin de diluer les contaminants et les odeurs produits à l'intérieur du lieu de travail. Comme dans les bâtiments modernes la ventilation naturelle (infiltration) est moins importante que dans les vieux bâtiments et parce que les occupants, l'équipement de bureau et les meubles dégagent des contaminants chimiques, il est important

d'ajouter de l'air extérieur relativement propre à l'espace de travail occupé. L'argument contre l'apport d'air extérieur lorsqu'il faut chauffer ou refroidir les bâtiments consiste à dire qu'il en coûte plus cher pour filtrer, chauffer/refroidir, humidifier/déshumidifier et répartir l'air. On sait toutefois aujourd'hui que les exigences relatives à la consommation d'énergie et la QAI doivent être équilibrées pour assurer aux occupants un lieu de travail sain, confortable et productif. Le salaire versé aux employés absents ou non productifs peut dépasser de loin les coûts d'exploitation du bâtiment.

La concentration de dioxyde de carbone à l'intérieur varie en fonction de l'emplacement, du taux d'occupation et du moment de la journée et elle a tendance à augmenter au fur et à mesure que la journée avance. En général, les concentrations que l'on retrouve dans les bureaux sont de l'ordre de 600-800 ppm. La norme ASHRAE 62-1989 (*Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*), recommande un taux de ventilation minimal de 10 L/s par personne pour assurer la QAI dans les bureaux selon la méthode de ventilation. La norme ASHRAE propose également une autre méthode, la procédure de QAI, qui consiste à utiliser des concentrations acceptables de certains contaminants afin d'obtenir une bonne QAI. Dans le cas d'un taux d'occupation courant et d'activités normales, le taux de ventilation extérieur minimal de 10 L/s par personne donnerait une concentration de dioxyde de carbone de 850 ppm à l'équilibre, dans un état stable de l'espace occupé.

Il faut faire preuve de prudence lorsqu'on utilise les concentrations de dioxyde de carbone comme indicateur d'une QAI acceptable. Selon cette hypothèse, si le système de CVC ne permet pas d'éliminer le dioxyde de carbone, alors les autres polluants intérieurs s'accumulent probablement de manière proportionnelle. Toutefois, il peut exister une source intérieure importante d'un contaminant malgré une faible teneur en dioxyde de carbone. La comparaison entre les concentrations maximales de dioxyde de carbone lues dans différentes pièces et celles qui sont lues dans les zones entre les différentes unités de traitement de l'air peut aider à déceler divers problèmes de ventilation.

5.2.2.1 Liste de vérification

- Étudier les plans des étages et les détails relatifs aux rénovations pour évaluer les zones pouvant poser des problèmes, notamment :
 - les espaces non cloisonnés qui ont été transformés en bureaux fermés (p. ex. des bureaux fermés qui risquent de ne pas être munis de thermostats ni de diffuseurs pour le retour d'air ou l'alimentation en air)
 - des locaux où des altérations structurales ont entraîné une utilisation différente de celle qui est indiquée sur les plans (p. ex. la transformation d'un bureau en salle d'attente, en salle de conférence ou en salle d'ordinateurs).
- Noter si les occupants se plaignent d'un manque de ventilation, «d'un manque d'oxygène», d'une odeur de renfermé et de symptômes tels que maux de tête et fatigue qui peuvent signaler l'existence d'un problème.
- Répondre aux questions suivantes :
 - Quelles sont les densités moyennes élevées ou maximales d'occupation? Pour combien de personnes le bâtiment a-t-il été conçu?
 - Les commandes d'admission de l'air extérieur et les registres fonctionnent-ils adéquatement?
 - L'ouverture minimale des registres extérieurs est-elle réglée à environ 15 p. 100?
 - Existe-t-il une source de contamination de l'air extérieur?
 - Les diffuseurs d'air d'alimentation sont-ils tous opérationnels? La pièce sent-elle le renfermé ou il y a-t-il d'autres odeurs?
 - Il y a-t-il eu intervention à l'intérieur du système, les grilles de ventilation sont-elles bloquées?
 - À quel moment de la journée l'air semble-t-il pire? Le problème s'aggrave-t-il vers la fin de la journée?
 - Les diffuseurs et les grilles de retour de l'air sont-ils rapprochés, créant ainsi des courts-circuits?
 - Des constructions (p. ex. des murs ou des cloisons) ont-elles modifié le parcours du retour d'air au plafond?

5.2.2.2 Méthodes de mesure et équipement. Les concentrations de gaz carbonique sont normalement plus élevées vers la fin de la matinée et vers la fin de l'après-midi et elles varient avec le taux d'occupation pendant la journée. De plus, l'admission d'air extérieur est habituellement minimale au plus fort de la saison de chauffage et de refroidissement.

Les mesures doivent être prises à des endroits de repère, comme à la prise d'air extérieur, à l'endroit où l'air d'approvisionnement est mélangé, dans le plénum de retour d'air, aux endroits où l'évaluation initiale a indiqué que le taux d'occupation était élevé et aux autres endroits où l'on s'est plaint de la mauvaise qualité de l'air. Les mesures de la teneur en dioxyde de carbone de l'air relevées à la prise d'air doivent être à peu près égales à la concentration extérieure, autrement une certaine quantité de l'air évacué est entraînée. La teneur en dioxyde de carbone de l'air évacué indiquera quelle est la concentration moyenne dans le bâtiment.

On peut prélever des échantillons au hasard ou effectuer des mesures continues pour obtenir un profil détaillé de la concentration en fonction du temps. Pour effectuer le prélèvement, l'opérateur doit se tenir debout, loin de l'échantillonneur/analyseur pour ne pas contaminer l'échantillon d'air avec du dioxyde de carbone produit par sa respiration. Les mesures sont habituellement effectuées à mi-hauteur du bureau et de la tête.

Il est bon que les concentrations de gaz carbonique à l'intérieur soient à peu près égales aux concentrations extérieures le matin, au début de la journée de travail. Pour atteindre cet objectif, il faut faire fonctionner le système de CVC de manière prolongée et utiliser l'infiltration naturelle de l'air. Bien que la mesure du volume d'air extérieur ne puisse être effectuée par le personnel responsable du bâtiment, à moins que le débit de l'air déplacé par le ventilateur ne soit connu, la proportion d'air de l'extérieur peut être calculée d'après des mesures de la température de l'air extérieur, de l'air de retour et de l'air mélangé. Le pourcentage d'air extérieur se calcule de la manière suivante :

$$\text{Air extérieur (\%)} = \frac{T_{\text{air mélangé}} - T_{\text{air de retour}}}{T_{\text{air extérieur}} - T_{\text{air de retour}}} \times 100$$

La précision du calcul est fonction de l'écart des températures. On peut aussi calculer le pourcentage d'air extérieur de la même manière en utilisant des mesures de la teneur en dioxyde de carbone.

a. Tubes à lecture directe

Dans le cas de la méthode colorimétrique à lecture directe, une pompe manuelle sert à aspirer de l'air à travers un tube de verre garni d'un composé spécifique. La longueur de la tache observée dans le tube de prélèvement est proportionnelle à la concentration de gaz carbonique et elle est lue directement sur le tube de prélèvement. Le tube ne peut être utilisé qu'une seule fois. La méthode à lecture directe est exacte à (25 p. 100.

D'autres moniteurs à lecture directe fonctionnent par diffusion et ils sont déployés pendant 1-8 heures. Ces dispositifs fournissent une mesure moyenne de la teneur en dioxyde de carbone pour la période des mesures et à peu de frais, cette méthode permet d'obtenir une valeur moyenne pondérée en fonction du temps.

b. Analyseurs à infrarouge

Les analyseurs à infrarouge sont constitués de cellules à échantillons et de cellules de référence, d'un détecteur et d'une source de rayonnement infrarouge à large bande. Ces analyseurs en continu à lecture directe répondent rapidement et ils peuvent être déplacés d'un endroit à un autre pour fournir une mesure instantanée de la teneur en dioxyde de carbone. Il faut soigneusement établir le zéro et effectuer le réglage de l'échelle; le dispositif doit être étalonné avant et après chaque journée au cours de laquelle on a effectué des essais. Il faut laisser l'appareil atteindre l'équilibre thermique avant de le faire fonctionner.

Les avantages de l'analyseur infrarouge sont les suivants : il est portable, sensible, donne des mesures instantanées et permet d'effectuer une surveillance continue. Par contre, il présente des inconvénients, à savoir : son coût, sa tendance à dériver avec le temps, sa sensibilité aux chocs mécaniques et la nécessité d'un étalonnage fréquent.

5.2.2.3 Stratégie d'intervention. Il est possible d'améliorer l'efficacité de la ventilation par les moyens suivants :

- Ajustement et rééquilibrage du système de ventilation (diffuseurs d'alimentation d'air et de retour d'air) en fonction du taux d'occupation, de la chaleur et des endroits où sont produits des contaminants
- Augmentation de l'apport d'air de l'extérieur
- Élimination des obstructions bloquant les plénums de retour d'air

- Modulation des relations de pression, aération des zones où des polluants sont produits
- Modifications de la relation source/distribution en changeant la disposition physique des diffuseurs d'alimentation et de retour d'air ou les meubles et les cloisons
- Amélioration du système de répartition de l'air en augmentant la capacité du ventilateur du système d'alimentation en air ou du système de retour d'air.

5.2.3 Mouvement de l'air

Le mouvement de l'air dans un bâtiment est un paramètre de confort facilement identifiable qui représente le déplacement de l'air par convection ou ventilation. Si le mouvement de l'air dans un espace occupé est inadéquat, les occupants peuvent se plaindre d'un manque d'air. La pression de l'air dans les conduites peut se révéler trop faible pour permettre une circulation adéquate de l'air ou le système de ventilation peut être déséquilibré.

