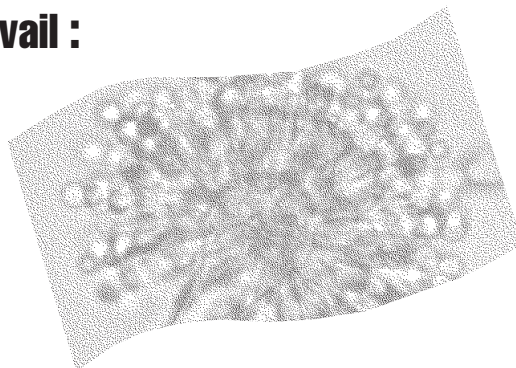


**Les bioaérosols en milieu de travail :
guide d'évaluation, de contrôle
et de prévention**

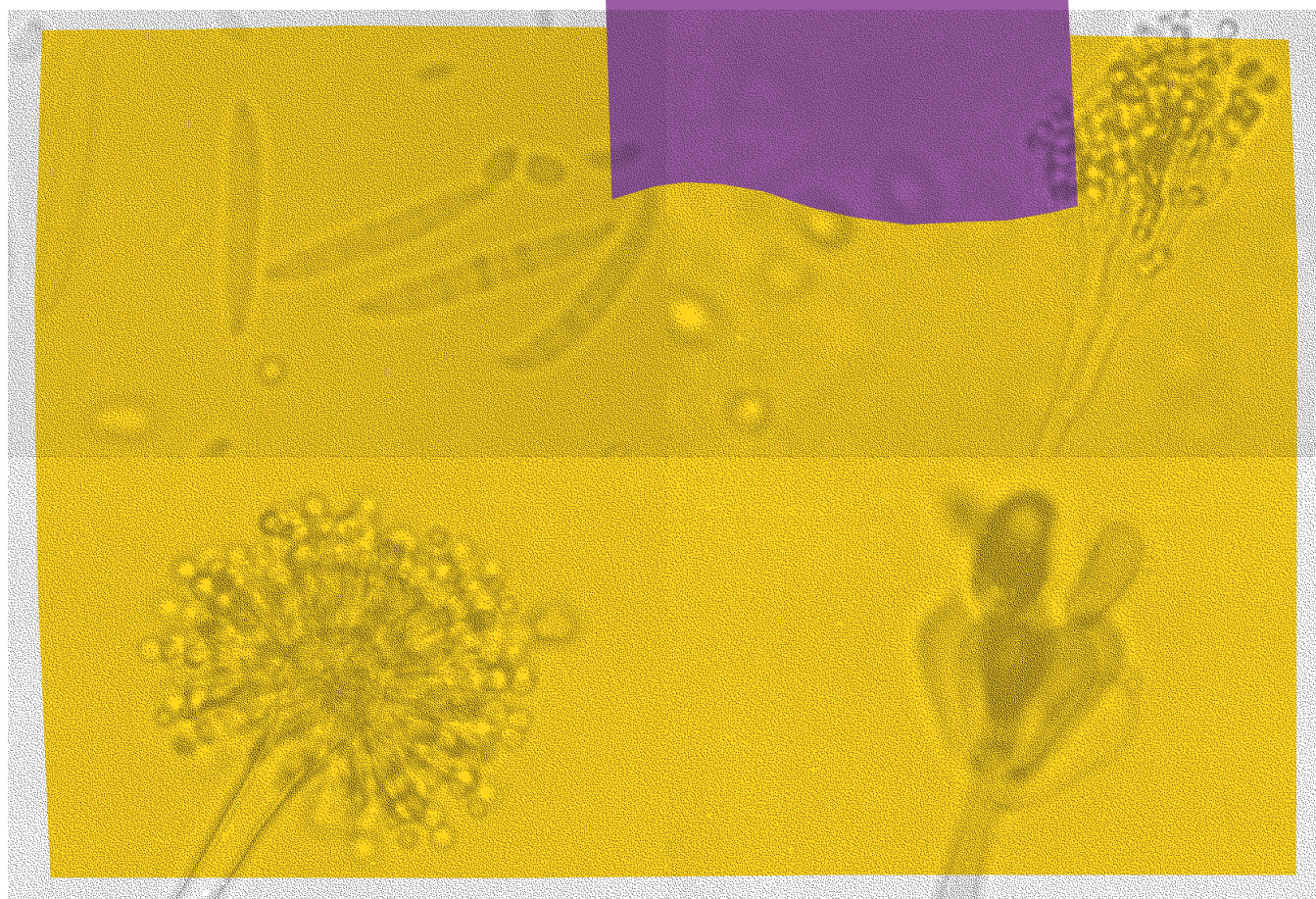


**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

Nicole Goyer
Jacques Lavoie
Louis Lazure
Geneviève Marchand

Septembre 2001 T-23

GUIDE TECHNIQUE



Les bioaérosols en milieu de travail : guide d'évaluation, de contrôle et de prévention