Quatre renouvellements de l'air à l'heure assurent un léger mouvement de l'air ainsi que la dispersion continue des contaminants. Un mouvement de l'air trop important produit des courants d'air ou un refroidissement local indésirable du corps humain. L'ASHRAE recommande que le mouvement moyen de l'air dans la zone occupée pendant l'hiver ne dépasse pas 0,15 m/s; le mouvement de l'air en été ne doit pas dépasser 0,25 m/s.

Lorsque le taux d'occupation du bâtiment ou ses utilisations sont modifiés ou lorsque l'on ajoute de l'équipement de bureau comme des photocopieuses, des ordinateurs et des imprimantes, il est probable que l'on ait négligé d'effectuer les ajustements nécessaires de l'alimentation en air. Pour assurer que chaque diffuseur permette un bon mouvement de l'air dans la zone desservie, le système peut devoir être rééquilibré.

Le mouvement de l'air est soumis à l'action combinée des systèmes mécaniques régulés et de forces naturelles incontrôlées. Les différences de pression déplacent les polluants atmosphériques à travers les fenêtres, les portes, les craques, les trous, les rainures, les cages d'escalier, les cages d'ascenseur et autres ouvertures.

5.2.3.1 Liste de vérification

- Se renseigner sur les changements récents apportés à l'aménagement physique et à l'utilisation de l'espace.
- Vérifier si les diffuseurs d'air d'alimentation ne fournissent pas trop d'air et s'ils ne sont pas bloqués.

- Si les diffuseurs sont munis de déflecteurs, vérifier si ces derniers sont ajustés de manière appropriée.
- Vérifier si les grilles de retour d'air ne sont pas bloquées.
- Vérifier si les boîtes de mélange situées au plafond sont bien ajustées et si les positions des registres sont appropriées.
- Prendre note des conduites d'évacuation et des diffuseurs qui se trouvent côte à côte.
- Vérifier l'état des filtres dans les unités de périmètre et les systèmes qui se trouvent dans les plafonds.
- Vérifier si les conduites sont en bon état et si elles sont raccordées de manière appropriée.

5.2.3.2 Méthodes de mesure et équipement. Le mouvement de l'air est habituellement mesuré à la fois dans les conduites de ventilation, où il est relativement rapide, et dans les bureaux, où il faut souvent maintenir une faible vitesse.

a. Tubes à fumée

Le tube à fumée est l'un des dispositifs les plus utiles pour effectuer les mesures qualitatives de la circulation de l'air et de sa direction : il permet de retracer le mouvement des contaminants et de déterminer les différences de pression. Les tubes à fumée sont peu coûteux et ils sont souvent utilisés lors de la visite initiale. En utilisant un tube à fumée dans le milieu d'une pièce, on pourra déterminer plus facilement comment l'air circule à l'intérieur du local. Si la fumée se disperse en l'espace de quelques secondes, on peut supposer que l'air circule bien, alors que si la fumée reste sur place, on peut conclure que l'air circule mal.

La fumée dégagée près des diffuseurs et des grilles de retour fournit une indication générale du mouvement de l'air. Cette méthode facilite l'évaluation du système d'alimentation en air et de retour d'air et elle aide à déterminer si l'air d'alimentation atteint réellement le lieu de travail. Comme la fumée en question est ordinairement, en réalité, une vapeur acide, il vaut mieux ne pas l'inhaler.

b. Anémomètres thermiques

Les anémomètres thermiques donnent une lecture directe de la vitesse de l'air. L'air qui circule refroidit un détecteur, habituellement un fil chaud, proportionnellement à sa vitesse. Comme la sonde est non directionnelle, il faut s'assurer de bien orienter le détecteur.

c. Dispositifs de mesure du confort thermique

Les dispositifs de mesure du confort thermique permettent de mesurer tous les paramètres liés au confort comme la température radiante moyenne, la température de l'air, le taux d'humidité et le mouvement de l'air. Ces paramètres sont intégrés de manière à produire un «niveau de confort». Ces dispositifs sont coûteux et les résultats ne sont pas concluants.

5.2.3.3 Stratégie d'intervention

- Débloquer les diffuseurs et les grilles de retour d'air aux endroits où c'est nécessaire. Les courants d'air causés par les diffuseurs d'air d'alimentation peuvent être déviés au moyen de déflecteurs.
- Parfois des surfaces thermiques inégales comme les fenêtres, les bordures ou les sols froids peuvent créer des courants de convection désagréables. On peut souvent résoudre le problème en isolant simplement la surface froide.
- Lorsque les locaux occupés sont réaménagés, il faut vérifier si l'air circule adéquatement dans l'espace réaménagé. Il peut se révéler nécessaire de rééquilibrer le système de circulation de l'air.

5.2.4 Monoxyde de carbone

Le monoxyde de carbone est un gaz incolore, inodore et toxique produit par une combustion incomplète. La pollution par le monoxyde de carbone résulte de la mauvaise évacuation des gaz de combustion ou de leur retour dans le bâtiment. Il est recommandé de mesurer la teneur en monoxyde de carbone si les occupants se plaignent d'odeurs de gaz d'échappement ou si l'on soupçonne que des problèmes sont causés par des gaz de combustion intérieurs.

Dans les immeubles à bureaux et dans les bâtiments commerciaux, les contaminants résultant de la combustion proviennent de la fumée de tabac, des garages et des quais de chargement qui sont reliés à des lieux de travail. Des contaminants peuvent être aspirés jusqu'aux zones desservies par le système de traitement de l'air à partir des prises d'air situées au niveau du sol ou à proximité des véhicules ou d'autres sources de combustion.

La norme ASHRAE 62-1989 indique que la limite d'exposition moyenne de 8 heures pour le monoxyde de carbone ne devrait pas dépasser 9 ppm. Toutefois, des concentrations supérieures à 5 ppm signalent la présence indésirable de polluants causés par une combustion; donc, une fois localisés, ces polluants doivent être évacués.

Le monoxyde de carbone est très toxique. Il se combine à l'hémoglobine du sang, réduisant ainsi l'apport d'oxygène au corps. Une exposition à des concentrations élevées se manifeste par les symptômes suivants : maux de tête, vigilance diminuée, symptôme de la grippe, nausée, fatigue, respiration rapide, douleur de poitrine, confusion et perte de jugement. Le degré de gravité de ces symptômes dépend de l'état général de santé et des différences individuelles de sensibilité de sorte que les réactions spécifiques à des concentrations données varieront d'un individu à l'autre.

5.2.4.1 Liste de vérification

- L'étude du plan d'étage ou des entretiens avec le responsable du bâtiment peuvent permettre de déceler des problèmes éventuels.
- Inspecter le quai de chargement et les garages :
 - Sont-ils bien aérés? Les bouches d'évacuation ou sorties d'air sont-elles bloquées?
 - Le moteur de camions ou de voitures est-il en marche?
 - Y a-t-il une voie d'accès entre le quai ou le garage et les autres zones du bâtiment?
 - Des cages d'escalier, des cages d'ascenseur et des conduites risquent-elles d'acheminer les gaz d'échappement des véhicules et les vapeurs de diesel?
 - Le garage est-il équipé de détecteurs de monoxyde de carbone (pour le contrôle de la ventilation) et d'alarmes bien étalonnés et en état de fonctionner?
 - La ventilation est-elle mise en marche uniquement en période de pointe?
 - Un générateur au diesel est-il situé près d'une entrée d'air?
- Inspecter les bureaux :
 - Les occupants sont-ils malades ou se plaignent-ils de maux de tête, de fatigue, d'étourdissement et de nausée?
 - Les occupants travaillent-ils à proximité de sources possibles de produits de combustion?
 - Les cuisinières et les autres sources sont-elles équipées de systèmes d'évacuation?

- Les odeurs ou symptômes se manifestent-ils aux heures de pointe?
- Les prises d'air sont-elles situées à proximité d'une rue achalandée ou d'autres systèmes d'évacuation contenant des produits de combustion? Les prises d'air extérieures situées sous le niveau du troisième étage peuvent conduire les vapeurs dégagées par les véhicules, les garages et les quais de chargement.

5.2.4.2 Méthodes de mesure et équipement. Les mesures doivent être prises près des sources, des zones faisant l'objet de plaintes, des cages d'escalier et des ascenseurs reliés aux sources.

a. Tubes à lecture directe

Les tubes à lecture directe constituent une méthode de mesure peu coûteuse employée pour l'échantillonnage au hasard. Un volume connu d'air est aspiré à travers un tube de détection au moyen d'une pompe manuelle. La longueur de la tache est proportionnelle à la concentration de monoxyde de carbone et elle peut être lue directement (en ppm) sur le tube détecteur. Toutefois, les mesures ne sont pas exactes; la limite de détection devrait être inférieure à 5 ppm.

Les tubes pour échantillonnage prolongé munis d'une pompe de prélèvement peuvent être utilisés pour obtenir une concentration moyenne pendant de plus longues périodes.

b. Analyseurs électrochimiques

Les analyseurs électrochimiques sont de petits détecteurs compacts qui fournissent des résultats immédiats, exacts et utiles pour les recherches ou les mesures continues. Ils permettent de prélever l'air par diffusion ou au moyen d'une petite pompe. Ces dispositifs sont constitués d'une cellule électrochimique dans laquelle le monoxyde de carbone est oxydé en dioxyde de carbone et produit un signal électrique proportionnel.

Ces dispositifs sont moins coûteux que les analyseurs infrarouges, ils sont faciles à utiliser et peuvent fonctionner pendant de longues périodes avec des piles standard. Il faut effectuer un étalonnage pour ajuster le zéro et régler l'échelle des concentrations.

c. Moniteurs infrarouges

Les moniteurs infrarouges sont des unités à lecture directe légères et portatives. Elles sont habituellement plus coûteuses que les moniteurs électrochimiques. Certains moniteurs électrochimiques et infrarouges permettent d'emmagasiner des données qui peuvent alors être comparées à l'achalandage de la circulation.

Le gaz cible est décelé par sa raie d'absorption caractéristique dans la région infrarouge du spectre électromagnétique. Le détecteur produit un signal électrique basé sur la différence d'absorption entre une cellule de référence et une cellule à échantillon.

5.2.4.3 Stratégie d'intervention. Lorsque la concentration de monoxyde de carbone est supérieure à 5 ppm, il peut y avoir un problème. On peut habituellement résoudre les problèmes de la manière suivante :

- en s'assurant que les bureaux situés à proximité des garages et des quais de chargement sont sous une pression positive;
- en faisant augmenter la ventilation dans la zone problème;
- en fermant les voies d'accès reliant la zone contaminée et l'espace occupé et en s'assurant que les portes sont bien étanches;
- en modifiant le système de ventilation (p. ex. en installant une bouche d'évacuation ou éloignant une prise d'air extérieure d'une bouche d'évacuation);
- en modifiant le système de fonctionnement (p. ex. arrêter les moteurs en attendant le service);
- en éliminant ou en déplaçant la source;
- en recherchant des fuites dans les systèmes de chauffage alimentés au gaz et en récupérant les produits de combustion.

5.2.5 Formaldéhyde

Le formaldéhyde est un gaz incolore. Une odeur âcre est souvent révélatrice de sa présence en concentration supérieure à 0,2 ppm. Le formaldéhyde est présent lorsque des vapeurs sont dégagées par des matériaux de construction (p. ex. des tapis, des panneaux de particules, des tissus), des liquides de nettoyage et des adhésifs.

Les concentrations intérieures dépendent de l'âge de la source, du taux de ventilation, des températures intérieures et extérieures et du taux d'humidité. Les concentrations de formaldéhyde peuvent aussi varier

dans une proportion allant jusqu'à 50 p. 100 d'une journée à l'autre et d'une saison à l'autre.

Les résultats mesurés peuvent être comparés aux diverses recommandations existantes, les concentrations dans les bureaux devant normalement être inférieures à 0,1 ppm.

Le formaldéhyde est un irritant et un sensibilisateur connu. Parmi les symptômes qu'il provoque, on compte les suivants : gorge sèche ou douloureuse, saignements de nez, maux de tête, fatigue, problèmes de mémoire et de concentration, nausée, étourdissements, manque de souffle et brûlement, picotement et douleur dans les yeux. On a déterminé que les effets irritants apparaissaient en présence de concentrations de l'ordre de 0,5 ppm en moyenne et on a signalé que des concentrations de seulement 0,01 ppm pouvaient gêner les personnes sensibles.

D'après des études effectuées chez des animaux, le formaldéhyde est un cancérigène. L'*American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH) a déterminé que le formaldéhyde était un «agent cancérigène soupçonné pour les humains», et établit la valeur limite d'exposition-plafond (TLV-C) à 0,3 ppm.

5.2.5.1 Liste de vérification

- Examiner les dossiers pour déterminer si des rénovations ont récemment eu lieu, à savoir : peinture, installation de panneaux de contreplaqué ou de particules, remplacement des tapis et installation de nouveaux meubles.
- Se renseigner sur les méthodes de nettoyage.

5.2.5.2 Méthodes de mesure et équipement. Parmi les dispositifs permettant de mesurer les concentrations de formaldéhyde, on compte des échantillonneurs ponctuels, continus et à pondération en fonction du temps. Certains appareils fournissent des lectures directes de la concentration de formaldéhyde en parties par million, alors que d'autres exigent l'analyse des échantillons en laboratoire.

a. Tubes à lecture directe

Cette méthode fait appel à des tubes détecteurs contenant une substance qui réagit avec le formaldéhyde pour produire un changement de couleur mesurable. Il existe des tubes pour plusieurs gammes de sensibilité. Les concentrations peuvent être lues directement d'après la longueur de la tache sur le tube étalonné. Les tubes doivent être munis d'une pompe manuelle ou mécanique.

Cette méthode n'est pas très sensible aux concentrations que l'on peut normalement mesurer à l'intérieur, mais elle peut être utile pour déterminer les sources et les évaluer. Certains échantillonneurs peuvent mesurer des concentrations de l'ordre de 0,2-5 ppm.

b. Analyse chimique

Au cours de l'analyse chimique, on prélève le formaldéhyde dans un milieu sorbant, on le traite chimiquement, puis on le dose pour déterminer sa concentration.

Les échantillonneurs passifs sont de petits dosimètres portables qui prélèvent des échantillons par diffusion sur un milieu traité. L'échantillon est analysé par la personne chargée de l'enquête ou au laboratoire à l'aide d'une méthode colorimétrique ou chromatographique. Les échantillonneurs passifs sont peu coûteux et comprennent peu de matériel, et leur installation exige peu de formation. Ils possèdent une bonne sensibilité dans la plage des ppb et ils permettent de déterminer la concentration moyenne de formaldéhyde pendant la période de mesure, normalement entre une journée et une semaine.

Avec les méthodes actives d'échantillonnage, il faut une pompe et un barboteur. Une certaine formation est recommandée, et il faut préparer des solutions ou des adsorbants solides et les traiter en laboratoire.

c. Détecteur électrochimique

Le détecteur électrochimique est un analyseur actif à lecture directe. Le formaldéhyde réagit électrochimiquement sur l'électrode de mesure, ce qui produit un courant dont l'intensité est proportionnelle à la concentration. Une petite pompe à air intégrée au détecteur prélève continuellement des échantillons d'air. Le seuil de détection se trouve dans la gamme 0,02 - 0,05 ppm.

Ces dispositifs ont l'avantage d'être portatifs, de donner rapidement une réponse, d'être simples à utiliser et de pouvoir donner des mesures continues. Leurs inconvénients sont leur coût, la nécessité d'un certain apprentissage pour connaître la façon de les étalonner et de les entretenir, ainsi que la durée de vie limitée du détecteur.

5.2.5.3 Stratégie d'intervention.

Il faut réduire au minimum les concentrations de formaldéhyde dans l'air intérieur en faisant à la fois appel à des mesures de limitation de la source et de limitation par la ventilation.

Parmi les méthodes de limitation de la source, on compte les suivantes :

- élimination ou réduction de la source (sélection des produits qui dégagent le moins d'émissions, déplacement des matériaux produisant des émissions à un endroit mieux ventilé)
- blocage de la source au moyen d'une barrière (comme un fini de polyuréthane)
- avant leur installation, entreposage des meubles et des matériaux de construction jusqu'à ce qu'ils ne dégagent plus d'émissions.

Parmi les méthodes de limitation par la ventilation, mentionnons les suivantes :

- augmentation de l'apport d'air de l'extérieur pendant les heures d'occupation et de non-occupation des locaux;
- modulation des relations de pression de l'air (évacuation locale, élimination des voies empruntées par les polluants);
- modulation des relations sources-répartition (déplacement des occupants, blocage de la recirculation de l'air contaminé).

5.2.6 Particules

Les particules sont des matières solides ou liquides dont le diamètre aérodynamique varie de 0,005 à 100 μm . Les poussières, les vapeurs, la fumée et les organismes comme les virus, les grains de pollen, les bactéries et les spores de champignons sont constitués de particules solides, alors que la brume et le brouillard sont constitués de particules liquides. Les particules présentes à l'intérieur peuvent provenir de sources intérieures et extérieures et elles peuvent être aspirées dans le bâtiment par infiltration et par l'intermédiaire des prises d'air extérieures. Le système de ventilation mécanique peut lui-même être une source de particules (p. ex. les additifs pour humidificateurs, les dépôts calcaires, la rouille, les désinfectants, les organismes biologiques, l'isolant des conduites et des tuyaux).

Les fibres, qu'elles soient synthétiques ou naturelles, sont également considérées comme des particules. Les fibres d'amiante ne sont pas incluses dans le présent rapport car elles sont traitées en profondeur dans d'autres publications. Les feuilles d'information sur les fibres de verre respirables portent la mention suivante : «d'après des études réalisées chez des animaux de laboratoire, la laine en fibres de verre a été classée comme étant une cause possible de cancer». Bien qu'il n'existe pas actuellement de normes de confort pour les fibres de verre respirables, il semble prudent de réduire l'exposition au minimum en appliquant des méthodes de travail sûres. Les lieux de travail en rénovation doivent être cloisonnés, les tuiles de plafond, l'isolant protégeant les tuyaux, les barrières sonores, etc., qui sont endommagés, doivent être remplacés ou réparés.

La gamme des dimensions nuisibles pour la santé humaine et la QAI s'étend de 0,1 à 10 μm . Les particules dont les dimensions sont inférieures à 0,1 μm sont généralement exhalées et la plupart des particules supérieures à 10 μm seront filtrées par le nez. Les particules se répartissent dans la catégorie des particules totales en suspension (PTS) ou dans la catégorie des particules respirables en suspension (PRS) laquelle est constituée de particules de moins de 10 μm . Les petites particules qui atteignent les régions thoraciques ou inférieures des voies respiratoires sont à l'origine de la plupart des effets nocifs sur la santé et les particules de 10 μm et moins (PM_{10}) font l'objet de recommandations. La norme ASHRAE 62-1989 a adopté la norme de l'*Environmental Protection Agency* des É.-U., fixée pour les PM_{10} à 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dans le cas d'une exposition annuelle et à 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dans le cas d'une exposition quotidienne.