Nicole Goyer, Jacques Lavoie, Louis Lazure et Geneviève Marchand
Programme soutien analytique, IRSST

avec la collaboration de Véronique Tessier, étudiante

ÉTUDES ET
RECHERCHES

GUIDE TECHNIQUE

 Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca

Cette publication est disponible
en version PDF
sur le site internet de l'IRSST.

Cette étude a été financée par l'IRSST. Les conclusions et recommandations sont celles des auteurs.

La recherche, pour mieux comprendre

L'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) est un organisme de recherche scientifique voué à l'identification et à l'élimination à la source des dangers professionnels, et à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes. Financé par la CSST, l'Institut réalise et subventionne des recherches qui visent à réduire les coûts humains et financiers occasionnés par les accidents de travail et les maladies professionnelles.

Pour tout connaître de l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine Prévention au travail, publié conjointement par la CSST et l'Institut, en téléphonant au 1-877-221-7046.

Les résultats des travaux de l'Institut sont présentés dans une série de publications, disponibles sur demande à la Direction des communications ou gratuitement sur le site de l'Institut.

Il est possible de se procurer le catalogue des publications de l'Institut en écrivant à l'adresse au bas de cette page.

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec
2001
ISBN : 2-551-21388-6
ISSN : 0820-8395

IRSST - Direction des communications
505, boul. de Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : (514) 288-1551
Télécopieur : (514) 288-7636
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca

© Institut de recherche Robert-Sauvé
en santé et en sécurité du travail
septembre 2001.

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|--|----|
| MISE EN CONTEXTE..... | 1 |
| AVIS AUX LECTEURS | 2 |
| SECTION 1 : INFORMATIONS GÉNÉRALES..... | 3 |
| 1.1 Connaissance des microorganismes..... | 3 |
| 1.1.1 Bactéries..... | 3 |
| 1.1.2 Moisissures et levures | 5 |
| 1.1.3 Métabolites, toxines ou fragments de microorganismes..... | 7 |
| 1.1.4 Autres microorganismes | 9 |
| Références citées et bibliographie | 15 |
| 1.2 Concentrations de bioaérosols mesurées en milieu de travail | 17 |
| Références citées et bibliographie | 20 |
| 1.3 Valeurs d'exposition | 21 |
| Références citées et bibliographie | 24 |
| SECTION 2 : STRATÉGIE D'ÉVALUATION..... | 25 |
| 2.1 Démarche générale d'évaluation..... | 25 |
| 2.2 Méthodes d'évaluation..... | 28 |
| 2.2.1 Évaluation de l'environnement de travail..... | 28 |
| 2.2.2 Inspection détaillée d'un bâtiment..... | 29 |
| 2.2.3 Méthodes de mesure des bioaérosols..... | 35 |
| 2.2.4 Plan d'échantillonnage..... | 41 |
| 2.2.5 Interprétation et communication des résultats | 43 |
| 2.2.6 Exemples..... | 44 |
| Références citées et bibliographie | 47 |
| SECTION 3 : CONTRÔLE DE L'EXPOSITION AUX BIOAÉROSOLS | 49 |
| 3.1 Milieux de travail industriels | 49 |
| 3.2 Milieux de travail non industriels | 50 |
| Références citées et bibliographie | 55 |
| ANNEXE 1 : Photos de moisissures..... | 58 |
| ANNEXE 2 : Fiches techniques pour le contrôle de l'exposition aux bioaérosols | 63 |
| ANNEXE 3 : Exemples d'enveloppes de bâtiments..... | 86 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|--|----|
| Tableau 1 : Principaux bioaérosols potentiellement présents dans l'air | 10 |
| Tableau 2 : Bioaérosols dominants en fonction des substrats..... | 12 |
| Tableau 3 : Concentrations de bioaérosols mesurées dans des milieux de travail..... | 18 |
| Tableau 4 : Concentrations d'endotoxines mesurées dans des milieux de travail..... | 19 |
| Tableau 5 : Critères d'action proposés par l'IRSST | 23 |
| Tableau 6 : Techniques de prélèvement de bioaérosols habituellement utilisées à l'IRSST | 40 |
| Tableau 7 : Nombre d'échantillons (ACGIH, 1999) | 42 |
| Tableau 8 : Protocole d'abattement fongique (NYCDH, 2000) | 52 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Bactéries trouvées dans 63 environnements de travail..... | 14 |
| Figure 2 : Moisissures trouvées dans 126 environnements de travail | 14 |
| Figure 3 : Démarche générale d'évaluation d'une exposition aux bioaérosols en milieu de travail | 27 |