Dans les immeubles à bureaux, la concentration moyenne des particules dans un milieu sans fumeur est de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dans les milieux où se trouvent des fumeurs, elle peut varier de 30 à 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Des concentrations excessives de particules peuvent causer des réactions allergiques comme la sécheresse des yeux, les problèmes de verres de contact, une irritation du nez, de la gorge et de la peau, de la toux, des étournements et des difficultés respiratoires. Les effets de l'exposition aux particules de fumée de tabac varient des maux de tête et de l'irritation à court terme des yeux, du nez et de la gorge à l'aggravation de l'état des personnes déjà atteintes de maladies, notamment de maladies respiratoires et cardiaques, d'allergies à d'autres substances et de cancer.

5.2.6.1 Liste de vérification. Les zones récemment rénovées, celles qui font l'objet de plaintes et la salle réservée à l'équipement mécanique doivent être inspectées. Les questions suivantes doivent être posées lorsqu'on évalue l'éventualité d'une contamination par des particules :

- Y a-t-il des matières qui entrent dans le bâtiment par la prise d'air?
- Les registres d'air extérieurs sont-ils munis de grilles et l'entrée d'air est-elle libre de débris et de saleté? Y a-t-il de la poussière sur les surfaces?
- Le système de filtration est-il conçu pour des filtres primaires, dont l'efficacité contre les poussières se situe entre 10 et 30 %, ou pour des filtres secondaires, dont l'efficacité contre les poussières varie entre 40 et 85 p. 100?
- Les filtres sont-ils installés et entretenus adéquatement?
- L'équipement servant à l'humidification dégage-t-il dans l'air des particules (humidificateurs pulvérisateurs ou ultrasoniques, désinfectants chimiques, corrosion, rouille)?
- Y a-t-il des marques de craie ou des odeurs de ciment près de l'humidificateur?
- Y a-t-il des humidificateurs ultrasoniques personnels dans le lieu de travail?
- Y a-t-il des signes indiquant que l'isolant des conduites ou des UTA a été endommagé?
- Y a-t-il des marques de saleté ou de la poussière blanche sur les diffuseurs, signe que des particules émanent du système de ventilation?
- Y a-t-il des fumeurs à l'intérieur du bâtiment?
- De grandes quantités de papier sont-elles entreposées ou déplacées, ou encore procède-t-on au déchetage du papier?

5.2.6.2 Méthodes de mesure et équipement. On mesure la masse par volume d'air prélevé ou par le nombre de particules. La norme d'exposition est basée sur la masse.

a. Méthode gravimétrique

Dans le cas de la méthode gravimétrique, une pompe d'échantillonnage portative sert à aspirer un volume mesuré d'air à travers un filtre enfermé dans une cassette. Les matières ainsi prélevées sont déposées sur le filtre. La différence entre la masse du filtre sec avant et après le prélèvement correspond à la masse des particules. Il existe des filtres à masse appariée qui permettent de tenir compte du changement d'humidité dans le filtre pendant et après l'échantillonnage et d'éliminer ainsi la nécessité de peser le filtre avant le prélèvement.

Dans ce cas, on utilise un filtre de 37 mm et une pompe étalonnée pouvant assurer au moins 8 heures d'échantillonnage à raison de 2 L/min. On peut également déterminer la présence de particules ou de fibres à l'aide d'un microscope.

Pour séparer les particules en fonction de leur dimension, habituellement en classes de moins de 10 μm , on peut avoir recours à un cyclone en nylon. Une autre méthode consiste à utiliser une série de plaques de sélection en fonction de la taille ou un impacteur en cascade et à recueillir des particules à chaque étape sur des filtres.

La filtration est la méthode la plus simple et la moins coûteuse dont on dispose; toutefois, il faut posséder une balance précise et appliquer des mesures strictes de contrôle de la qualité. Un important volume d'air doit être échantillonné si l'on veut obtenir des mesures exactes. Le seuil de détection est de 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

b. Diffusion optique

Dans le cas de la méthode de diffusion optique, de l'air passe à travers un sélecteur de taille pour entrer dans une cellule optique où la présence de particules produit la diffusion de la lumière. Le degré de diffusion est lié au nombre de particules. Selon l'appareil et la durée de la période d'échantillonnage, on peut mesurer des concentrations de 0,001-200 mg/m^3 . Les mesures sont indirectement liées aux concentrations massiques, un facteur étant utilisé pour convertir le nombre de particules en masse. Certains instruments assurent la numération des particules et la concentration suivant la dimension; ils conviennent particulièrement aux comparaisons entre intérieur et extérieur ou entre sites différents.

Ces appareils fournissent des résultats immédiats et peuvent être utilisés par du personnel sans formation spéciale, ce qui en fait un choix privilégié pour les évaluations et les visites.

c. Résonance piézoélectrique

Les moniteurs piézoélectriques font passer l'air à travers un sélecteur de taille et les particules sont soumises à une précipitation électrostatique sur un détecteur à cristal de quartz. Les particules prélevées modifient la fréquence d'oscillation du cristal et ces changements sont mis en relation avec la masse des particules recueillies. Ces appareils présentent un intervalle de mesures de 0,005-20 mg/m³ et ils peuvent être utilisés par des opérateurs ayant reçu un minimum de formation.

Les moniteurs piézoélectriques permettent d'obtenir des concentrations en masse réelle, en temps réel. Ils ne fournissent pas d'échantillons pour analyses ultérieures. Ils peuvent être utilisés avec des enregistreurs pour donner des mesures continues.

5.2.6.3 Stratégie d'intervention. Pour réduire les concentrations de particules, on peut procéder de la manière suivante :

- limiter, évacuer, bloquer les émissions ou déplacer la source;
- améliorer le système de filtration;
- accroître l'apport d'air extérieur;
- éviter la recirculation d'air contenant des contaminants.

Pour éliminer efficacement les fortes concentrations de particules causées par les fumeurs, on peut interdire l'usage du tabac ou encore confiner cet usage dans une pièce prévue à cet effet, maintenue sous pression négative et équipée d'un système d'évacuation particulier.

5.2.7 Composés organiques volatils

L'expression «composés organiques» désigne tous les produits chimiques qui contiennent du carbone et de l'hydrogène. Les composés organiques volatils sont ceux dont le point d'ébullition se situe environ dans la gamme de 50-250 °C. Il existe probablement plusieurs milliers de produits chimiques synthétiques et naturels qui peuvent être qualifiés de COV. Parmi ces composés, plus de 900 ont été décelés dans l'air intérieur et plus de 250 étaient présents en concentration supérieure à 1 ppb. Certains des composés les plus répandus ainsi que leurs sources sont indiqués dans le Tableau 3.

Tableau 3
Les COV courants et leurs sources

Produit chimique	Sources
Acétone	Peintures, revêtements, finisseurs, décapants, diluants, produits de calfeutrage
Acétate de <i>n</i> -butyle	Tuiles acoustiques pour plafonds, linoléum, matériaux d'étanchéité
Dichlorobenzène	Tapis, cristaux antimites, assainisseurs d'air
Hydrocarbures aliphatiques (octane, décane, undécane, hexane, isodécane, mélanges, etc.)	Peintures, colles, essence, sources de combustion, photocopieurs à processus liquide, tapis, linoléum, produits de calfeutrage
Hydrocarbures aromatiques (toluène, xylènes, éthylbenzène, benzène)	Sources de combustion, peintures, colles, essence, linoléum, revêtements muraux
Phényle-4 cyclohexène	Tapis, peintures
Solvants chlorés (dichlorométhane ou chlorure de méthylène, trichloroéthane)	Produits de nettoyage et de protection pour meubles et tapis, vernis, peintures, décapants pour peinture, solvants industriels, liquides correcteurs, vêtements nettoyés à sec
Terpènes (limonène, α -pinène)	Désodorisants, produits de nettoyage et de polissage, tissus, assouplisseurs pour tissus, cigarettes

Les concentrations de COV à l'extérieur doivent être faibles (0,1 mg/m³ ou moins) en l'absence de sources. Par contre, les concentrations à l'intérieur peuvent être beaucoup plus élevées. En général, les concentrations dans les bureaux varient de quelques microgrammes à quelques milligrammes par mètre cube. Tous les immeubles contiennent des sources très variées de produits chimiques, notamment des plastiques, de la fumée de cigarette, de la cire pour plancher, des produits de nettoyage et des substances dégagées par une combustion, des imprimantes ou des photocopieurs à processus liquide.

La caractérisation et la mesure de chaque COV est coûteuse et prend du temps. De plus, le total est invariablement sous-estimé parce que les COV présents en faible concentration sont difficiles à caractériser ou à mesurer. La notion de COV totaux (COVT) a été élaborée pour faire face à cette situation. La mesure des COVT donne la quantité totale de COV sans distinction entre les différents produits chimiques.

5.2.7.1 Normes. Les valeurs limites d'exposition (TLV) correspondant aux substances chimiques individuelles qui ont été adoptées par l'ACGIH ne conviennent pas à l'air des bureaux pour plusieurs raisons. Par exemple, les TLV de l'ACGIH s'appliquent à des travailleurs de l'industrie qui peuvent être exposés à quelques contaminants connus en concentrations élevées pendant une semaine de 40 heures. On fournit habituellement aux travailleurs de l'industrie de l'équipement de protection adéquat (p. ex. ventilation des sources, vêtements protecteurs ou masques, appareils de respiration). De plus, ces travailleurs sont généralement des hommes jeunes et en bonne santé.

Par contre, les employés de bureau sont exposés, sans équipement de protection, à de faibles concentrations de contaminants très divers pendant des périodes dépassant souvent 40 heures par semaine. L'effet synergique de ces composés sur le confort des occupants n'est pas connu. De plus, la population que constituent les employés de bureau est beaucoup plus diversifiée que celle de l'industrie.

Il semblerait donc que des limites individuelles beaucoup plus faibles que les TLV de l'ACGIH conviennent mieux. La norme ASHRAE 62-1989 recommande d'utiliser le dixième des limites fixées par l'ACGIH dans le cas des composés pour lesquels il n'existe pas de norme de confort. Bien qu'aucune norme n'ait été établie pour le moment au Canada ou aux États-Unis pour les COVT, il est question d'une concentration cible de 1 et d'une limite d'intervention de 5 mg/m³. La communauté européenne a préparé une recommandation cible pour les COVT de 0,3 mg/m³, selon laquelle aucun des COV individuels ne doit dépasser 10 p. 100 de la concentration de COVT.

5.2.7.2 Effets sur la santé et le confort. Les recherches effectuées en Europe et en Amérique du Nord ont montré que des concentrations de COV beaucoup plus faibles que les TLV de l'ACGIH pouvaient causer de l'inconfort. Les symptômes d'une exposition à de faibles concentrations de COVT sont entre autres les suivants : fatigue, maux de tête, étourdissement, faiblesse, douleurs dans les articulations, insensibilité ou picotements périphériques, euphorie, serrement de poitrine, perte d'équilibre, vue brouillée, irritation de la peau et des yeux.

En présence de concentrations variant de 0,3 à 3 mg/m³, des odeurs, des irritations et de l'inconfort peuvent apparaître à cause de la présence de COVT combinée à des facteurs de confort thermique et d'agents stressants. Au-delà de 3 mg/m³ environ, on peut s'attendre à des plaintes; au-delà de 25 mg/m³, on a montré qu'il se produit un inconfort temporaire et une irritation respiratoire en présence des produits chimiques

couramment présents dans les immeubles à bureaux. Les niveaux que l'on retrouve typiquement dans les bureaux varient. Ils peuvent se situer au-dessus ou au-dessous des concentrations qui causent de l'inconfort.

Les personnes hypersensibles peuvent présenter de graves réactions lorsqu'elles sont exposées à de très faibles concentrations de divers COV. Elles peuvent réagir à des composés organiques qui sont dégagés par les matériaux de construction, les tapis et divers produits de consommation, notamment les produits cosmétiques, les savons, les parfums, le tabac, les plastiques et les teintures. Ces réactions peuvent avoir lieu à la suite d'une exposition à une seule dose sensibilisatrice ou à des doses répétées, après quoi une dose beaucoup plus faible peut provoquer des symptômes. L'exposition chronique à de faibles doses peut aussi causer des réactions. Les symptômes sont habituellement non spécifiques et ils peuvent s'avérer insuffisants pour permettre de déterminer quels sont les composés nuisibles.

Comme les connaissances actuelles sur les effets toxicologiques et sensoriels des COV et de leurs mélanges sont incomplètes, il est souhaitable de réduire l'exposition globale aux COV.

5.2.7.3 Liste de vérification. Les lieux faisant l'objet de plaintes ainsi que les sources potentielles de COV doivent être inspectés, notamment les ateliers d'imprimerie, les chambres noires de photographie, les laboratoires et les entrepôts de produits chimiques.

Les questions suivantes doivent être posées :

- Le bâtiment a-t-il moins d'un an ou a-t-il été rénové ou redécoré, ou y a-t-on remplacé ou ajouté des meubles depuis un mois?
- Emploie-t-on des produits de nettoyage appropriés? Le moment de leur utilisation est-il bien choisi, de manière à réduire l'exposition des occupants?
- Certaines des activités nécessitent-elles l'utilisation d'importantes quantités de produits chimiques, particulièrement de solvants très volatils? Y a-t-il des odeurs de solvant? Les matières imprégnées et les solvants sont-ils éliminés de manière appropriée?
- A-t-on recours à une ventilation accrue ou à un système de ventilation distinct dans le cas de sources localisées? Le système de ventilation favorise-t-il la recirculation des COV provenant d'ailleurs dans le bâtiment?

5.2.7.4 Méthodes de mesure et équipement. D'après les résultats de l'évaluation préliminaire, on détermine les points de repère et les endroits à tester appropriés. Les suppositions et les méthodes d'analyse utilisées doivent être clairement indiquées avec les résultats relatifs aux COV.

a. Tubes à lecture directe

Les tubes à lecture directe renferment des produits chimiques qui réagissent avec certains COV individuels pour produire un changement de couleur. Un volume d'air fixe est aspiré à travers le tube au moyen d'une pompe manuelle. La longueur de la tache observée est proportionnelle au volume d'air échantillonné et à la concentration des COV. Cette méthode a été mise au point pour être appliquée dans l'industrie et elle ne convient que dans une faible mesure aux bureaux à cause des concentrations de COV beaucoup plus faibles qui s'y trouvent. Cette méthode peut toutefois être utile à des fins de dépistage. Sa sensibilité se situe dans la gamme des parties par million.

b. Dosimètres passifs

Les échantillonneurs passifs de vapeurs organiques permettent de déceler des quantités inférieures à une partie par million. Ces échantillonneurs contiennent du charbon ou un autre milieu servant d'adsorbant et les périodes d'échantillonnage varient de 8 heures à une semaine. L'échantillonneur est envoyé à un laboratoire qui effectuera l'analyse et déterminera la concentration moyenne.

c. Détecteurs à photoionisation

Les détecteurs à photoionisation (DPI) sont des appareils à lecture directe qui permettent de déceler des produits chimiques atmosphériques en les brisant d'abord en fragments chargés électriquement au moyen d'une lampe ultraviolette (UV), puis en décelant les fragments (ions) sur un écran métallique. Le nombre de COV pouvant être décelés augmente avec l'énergie de la lampe UV : 11,7 électrons-volts correspondent à la quantité d'énergie la plus élevée qui existe habituellement et c'est celle qui convient le mieux dans le cas des bureaux. Noter qu'il n'est pas possible d'identifier les produits chimiques individuels qui sont présents.

On a mesuré des réponses pour un certain nombre de produits chimiques que l'on retrouve couramment dans l'air des bureaux. Comme ces réponses varient largement, l'exactitude du détecteur n'est probablement pas supérieure à 50 p. 100 lorsqu'on mesure les COVT. On recommande d'utiliser le toluène comme gaz d'étalonnage car il produit une réponse intermédiaire.

Les DPI sont des dispositifs de dépistage très utiles, qui permettent de localiser les sources de polluants ainsi que les voies de migration des polluants.

d. Détecteurs à ionisation de flamme

Dans le cas du détecteur à ionisation de flamme (DIF) utilisé pour mesurer les COVT, les produits chimiques présents dans l'air sont brûlés pour produire des produits ionisés qui génèrent un courant proportionnel à la concentration. Le processus d'ionisation est non spécifique et le résultat est présenté en temps réel.

Comme les DPI, les DIF sont utiles pour effectuer des travaux de recherche qualitatifs, p. ex. pour localiser des sources lors d'une visite, et pour déterminer les points de prélèvement des échantillons. La variabilité de la réponse est beaucoup moins élevée dans le cas du DIF que dans le cas du DPI. De plus, l'utilisation du DIF permet de déceler un plus grand nombre de COV.

Plusieurs appareils sont à la fois constitués d'un DIF pour le dépistage et d'un chromatographe à phase gazeuse (CG) portable permettant une analyse plus détaillée ainsi que la quantification de produits spécifiques.

e. Détecteurs à infrarouge

Les détecteurs à infrarouge sont des appareils à lecture directe convenant à la surveillance de COV individuels. Les modèles à longueur d'onde variable peuvent être ajustés pour permettre un balayage de plusieurs COV différents.

La sensibilité de ces détecteurs est de l'ordre des parties par million ou des fractions de partie par million, mais elle n'est pas aussi grande que celle d'un CG et la présence simultanée de plusieurs COV peut causer des perturbations.

Les appareils à lecture directe comme les DPI, les DIF et les détecteurs à infrarouge peuvent fonctionner plusieurs heures ou plusieurs jours avec des enregistreurs-papiers et des enregistreurs externes ou internes des données pour donner des profils des concentrations en fonction du temps.

f. Sorption active/analyse chimique

Pour la sorption active, on fait appel à des tubes garnis de sorbant qui piègent les COV lorsque l'air est pompé à travers les tubes. Parmi les sorbants utilisés, on compte des résines de polymère organique, comme Tenax, XAD ou du charbon actif. L'analyse fournit de l'information sur le type et la quantité de produits chimiques présents.

Dans le cas de l'*échantillonnage sur tube de charbon avec extraction par solvant*, on se sert de tubes de charbon et de pompes d'échantillonnage à piles; les COV sont prélevés et extraits avec un solvant, habituellement du disulfure de carbone. Pour l'analyse, on fait appel à la CG ou à la CG avec spectrométrie de masse (SM). La CG/SM donne plus de détails pour la caractérisation des produits chimiques présents.