MISE EN CONTEXTE

Les microorganismes sont omniprésents dans notre environnement : eau, sol, air, plantes, animaux, humains. En milieu de travail, l'intérêt à leur endroit porte principalement sur leur présence dans l'air ; on parle alors de bioaérosols. Les bioaérosols se définissent comme des particules aéroportées constituées d'organismes vivants, tels que des microorganismes, ou provenant d'organismes vivants, par exemple les métabolites, les toxines ou les fragments de microorganismes. Bien que la relation dose-effet par inhalation n'ait pas été établie pour la majorité d'entre eux, la communauté scientifique s'entend cependant sur le fait que certains bioaérosols peuvent causer des problèmes de santé. L'intérêt international envers ces agents qui peuvent affecter la qualité de l'air d'un milieu de travail et nuire à la santé des travailleurs a fait augmenter rapidement le bassin de connaissances relatives à leur identification, à leur quantification, à leur présence dans différents milieux de travail et aux effets qu'ils peuvent produire chez ceux qui y sont exposés.

Différentes approches d'évaluation du risque sont utilisées par les chercheurs et les professionnels en hygiène du travail, ce qui suscite des questionnements, notamment sur les types de microorganismes ou de dérivés à rechercher, les motifs, les techniques et les lieux de prélèvement ainsi que l'interprétation des résultats, considérant l'absence de normes d'exposition et de relations dose-effet, et les moyens les plus efficaces pour corriger une situation anormale ou pour maintenir des conditions saines.

Ce guide pratique décrit l'approche préconisée par l'IRSST pour l'évaluation, le contrôle et la prévention de l'exposition aux bioaérosols ; cette approche correspond à la démarche type en hygiène industrielle, soit l'anticipation, l'identification et l'évaluation des risques, avec comme objectif ultime le contrôle des expositions pour la prévention des maladies.

Le guide se divise en trois sections. La première section synthétise l'information la plus actuelle sur les types de bioaérosols présents en milieu de travail, leur environnement naturel et les conditions propices à leur croissance et à leur prolifération. Les effets sur la santé des différents bioaérosols y sont présentés de façon succincte et générale, cet aspect de la démarche devant toujours être confié à un médecin. Ce chapitre inclut également de l'information sur les concentrations mesurées dans différents milieux de travail et sur les valeurs d'exposition proposées. La deuxième section porte sur les stratégies d'évaluation d'un milieu de travail selon l'objectif visé. Les méthodes, les techniques et les outils disponibles pour réaliser cette évaluation, le plan d'échantillonnage et l'interprétation des résultats y sont abordés. La troisième section présente des moyens de contrôle et de prévention. Le cas particulier de la démolition et de la réparation de matériaux endommagés par l'eau y est considéré. Chacun de ces chapitres répertorie les références consultées ainsi que celles qui peuvent servir d'outils complémentaires.

Ce guide vise à harmoniser l'approche d'évaluation et de prévention face à une exposition aux bioaérosols, par une compréhension accrue des possibilités et des limites de la démarche. Cette dernière s'applique à tous les secteurs d'activité où des bioaérosols peuvent être présents en concentrations anormales.

AVIS AUX LECTEURS

Puisque les microorganismes sont omniprésents dans l'environnement, il est inévitable d'y être exposé. Dans ce document, les expressions « exposition potentielle aux bioaérosols » ou « exposition aux bioaérosols » réfèrent à une situation où leurs concentrations seraient anormalement élevées.

SECTION 1 : INFORMATIONS GÉNÉRALES

1.1 Connaissance des microorganismes

Les microorganismes sont omniprésents dans notre environnement : eau, sol, air, plantes, animaux, humains. L'intérêt du point de vue de l'hygiène industrielle porte principalement sur les bioaérosols ou microorganismes dans l'air, et plus spécifiquement sur les bactéries, les moisissures et levures et leurs métabolites, toxines ou fragments. D'autres microorganismes, associés occasionnellement à la qualité de l'air, sont considérés sommairement dans ce document; il s'agit des mites de poussières ou acariens et des virus. La majorité des bioaérosols sont de dimension respirable, soit de l'ordre de 0,003 μm pour les virus, de 0,5 à 20 μm pour les bactéries, de 10 à 100 μm pour les pollens de plantes et de 2 à 200 μm pour les moisissures. Les effets sur la santé rapportés ici sont de nature globale et générale, cet aspect de la démarche devant toujours être confié à un médecin. Un avis scientifique du ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec sur l'exposition aux moisissures dans l'environnement intérieur, actuellement en préparation, constituera un document de référence pour les effets sur la santé et les outils d'investigation médicale. Les références citées à la fin de cette section permettent de trouver de l'information supplémentaire.

1.1.1 Bactéries

Les bactéries sont abondantes dans l'environnement et chez les humains. On en connaît plus de 150 000 espèces. Ce sont des organismes unicellulaires qui se reproduisent par simple division cellulaire. La majorité des bactéries contiennent l'information génétique et la capacité énergétique nécessaires pour assurer leur croissance et leur reproduction. Elles sont aptes à utiliser diverses sources nutritives, inorganiques et organiques. La majorité des espèces rencontrées en qualité de l'air sont saprophytes, c'est-à-dire qu'elles tirent leur énergie de sources organiques.

La classification des bactéries est basée sur des caractéristiques cellulaires, morphologiques ou biochimiques. Elles se répartissent dans deux grands groupes, selon leur réaction à la coloration de Gram : bactéries Gram positives et bactéries Gram négatives. Les bactéries ont besoin de beaucoup d'humidité pour se multiplier. Les bactéries Gram négatives ont une paroi cellulaire fragile qui supporte mal la déshydratation subie pendant un passage prolongé dans l'air ou lors de l'échantillonnage. Les bactéries Gram positives ont une paroi plus résistante et certaines produisent des spores qui leur confèrent une résistance accrue aux variations des conditions environnementales. Dans ce groupe se trouvent les bactéries thermophiles, dont la croissance est favorisée par des températures plus élevées, et qui sont d'un intérêt particulier en qualité de l'air.

À l'extérieur, les bactéries proviennent majoritairement de l'eau, du sol et des plantes et elles sont associées à la présence d'humains et d'animaux. Des étendues d'eau peuvent en dissiper dans l'air par aérosolisation, tout comme le font les émissions de certains procédés industriels et celles des unités de refroidissement. À l'intérieur des édifices non industriels, les bactéries proviennent principalement des occupants puisqu'elles constituent la flore naturelle de la peau et des muqueuses. Leurs espèces y sont plus nombreuses et leurs concentrations, supérieures à

celles de l'environnement extérieur. Certains milieux de travail, tels que les granges, les fermes d'élevage, les centres de traitement des déchets et des eaux usées, les usines d'aliments et de boissons, sont quant à eux propices à la présence et à la croissance bactérienne. C'est dans les environnements de ce type que les bactéries Gram négatives sont le plus susceptibles d'être mesurées.

La majorité des bactéries présentes naturellement ne causent pas d'effets néfastes à la santé. Certaines sont même essentielles autant à l'organisme humain qu'à l'environnement. Les risques pour la santé apparaissent lorsque les concentrations de certaines espèces deviennent anormalement élevées. Ainsi, de fortes concentrations de bactéries thermoactinomycètes peuvent causer une pneumonite d'hypersensitivité, telle que la maladie du poumon du fermier.

Certaines bactéries sont reconnues comme étant des agents responsables de maladies infectieuses. Le risque pour la santé relié à la présence de la bactérie *Legionella pneumophila*, soit la légionellose, est bien documenté. Il existe deux formes distinctes de légionellose : la maladie du légionnaire, une pneumonie progressive pouvant être mortelle, et la fièvre de Pontiac, qui cause des symptômes similaires à ceux de la grippe. Cette bactérie est connue pour sa capacité à se développer dans des réservoirs d'eau. Elle est sujette au dessèchement et ne survit pas à l'extérieur de l'eau. Elle peut cependant être transmise dans l'air par la projection des gouttelettes d'eau qui en contiennent.