Les tubes de charbon permettent de déceler avec une exactitude près de 100 p. 100 les hydrocarbures non polaires et les solvants d'hydrocarbures chlorés dont les points d'ébullition se situent entre 50 et 200 °C. Toutefois, certains produits chimiques (ceux qui ont tendance à se dissoudre dans l'eau plutôt que dans du solvant, comme l'ammoniaque et les produits utilisés dans les chambres noires) ne sont ni piégés ni extraits efficacement et leur détection est peu efficace. Un autre inconvénient de cette méthode réside dans le fait que les COV sont mesurés individuellement, de sorte qu'il faut faire la somme des mesures individuelles pour calculer les COVT. En présence de mélanges complexes de produits chimiques (p. ex. solvant pour photocopieuses à processus liquide), cette méthode sous-estime les COVT parce que de nombreux produits chimiques sont présents en quantité trop faible pour être mesurée.

L'*échantillonnage sur sorbants multiples avec désorption thermique* vise à améliorer la méthode sur tube de charbon de trois façons :

- Le fait d'utiliser des tubes contenant trois adsorbants accroît la capacité de piégeage des tubes à une gamme plus étendue de points d'ébullition.

- La désorption thermique permet de transférer les COV du tube à un CG ou à un CG/SM. Ceci permet d'accroître le nombre de COV décelés puisque ce sont seulement les produits chimiques piégés dans le tube de charbon qui se dissolvent dans le solvant pendant l'extraction qui seront transférés.
- L'échantillon est divisé; il est en partie acheminé directement jusqu'à un DIF qui décèle tous les produits chimiques présents dans l'échantillon quels que soient le type et la quantité présente. De cette façon, on obtient une meilleure mesure des COVT qu'avec la méthode des tubes de charbon. Le reste de l'échantillon est analysé par CG ou par CG/SM de la manière habituelle pour la caractérisation.

Il existe divers autres tubes adsorbants que l'on emploie à la fois avec l'extraction par solvant et avec la désorption thermique. Par exemple, il existe des tubes spécialement préparés pour prélever des dioxines ou des polychlorobiphényles (PCB). Il est également possible de mesurer des concentrations individuelles de produits chimiques par désorption thermique.

5.2.7.5 Stratégie d'intervention. Parmi les mesures permettant de limiter les émissions de COV, on compte la sélection de matières présentant un faible taux d'émission et une ventilation accrue pendant les 3 premiers mois de l'occupation des bâtiments neufs ou modernisés.

Les émissions chimiques résultant des activités des occupants ou des opérations d'entretien doivent être neutralisées. Parmi les mesures possibles, on compte les suivantes :

- accroître l'apport d'air de l'extérieur pour diluer les concentrations si la source est faible (p. ex. les émissions provenant des meubles neufs);
- entreposer les peintures, les agents de nettoyage et les solvants dans les zones munies d'un système d'évacuation distinct et non pas dans la chambre des systèmes mécaniques;
- choisir des photocopieurs à processus sec au lieu de photocopieurs à processus liquide si de nombreux appareils de ce genre sont utilisés dans l'immeuble;
- installer un système local d'évacuation pour les imprimantes et les chambres noires.

5.2.8 Microbes

La contamination de l'air intérieur par les microbes peut poser un problème sérieux. Un taux élevé d'humidité, une ventilation réduite, l'étanchéité plus grande des bâtiments et des systèmes de CVC qui produisent de l'eau ou de la condensation (humidificateurs, serpentins de refroidissement, etc.) permettent la croissance et la dispersion de divers microbes. Cette situation est inquiétante à cause de ses diverses répercussions sur la santé et le confort des humains.

Une grande variété de microbes (microorganismes) comme les champignons microscopiques (moisissures et levures), les bactéries, les virus et les amibes peuvent se retrouver à l'intérieur. La contamination de l'air intérieur par des microorganismes peut se produire dans de nombreuses circonstances. Une telle contamination se produit souvent lorsqu'un défaut du bâtiment, du système de CVC ou d'un autre système, permet la prolifération de microorganismes.

Les virus et les bactéries causent des maladies, mais l'air intérieur n'est généralement pas la cause des infections virales (p. ex. comme le rhume courant). Les virus ne survivent pas longtemps à l'extérieur de l'hôte et la transmission dépend du contact avec une personne infectée. Les bactéries comme *Legionella* et les espèces apparentées peuvent toutefois poser un problème de QAI important. La légionellose est une infection qui peut dégénérer en pneumonie si elle est dispersée à partir d'un site d'amplification jusqu'à la zone où respire un hôte sensible. Les tours de refroidissement, les condenseurs à évaporation et les systèmes à l'eau chaude peuvent constituer des sites d'amplification pour *Legionella* et ils peuvent disséminer les aérosols contenant les bactéries dans l'air intérieur. Les bactéries qui produisent des endotoxines peuvent aussi se retrouver dans certains types de systèmes d'humidification.

L'inhalation de concentrations très importantes de spores de champignons microscopiques peut entraîner une pneumonite d'hypersensibilité, mais celle-ci est rarement due à une exposition à l'intérieur d'un immeuble. L'exposition chronique à la plupart des champignons microscopiques peut provoquer des réactions allergiques et asthmatiques chez les humains et quelques rares espèces peuvent provoquer directement une maladie. Certaines moisissures sont «toxigènes» et produisent des mycotoxines qui s'accumulent souvent dans les spores. On a montré que l'inhalation de spores contenant certaines mycotoxines suscitait un grand nombre des symptômes normalement liés au SÉH.

Parmi les autres produits des champignons microscopiques, on compte certains COV. Certains composés (caractérisés par des odeurs de moisissure) se retrouvent uniquement en présence d'une croissance fongique active considérable. Selon certaines indications, ils pourraient contribuer au SÉH.

Il est important de se rappeler que certaines personnes (les sidatiques et les personnes au système immunologique déficient comme celles qui suivent une chimiothérapie) sont très sensibles à l'exposition à certains microbes.

5.2.8.1 Contexte. L'évaluation microbienne de l'air intérieur a débuté vers la fin des années 1950, époque à laquelle des infections secondaires (nosocomiales) touchant les patients ont suscité des inquiétudes dans de nombreux hôpitaux. Ces infections étaient entre autres causées par des microorganismes atmosphériques dispersés par le système de ventilation.

En Europe et en Amérique du Nord, on a signalé un certain nombre de cas d'une maladie ressemblant à la grippe («fièvre des humidificateurs») se manifestant par des malaises, de la fièvre, un manque de souffle, de la toux et des douleurs musculaires. Ces maladies résultent habituellement d'une réaction aiguë à des antigènes microbiens «aérosolisés» à partir d'éléments contaminés du système de CVC ou encore d'autres constituants du bâtiment qui peuvent avoir été endommagés par des inondations récurrentes ou des problèmes d'humidité. On a signalé diverses maladies respiratoires résultant d'une exposition à des champignons microscopiques dans certains bâtiments. Les personnes touchées sont habituellement soulagées lorsqu'elles quittent l'immeuble pendant plusieurs jours.

Les spores fongiques, particulièrement *Cladosporium* et *Alternaria* sont courants à l'extérieur pendant la saison de croissance et les principaux champignons microscopiques qui poussent sur les feuilles constituent 60 à 70 p. 100 des spores présents dans l'air. Ces champignons microscopiques peuvent provoquer des allergies, mais la plupart des gens ne sont pas touchés de façon particulière.

Certaines espèces de champignons qui ont la capacité physique de pousser et de s'accumuler à l'intérieur ou dans l'équipement de traitement de l'air diffèrent beaucoup des champignons microscopiques que l'on trouve sur les plantes et les feuilles. La condensation et l'accumulation d'eau permet la croissance de nombreux champignons microscopiques qui provoquent des allergies et d'autres problèmes de santé difficilement décelés à l'aide des méthodes médicales actuelles.

La présence de microorganismes à l'intérieur, en nombre suffisant ou suffisamment diversifiés pour causer des problèmes de santé ou de confort, dépend d'un certain nombre de facteurs. Les spores fongiques sont ubiquistes parce qu'ils habitent dans le sol. Les systèmes de CVC sont complexes et fournissent divers milieux où des populations microbiennes peuvent se développer. Les humidificateurs à pulvérisation d'eau contenant de l'eau stagnante, les filtres remplis de poussières organiques, les bacs de condensation des systèmes de refroidissement et les intérieurs caractérisés par un taux d'humidité trop élevé peuvent constituer dans certains cas des milieux propices à la prolifération des microbes. Dans les gros bâtiments, le système de CVC servira à transporter des micro-organismes du lieu de la contamination jusqu'au voisinage des occupants.

Aspergillus fumigatus, *Histoplasma capsulatum* et certains autres champignons microscopiques peuvent provoquer des maladies. Bien que rare dans les zones urbaines, les bâtiments exposés à de grandes quantités d'excréments d'oiseaux ou de chauves-souris présentent des risques. Il faut éliminer les perchoirs situés à l'intérieur ou à proximité des prises d'air. Les vieux bâtiments et les propriétés excédentaires et vacantes infestées par des oiseaux ou des chauves-souris doivent être modernisés ou démolis avec prudence.

5.2.8.2 Liste de vérification. Lors d'une visite, il faut déterminer où se trouvent les réservoirs microbiens et les sites d'amplification éventuels :

- prises d'air, unités filtrantes, ventilateurs et serpentins de refroidissement/chauffage, humidificateurs à pulvérisation, réservoirs, conduits, isolant, unités à induction et ventilo-convecteurs, plateaux d'égouttage et à condensat, puisards sales ou humides;
- odeurs de moisissure, odeur d'humidité, indications d'une inondation ou d'une fuite d'eau antérieure;
- humidificateurs portatifs et refroidisseurs d'eau qui contiennent des boues ou des algues;
- tuiles à plafond humides, sales ou portant des moisissures, plâtre/panneau de gypse, tapis, rebords/cadres de fenêtre.