Le genre *Mycobacterium* est également d'intérêt pour la santé, et particulièrement l'espèce *Mycobacterium tuberculosis*, l'agent étiologique de la tuberculose. La majorité des espèces de mycobactéries vivent dans les sols et dans l'eau, mais leur principale niche est les tissus malades des animaux à sang chaud, incluant les humains. La bactérie *Mycobacterium tuberculosis* est aéroportée par les gouttelettes que génèrent les porteurs de la maladie et les systèmes de ventilation.

Les individus ayant des problèmes de santé persistants qui semblent reliés à une exposition aux bactéries ou à d'autres bioaérosols doivent consulter un médecin.

Le tableau 1 indique les principaux genres de bactéries potentiellement présentes dans l'air des milieux de travail selon la littérature. La figure 1 montre la fréquence de la présence des différents genres identifiés par le laboratoire de microbiologie de l'IRSST dans 63 environnements de travail, incluant 36 édifices à bureaux, 12 écoles et 15 hôpitaux, provenant des demandes d'analyses qui lui ont été acheminées depuis huit ans.

1.1.2 Moisissures et levures

On compte actuellement plusieurs dizaines de milliers d'espèces connues de moisissures et de levures, les deux groupes appartenant à la famille des champignons. Omniprésents dans l'environnement, les champignons sont des saprophytes primaires, c'est-à-dire qu'ils utilisent la matière organique morte comme source nutritive pour leur croissance et leur reproduction. Plusieurs vivent dans les sols et prennent une part active dans la décomposition de la matière organique. Ils sont habituellement aérobies. Les humains seraient exposés couramment à plus de 200 espèces d'entre eux, dont plusieurs prolifèrent bien dans un environnement intérieur humide.

Les levures sont des organismes unicellulaires qui se divisent par fission et par bourgeonnement. Les moisissures sont des organismes pluricellulaires qui se propagent par leurs spores. Ces éléments se développent en filaments appelés hyphes, lesquels, en s'agglomérant, forment le mycélium. Celui-ci donne naissance à des structures plus spécialisées, les appareils sporifères, responsables de la formation des spores. Les spores diffèrent en formes, en dimensions et en couleurs. Elles peuvent survivre de quelques jours à quelques années. Chaque spore qui germe peut donner lieu à la croissance d'une nouvelle moisissure, laquelle peut, à son tour, produire des millions de spores dans des conditions de croissance appropriées.

Les moisissures libèrent leurs spores sous l'effet des mouvements d'air importants ou en réaction à des conditions défavorables, telles que l'augmentation ou la diminution rapide de l'humidité ou encore, en réponse au besoin d'atteindre une nouvelle source de nourriture. La présence de ces spores dans l'air dépend également de leur façon de se disperser. En fait, le mode de dispersion et de transfert des spores diffère selon les espèces. Certaines, appelées gloeiospores, ont une paroi épaisse, de consistance humide, et restent collées entre elles par un mucus. Elles forment des amas lourds difficilement transportables par l'air. Elles sont véhiculées au niveau des substrats par contact, par des insectes ou par l'eau. C'est le cas des moisissures du genre *Acremonium* et *Exophiala*. D'autres genres, tels que *Penicillium* et *Cladosporium* ont des spores à paroi sèche, facilement dissociables et légères. Elles sont ainsi plus facilement dispersées dans l'air. Les concentrations de spores dans l'air étant dépendantes des conditions environnantes, elles varient donc au cours d'une même journée.

Dans la nature, la concentration des moisissures atteint son pic de juillet à la fin de l'automne. Contrairement aux pollens, les moisissures persistent malgré le premier gel. Quelques-unes peuvent se développer à des températures inférieures au point de congélation, mais la plupart tombent alors en dormance. Le couvert de neige diminue de façon draconienne les concentrations dans l'air mais ne tue pas les moisissures. À la fonte des neiges, celles-ci se développent sur la végétation morte. La température influence leur taux de croissance. Les moisissures ont une température de croissance minimale, maximale et optimale. La température ambiante de l'ordre de 20 à 25°C maintenue dans la majorité des environnements intérieurs correspond à une zone idéale de croissance pour la majorité d'entre elles.

Le tableau 1 indique les principaux genres de moisissures et de levures potentiellement présentes dans l'air des milieux de travail selon la littérature. La figure 2 montre la fréquence de la présence des différents genres identifiés par le laboratoire de microbiologie de l'IRSST dans 126

environnements de travail, incluant 47 édifices à bureaux, 41 écoles, 23 hôpitaux et 15 usines. Ces données proviennent des demandes d'analyses acheminées au laboratoire depuis huit ans. Cette distribution concorde avec celles que rapporte la littérature (Thorne and Heederick, 1999; Nolar, 1999). Des photos de moisissures sont incluses à titre informatif dans l'annexe 1.

Les levures et les moisissures peuvent donc se trouver partout où il y a une température adéquate, de l'humidité, de l'oxygène, une source de carbone, d'azote et les minéraux dont elles ont besoin. Leurs activités de biodégradation ou de biodétérioration dépendent de leurs activités enzymatiques propres, des conditions environnementales, du phénomène de la concurrence et de la nature du substrat. Par exemple, certaines moisissures utilisent facilement la cellulose et leur prolifération est favorisée lorsque les matériaux qui en contiennent sont imbibés d'eau. Le tableau 2 énumère les principaux genres de moisissures pouvant se développer sur différents substrats.

Les études épidémiologiques ne permettent pas à ce jour d'établir de relation causale entre l'ampleur de la présence fongique et l'exposition aux moisissures présentes dans l'air avec des effets spécifiques sur la santé ou avec la fréquence et la gravité des symptômes rapportés. Elles tendent à démontrer l'existence d'une association entre l'exposition aux moisissures et le développement de certains symptômes, notamment les symptômes respiratoires. Plusieurs de ces études ont également constaté la présence d'une humidité élevée. Il peut donc être difficile de dissocier les effets de l'humidité élevée de ceux des moisissures.

Les concentrations de moisissures ambiantes ne causent pas d'effets sur la santé de la majorité des gens. Cependant, dans des situations où ces concentrations sont anormalement élevées ou dans le cas de certaines personnes souffrant de problèmes respiratoires ou ayant un système immunitaire déficient, l'exposition aux moisissures peut favoriser l'apparition de symptômes et de maladies. Les effets ressentis dépendent des espèces présentes, de leurs produits métaboliques, de la concentration et de la durée de l'exposition ainsi que la susceptibilité individuelle.

| |
|---|
| La nature de la relation dose-réponse entre l'exposition aux moisissures et l'effet sur la santé n'est pas connue, pas plus que l'existence d'un seuil d'exposition sécuritaire sous lequel il n'y a pas de risque. |
|---|

Les principaux effets sur la santé associés à une exposition aux moisissures sont les réactions d'hypersensibilité (allergie), les infections et l'irritation.

Réactions d'hypersensibilité

L'allergie est la manifestation la plus commune associée à une exposition à des moisissures. La plupart de celles-ci produisent des protéines antigéniques qui peuvent causer une réaction allergique chez les personnes sensibilisées, incluant de l'asthme, des rhinites et des conjonctivites. Elles peuvent aussi causer une pneumonite hypersensitive. Cependant, plusieurs auteurs associent l'exposition à de faibles niveaux de moisissures à une exacerbation de l'asthme et à d'autres problèmes respiratoires.

Infections

Une centaine d'espèces de moisissures sont reconnues pour causer de l'infection chez les humains. Ces infections sont regroupées dans trois classes : systémiques, opportunistes et superficielles. Les infections systémiques, telle l'histoplasmose (due à la moisissure *Histoplasma capsulatum*, qui se trouve notamment dans les excréments d'oiseaux), sont causées par l'inhalation des spores. Les infections opportunistes se limitent généralement aux personnes ayant un système immunitaire déficient. Les principales moisissures responsables de ces infections opportunistes sont *Aspergillus*, *Acremonium*, *Beauveria*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Mucor*, *Paecilomyces*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Scedosporium*, *Scopulariosis* et *Trichoderma*. Les dermatophytes sont un groupe de moisissures qui affectent le cuir chevelu, la peau et les ongles. Ces infections se produisent par contact cutané. La transmission à l'humain par l'air est peu probable.

Irritation

Le métabolisme des moisissures produit des composés organiques volatils qui causent l'odeur de « moisi » associée à une prolifération fongique. Les composés suivants ont été identifiés comme des indicateurs d'une croissance microbienne : 1-octène-3-ol, 2-octène-1-ol, 3-méthyle furane, 3-méthyle-2-butanol, 3-méthyle-1-butanol, 2-pentanol, 2-hexanone, 2-heptanone, 3-octanone, 3-octanol, 2-méthyle isobornéol, 2-méthyle-2-butanol, 2-isopropyl-3-méthoxypyrazine et geosmine. Ces composés peuvent être irritants pour les muqueuses.