Il faut intervenir le plus tôt possible pour corriger la situation dans les zones problèmes.

5.2.8.3 Méthodes de mesure et équipement. Les organismes microbiens présents dans l'air varient énormément; certains se présentent sous forme de particules viables et d'autres ne sont pas viables (spores morts, toxines et particules de dimension inférieure au micron). Pour que les champignons microscopiques se développent activement, il faut de l'eau, mais des spores fongiques peuvent être rejetés dans l'air pendant des mois après la disparition de l'eau. On entreprend l'échantillonnage de l'air afin de déceler et d'éliminer la contamination par les microbes et comme méthode de surveillance quantitative et qualitative. L'échantillonnage de l'air n'est pas un moyen infallible pour déterminer avec certitude s'il y a contamination par les microbes et il faut interpréter les résultats avec prudence.

La caractérisation des espèces fongiques est critique pour déterminer de manière précise si la situation est anormale ou dangereuse. Il faut faire appel à un mycologue possédant de l'expérience dans le domaine de la qualité de l'air. Un trop grand nombre de propagules fongiques ou un nombre peu élevé de certains champignons microscopiques pathogènes ou toxigènes peuvent causer des problèmes de santé ou d'inconfort. Lorsque les champignons microscopiques se développent à l'intérieur des bâtiments ou sur leur surface, ou encore à l'intérieur des systèmes, leur élimination est nécessaire.

Les quantités de champignons microscopiques sont traditionnellement évaluées par la mesure des unités formant colonie par mètre cube (UFC/m³) d'air, mesurées en prélevant des spores et en les laissant pousser sur une gélose. Cette méthode peut être qualifiée de semi-quantitative, car le prélèvement de spores qui présente des formes, des dimensions et des masses différentes pose des difficultés. En outre, tous les milieux sont sélectifs dans une certaine mesure. De plus, certains champignons microscopiques produisent moins de propagules que d'autres à degré égal de biomasse/activité fongique. Les spores de certaines espèces perdent rapidement leur viabilité, mais elles peuvent encore poser un problème. Le nombre de propagules dans l'air intérieur est très variable et il dépend de nombreux facteurs, notamment de l'activité dans la pièce, du fonctionnement du système de CVC, des conditions climatiques, de la vitesse du vent et du cycle de vie des microbes. Dans ce domaine, les recherches avancent.

Parmi les appareils de prélèvement pouvant être utilisés, on compte les impacteurs à une seule étape ou à étapes multiples et les échantillonneurs centrifuges produits par divers fabricants. On a montré que les concentrations de spores dans les bâtiments variaient d'un ordre de grandeur en moins d'une minute. De même, on a montré que les taux de récupération des espèces fongiques étaient directement corrélés avec le temps de prélèvement.

Les échantillons doivent être prélevés pendant le fonctionnement normal du système de CVC. Il peut être à conseiller d'effectuer le prélèvement tôt le lundi matin si le système de CVC n'a pas fonctionné pendant la fin de semaine. Des échantillons doivent être prélevés à plusieurs endroits, y compris à proximité des sorties d'air, au niveau des bureaux et dans la zone voisine. En outre, il est conseillé d'échantillonner des sources potentielles dans la salle où se trouve l'équipement mécanique, notamment le plénum d'approvisionnement en air situé en aval de l'humidificateur et la prise d'air extérieure.

Les échantillons superficiels doivent être prélevés avec des coton-tige stériles (p. ex. des coton-tige autoclavés, humidifiés, conservés dans des tubes) à la surface des diffuseurs, des pales des ventilateurs, des serpentins, des plateaux et des humidificateurs. Les échantillons sont déposés sur un milieu gélosé approprié contenant des antibiotiques. Cette méthode permet de déterminer les sources possibles de contamination.

5.2.8.4 Interprétation des résultats. Depuis 1989, le comité de l'ACGIH sur les bioaérosols a recommandé l'évaluation par ordre de rang comme méthode d'interprétation des données fournies par l'échantillonnage de l'air. Cette méthode d'interprétation a été adoptée depuis 1986 dans les recherches effectuées par le gouvernement du Canada. La présence d'au moins une espèce de champignon microscopique à l'intérieur, mais pas à l'extérieur, donne à penser qu'un amplificateur se trouve à l'intérieur du bâtiment. L'identification des espèces est critique à l'analyse. À cause des problèmes mentionnés ci-haut, il n'est pas possible de se baser principalement sur des recommandations numériques pour savoir s'il existe un problème. Cependant, des données numériques peuvent se révéler utiles dans certaines circonstances.

L'information recueillie à partir d'une importante série de données obtenues par des personnes expérimentées utilisant le même appareil a une valeur pratique. Les recherches effectuées dans plus de 110 immeubles du gouvernement fédéral au cours de plusieurs années ont donné lieu à la création d'une telle banque de données. Pour préparer les recommandations présentées ci-après, on a utilisé des données relatives aux champignons microscopiques obtenues à partir de quelque 3 000 échantillons prélevés entre 1986 et 1995 au moyen d'un échantillonneur centrifuge Reuter avec un temps de prélèvement de 4 minutes. Les données acquises avec d'autres échantillonneurs doivent être soumises

à une analyse analogue. Toutefois, si l'on utilise un temps de prélèvement de 4 minutes, les données numériques obtenues avec n'importe quel échantillonneur breveté seront probablement comparables.

- La présence confirmée de certains agents pathogènes (p. ex. *Aspergillus fumigatus*, *Histoplasma* et *Cryptococcus*) est considérée inacceptable. On devrait supposer que les excréments d'oiseaux ou de chauves-souris présents près des prises d'air, dans des conduites ou dans des locaux contiennent ces agents pathogènes. Il faut agir en conséquence. Certaines de ces espèces ne peuvent être mesurées au moyen de techniques d'échantillonnage de l'air.
- La présence persistente d'un nombre significatif de champignons toxigènes (p. ex. *Stachybotrys*, *toxigenic Aspergillus*, *Penicillium* et *Fusarium*) indique qu'une évaluation plus approfondie est nécessaire et que des mesures appropriées doivent être prises.
- La présence confirmée d'au moins une espèce fongique dans un pourcentage important des échantillons d'air intérieur, qui ne se retrouve pas dans les échantillons d'air extérieur, révèle la présence d'un amplificateur fongique. Il faut alors intervenir en conséquence.
- La mycoflore «normale» de l'air est qualitativement analogue et quantitativement moindre que celle de l'air extérieur. Dans les immeubles fédéraux, on a mesuré une moyenne, étalée sur trois ans, d'environ 40 UFC/m³ pour *Cladosporium*, *Alternaria* et pour des basidiomycètes non sporulants.
- En présence de plus de 50 UFC/m³ d'une même espèce (autre que *Cladosporium* ou *Alternaria*), il pourrait y avoir des raisons de s'inquiéter. Des recherches plus poussées sont nécessaires.
- Une concentration allant jusqu'à 150 UFC/m³ est acceptable s'il y a un mélange d'espèces correspondant aux spores de l'air extérieur. Si les dénombrements sont plus élevés, les filtres à air sont probablement sales ou inefficaces, ou il y a d'autres problèmes.
- Une concentration allant jusqu'à 500 UFC/m³ est acceptable en été si les espèces présentes sont surtout *Cladosporium* ou d'autres champignons microscopiques d'arbres et de feuilles. Si les valeurs sont plus élevées, il se pourrait que les filtres ne fonctionnent pas correctement ou que le bâtiment soit contaminé.

- La présence d'une colonie visible de champignons dans des humidificateurs et dans les conduites, et de moisissures sur les tuiles du plafond et d'autres surfaces exige que l'on fasse enquête et que l'on intervienne, quelle que soit la charge de spores aériennes.
- Il existe certains types de contamination fongique qui ne peuvent être facilement décelés au moyen des méthodes mentionnées dans le présent rapport. Si des symptômes du SÉH persistent, il faut envisager de prélever des échantillons de poussière à l'aide d'un aspirateur et de les faire analyser pour déterminer s'ils contiennent des espèces fongiques.

5.2.8.5 Stratégie d'intervention. Pour lutter contre les microbes, on recommande principalement de maintenir la croissance fongique au minimum dans les bâtiments. Pour ce faire, on peut procéder de plusieurs façons :

- Éliminer les sources d'eau qui favorisent la croissance fongique. Empêcher l'accumulation d'eau stagnante à l'intérieur et au voisinage des pièces mécaniques du système de CVC, comme sous les serpentins de refroidissement des UTA. Maintenir le taux d'humidité relative dans les espaces intérieurs à moins de 60 p. 100. Réparer rapidement et de façon permanente toutes les fuites externes et internes.
- Enlever les substrats contaminés par des champignons microscopiques. Enlever et jeter les matières organiques poreuses qui sont manifestement contaminées (p. ex. les tuiles de plafond et les tapis portant des moisissures). Laver toutes les surfaces lisses qui ont été contaminées par des champignons microscopiques avec une solution de blanchiment diluée à 5 p. 100 (250 mL/4 L d'eau).
- Dans le cas des systèmes de CVC, utiliser de la vapeur pour humidifier l'air plutôt que des humidificateurs à pulvérisation utilisant de l'eau recyclée lorsque cela est possible. Si l'on utilise des humidificateurs à pulvérisation, il est essentiel de mettre en place un programme rigoureux d'entretien préventif puisque ces systèmes peuvent être facilement contaminés par des bactéries et des champignons. Le programme comprend l'entretien de la propreté des surfaces et l'addition d'eau potable dans le réservoir. Les humidificateurs devront être drainés et nettoyés avec une solution de blanchiment au chlore aux intervalles de 2 à 4 mois. La rouille et les dépôts calcaires devront être enlevés des composantes de CVC

une ou deux fois l'an. Le CVC devrait être mis hors de service durant les opérations de nettoyage qui devront se dérouler durant les fins de semaine et aux périodes creuses.

- Les isolants synthétiques poreux sont souvent utilisés pour garnir les conduites et les unités de traitement de l'air et d'induction. Le coupe-vapeur qui garnit la fibre de verre doit être intact. Les surfaces en cause ne doivent porter ni eau stagnante ni condensation. L'isolant sale, contaminé, doit être éliminé puisque l'on n'a pas encore vérifié l'efficacité du nettoyage ou de l'encapsulation.
- Les humidificateurs portatifs personnels ne doivent pas être autorisés dans les bureaux car ils sont rarement bien entretenus et peuvent facilement devenir contaminés.
- L'utilisation de filtres efficaces pour limiter la charge de spores qui pénètrent dans le système de traitement de l'air est importante. Utiliser des pré-filtres et des filtres secondaires à surface étendue dont le taux de rendement est supérieur à 85 p. 100 lorsque cela est possible. Remplacer régulièrement les filtres. Les pré-filtres sont normalement changés 4-6 fois par an et les filtres secondaires à sac sont remplacés une fois par an, selon les conditions extérieures et les travaux d'amélioration.

5.3 Évaluation du système de CVC

Le système de CVC doit fournir des quantités adéquates d'air extérieur compte tenu des taux d'occupation et des activités qui ont lieu à l'intérieur de l'immeuble (normes de l'ASHRAE). Le taux minimal de ventilation doit être maintenu continuellement pendant l'occupation : le volume d'air extérieur ne doit jamais tomber sous 7,5 L/s par personne et les bureaux doivent recevoir 10 L/s par personne.

Les plaintes relatives à la QAI sont souvent dues à une ventilation insuffisante. Les systèmes de ventilation peuvent faire entrer des contaminants de l'extérieur et déplacer les polluants à l'intérieur de l'édifice. Chaque élément du système de CVC est important soit en tant que source de contamination, soit en tant qu'élément ne pouvant assurer le traitement ou le conditionnement de l'air nécessaire. Les méthodes décrites ci-après sont actuellement considérées comme étant adéquates.

5.3.1 Collecte de l'information de base

- S'adresser au personnel responsable des installations. Déterminer les calendriers de fonctionnement et d'entretien de l'équipement. Les travaux d'entretien qui délogent ou produisent des polluants doivent être effectués en dehors des périodes d'occupation habituelles de l'immeuble. Des entretiens avec le personnel peuvent permettre de déterminer des relations entre le moment des plaintes et les cycles de fonctionnement ou d'autres événements. Un registre des activités d'entretien et du fonctionnement du système peut se révéler utile.
- Passer en revue la documentation relative à la conception, à l'installation et au fonctionnement du système de CVC. Prendre en considération les aspects suivants :
 - la capacité prévue, le volume d'air admis et évacué;
 - l'utilisation existante et prévue de chaque superficie du bâtiment;
 - l'emplacement des UTA intérieures et des diffuseurs d'approvisionnement et de retour d'air qui desservent la partie faisant l'objet de plaintes.
- Comparer les valeurs actuelles du débit de l'air, de la distribution de l'air et les taux d'admission de l'air extérieur aux valeurs établies au moment de la conception du bâtiment.

5.3.2 Inspection du système de CVC

- Inspecter les registres extérieurs, noter leur emplacement, le type de mécanisme de commande et son état.
- Noter la distance et l'orientation des sources de combustion, des bouches d'échappement, des tours de refroidissement et des autres sources potentielles de polluants par rapport aux prises d'air extérieures.
- Déterminer si la ventilation du garage et du quai de chargement est adéquate et s'il y a migration de la pollution.
- Vérifier si les ventilateurs d'approvisionnement en air présentent des défauts de fonctionnement, notamment des courroies défectueuses, des lames manquantes, une accumulation de particules et des signes de croissance microbienne.

- Examiner l'intérieur des chambres de mélange pour y voir si de l'isolant est tombé, s'il y a des débris, de la rouille ou des signes de croissance microbienne.
- S'assurer que les conduites d'air et les plénums des plafonds sont bien entretenus et nettoyés de manière à empêcher que la poussière ne serve de substrat à la croissance des moisissures.
- Vérifier s'il existe un calendrier d'entretien adéquat pour les UTA de plafond et les ventilo-convecteurs de périmètre, les unités d'induction et les ventilateurs unitaires.
- Vérifier si toutes les sources de combustion sont évacuées.
- S'assurer que le rendement de l'assemblage de filtres est d'au moins 30 p. 100 (taches de poussière). Dans les gros immeubles à bureaux, on utilise un filtre primaire, habituellement de type panneau ou rouleau, avec un filtre à sac dont l'efficacité est supérieure (jusqu'à 85 p. 100, taches de poussière). Il devrait y avoir un calendrier d'entretien. Vérifier si les filtres du système sont bien ajustés. S'assurer qu'ils sont souvent remplacés pour empêcher l'accumulation de particules. On devrait remplacer les filtres dès que l'on atteint le maximum prescrit de chute de pression.
- Vérifier s'il y a des signes de croissance microbienne dans le système :
 - Noter la présence d'eau stagnante. Les plateaux à condensat placés sous les serpentins de refroidissement doivent être munis de drains et être suffisamment inclinés pour que l'eau soit complètement drainée.
 - Vérifier s'il existe un programme d'entretien qui empêche l'accumulation d'une couche visqueuse microbienne sur les pièces du système de CVC qui deviennent humides. Les surfaces contaminées doivent être désinfectées lorsque l'immeuble est vacant. Des biocides approuvés ne doivent être utilisés comme mode de décontamination dans des humidificateurs à pulvérisation d'eau que s'il est impossible d'effectuer un nettoyage adéquat.
 - Surveiller la population bactérienne qui croît dans les réservoirs des humidificateurs et les tours à eau en prélevant des échantillons et en utilisant du papier indicateur ou des lamelles (dénombrement sur plaque des bactéries hétérotrophes) afin de

comparer les résultats avec un diagramme des couleurs pour en déterminer la concentration.

- Examiner l'humidificateur pour déterminer s'il y a présence de croissance microbienne, de particules ou de dépôts calcaïques et prendre note de l'utilisation de produits chimiques de traitement. La meilleure façon de maintenir la qualité de l'eau est d'ajouter de l'eau potable dans le réservoir de façon que le niveau des solides dissous totaux ne dépasse pas le double ou le triple de la concentration normale.
- On ne devrait pas injecter la vapeur d'une chaudière centrale directement dans l'air fourni à un humidificateur à vapeur en raison de l'éventuelle nocivité des produits chimiques volatils utilisés pour le traitement de l'eau qui approvisionne la chaudière. On devrait, dans un tel cas, faire appel soit à un appareil de conversion vapeur-vapeur, soit à un générateur de vapeur.

6. Bibliographie

ACGIH. *Guidelines for the assessment of bioaerosols in the indoor environment*. American Conference of Environmental Industrial Hygienists, Cincinnati, Ohio, 1989.

ACGIH. *Threshold limit values for chemical substances and physical agents on biological exposure indices*. Cincinnati, Ohio, 1995.

ASHRAE Standard 55-1992. *Thermal environmental conditions for human occupancy*. American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers.

ASHRAE Standard 62-1989. *Ventilation for acceptable indoor air quality*. American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers.

Bazeerghi, H., and C. Arnoult. *Practical maintenance manual for good indoor air quality*. Association québécoise pour la maîtrise de l'énergie, 1989.

Davidge, B., G. Kerr, and T. Nathanson. *Indoor air quality assessment strategy*. Public Works Canada, Ottawa, April 1992.

Goyer, N., and V.H. Nguyen. *Stratégie d'étude de la qualité de l'air dans les édifices à bureaux*. Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec, Montréal, Québec, 1989.

Kerr, G. *Évaluation des polluants*. Travaux publics Canada, Document n° D01, Ottawa, Mars 1988.

Nathanson, T. *Dénombrement et contrôle de microorganismes pour la qualité de l'air ambiant*. Travaux publics Canada, 1990

Nathanson, T. *Humidification Systems: Function, Operation and Maintenance*. Public Works and Government Services Canada, Ottawa, K1A 0M2, 1995.

North Atlantic Treaty Organization: Committee on the Challenges of Modern Society. *Pilot study on indoor air quality*. 3rd Plenary Meeting. Ste. Adèle, Quebec, Août 1990.

Ontario Ministry of Labour. *Report of the Interministerial Committee on Indoor Air Quality*. Government of Ontario, September 1988.

Travaux publics Canada. *Trousse d'évaluation de la qualité de l'air intérieur*. Services d'architecture et de génie, mai 1990.

Travaux publics Canada et Conseil national de recherches Canada. *La gestion de la qualité de l'air intérieur, guide à l'intention des gestionnaires immobiliers*. 1990.

United States Environmental Protection Agency. *Introduction to indoor air quality. A reference manual*. Health Resources and Health Services Administration Document EPA/400/3-91/003, July 1991.

United States Environmental Protection Agency. *Introduction to indoor air quality. A self-paced learning module*. Health Resources and Health Services Administration, Document EPA/400/3-91/002, July 1991.

United States Environmental Protection Agency and National Institute for Occupational Safety and Health. *Preventing indoor air quality problems*. Centers for Disease Control, U.S. Department of Health and Human Services, October 1990.