Les individus ayant des problèmes de santé persistants qui semblent reliés à une exposition aux moisissures ou à d'autres bioaérosols doivent consulter un médecin.

L'examen physique et les antécédents du patient peuvent conduire à un diagnostic clinique. Peu de tests cliniques complémentaires sont disponibles, sauf dans les cas d'allergies. Des tests immunologiques, tels que les tests cutanés, sont utilisés pour détecter des anticorps spécifiques. La mesure des anticorps développés par une personne suivant une exposition signifie seulement qu'il y a eu exposition, sans en déterminer l'importance ou la durée. Considérant l'omniprésence des moisissures, et donc de l'exposition, cette mesure est d'une utilité limitée. Des tests de fonction et de provocation respiratoires sont également utilisés pour parvenir à un diagnostic.

1.1.3 Métabolites, toxines ou fragments de microorganismes

Mycotoxines

Pendant le processus de dégradation de la matière nutritive, les moisissures libèrent des métabolites secondaires, appelés mycotoxines, qui leur servent de défense contre les autres microorganismes, incluant les autres moisissures. Une même espèce fongique peut produire différentes toxines, selon le substrat et les facteurs environnementaux locaux. Les mycotoxines sont des composés non volatils qui se retrouveront dans l'air uniquement en cas d'agitation du milieu où elles sont produites.

Les effets sur la santé résultant d'une exposition respiratoire aux mycotoxines ne sont pas bien connus. Celles-ci pourraient être les agents causaux des effets rapportés suivant une exposition aux moisissures. Les symptômes décrits varient selon le type, la nature et l'ampleur du contact. Ils incluent l'irritation cutanée et celle des muqueuses, l'immunosuppression et des effets systémiques tels que étourdissements, nausées, maux de tête, effets cognitifs et neuropsychologiques. Notons que ces derniers effets sont peu documentés et que le mécanisme causal potentiel n'est pas élucidé. Certaines mycotoxines, dont l'aflatoxine, sont considérées cancérigènes ; l'ingestion de l'aflatoxine est une cause reconnue du cancer hépatique. La seule association entre le cancer et l'inhalation des mycotoxines a été démontrée dans des environnements agricoles ou industriels très contaminés.

Il existe plus de 400 mycotoxines connues. Le tableau 1 présente les principales mycotoxines et les organismes qui les libèrent.

Endotoxines

Les endotoxines sont des constituantes de la membrane cellulaire extérieure des bactéries Gram négatives. Elles se composent de lipopolysaccharides associés à des protéines et à des lipides. Le terme « endotoxine » fait référence à la toxine présente soit dans la cellule bactérienne, soit dans les fragments des parois cellulaires libérés pendant la lyse bactérienne. Leur présence dans un environnement de travail est en lien avec celle des bactéries Gram négatives.

Les effets sur la santé varient beaucoup selon les espèces, les individus, la dose et la voie d'entrée. Les symptômes rapportés suivant une exposition respiratoire aux endotoxines sont la toux, le souffle court, la fièvre, l'obstruction et l'inflammation des poumons ainsi que des problèmes gastro-intestinaux.

Glucan et ergostérol

Le β -(1-3)-D-glucan est un polymère de glucose à haut poids moléculaire qui se trouve dans les parois cellulaires des moisissures, des bactéries et des plantes. Des évidences récentes suggèrent qu'il serait un agent irritant pour les voies respiratoires. L'ergostérol est une composante de la membrane cellulaire des moisissures dont la proportion en masse serait à peu près constante.

Les glucans et l'ergostérol pourraient agir comme des marqueurs environnementaux potentiels d'une exposition aux moisissures, mais leur signification quantitative est encore inconnue.

Autres

Les peptidoglycans sont des composantes de la paroi cellulaire des bactéries. Ils sont soupçonnés d'être un agent causal potentiel de l'inflammation pulmonaire associée à l'inhalation des bactéries Gram positives.

Les exotoxines sont des molécules bioactives, habituellement des protéines sécrétées pendant la croissance des bactéries. Elles sont aussi libérées pendant la lyse des bactéries. Bien que généralement associées avec des maladies infectieuses, telles que le botulisme, le choléra et le

tétanos, elles peuvent se retrouver sur des substrats qui supportent la croissance bactérienne et prendre subséquemment la forme d'un aérosol. Les risques associés à leur présence dans l'air ne sont pas documentés.

1.1.4 Autres microorganismes

Virus

Les virus requièrent une cellule hôte vivante pour vivre, se reproduire et se propager. Ils peuvent être aérosolisés par projection de gouttelettes provenant de personnes infectées, mais ils sont rapidement inactivés dans le milieu ambiant. La présence de symptômes ou de la maladie chez l'hôte est une démonstration suffisante de leur présence.

Mites de poussières (acariens)

Les mites sont des hôtes naturels de l'environnement. Elles appartiennent à la famille des arachnides, qui inclut les araignées et les tiques. Elles se nourrissent de pollen, de bactéries, de moisissures et de pellicules de la peau. Les mites vivent d'une façon optimale à 25 °C et dans une humidité relative située entre 70 % et 80 %. À cause de leur très petite taille et de leur faible poids, les excréments d'acariens, des allergènes reconnus notamment pour causer l'asthme, sont facilement aéroportés. Des tests cutanés sont disponibles pour détecter la sensibilisation immunologique à ces mites.

Tableau 1 : Principaux bioaérosols potentiellement présents dans l'air

| BACTÉRIES GRAM NÉGATIVES | | |
|--|---|---|
| <i>Acinetobacter</i> | <i>Klebsiella</i> | |
| <i>Citrobacter</i> | <i>Legionella (eau)</i> | |
| <i>Enterobacter</i> | <i>Moraxella</i> | |
| <i>Escherichia</i> | <i>Pseudomonas</i> | |
| <i>Flavobacterium</i> | <i>Xanthomonas</i> | |
| BACTÉRIES GRAM POSITIVES | | |
| <i>Arthrobacter</i> | <i>Micrococcus</i> | |
| <i>Bacillus</i> | <i>Staphylococcus</i> | |
| <i>Kocuria</i> | <i>Streptococcus</i> | |
| BÂTONNETS GRAM POSITIFS IRRÉGULIERS ET ACTINOMYCÈTES | | |
| <i>Corynebacterium</i> | <i>Norcardiopsis</i> | |
| <i>Mycobacterium</i> | <i>Streptomyces</i> | |
| <i>Saccharopolyspora</i> | Thermoactinomycètes | |
| MOISSISSURES ET MYCOTOXINES | | |
| GENRE (Nombre d'espèces) | MYCOTOXINES ^A | REMARQUES |
| <i>Acremonium sp.</i> (70) | --- | |
| <i>Alternaria sp.</i> (40-50) | <i>A. alternata</i> : alternariol, acide tenuazoïque | Spores septées de grandes dimensions. <i>A. alternata</i> : la plus commune. |
| <i>Aspergillus sp.</i> (200) | <i>A. flavus</i> , <i>A. parasiticus</i> : aflatoxines, citrinine <i>A. clavatus</i> : cytochalasines <i>A. fumigatus</i> : fumitremorgènes, gliotoxine <i>A. niger</i> : acide oxalique <i>A. ochraceus</i> : ochratoxines <i>A. versicolor</i> : sterigmatocystine | Groupe très commun. Petites spores sèches facilement aéroportées. |
| <i>Aureobasidium sp.</i> (15) | --- | Colonise les feuilles à l'automne, facilitant l'activité de décomposition. |
| <i>Botrytis sp.</i> | --- | |

| | | |
|---------------------------------|--|---|
| <i>Chaetomium sp.</i> (80) | Chaetomine <i>C. globosum</i> : chaetoglobosines | |
| <i>Cladosporium sp.</i> (50) | Acide épycladosporique, cladosporine | Groupe le plus fréquent dans l'air extérieur. |
| <i>Epicoccum sp.</i> (2) | Flavipine, epicorazines, indole-3-acetonitrile | Se développe sur des substrats où <i>Cladosporium</i> et <i>Aureobasidium</i> sont présents. |
| <i>Fusarium sp.</i> (50-70) | Fumonisines, trichotécènes : T-2, vomitoxine, zearalenone | Pathogène de plantes |
| <i>Geotrichum sp.</i> | --- | |
| <i>Memmoniella sp.</i> | Griseofulvines | Ressemble à <i>Stachybotrys</i> . |
| <i>Mucor sp.</i> (50) | --- | |
| <i>Paecilomyces sp.</i> (31) | Paecilotoxines <i>P. variatti</i> : patuline | Petites spores sèches facilement aéroportées. |
| <i>Penicillium sp.</i> (200) | <i>P. expansum</i> : citrinine, patuline <i>P. griseo-fulvum</i> : griseofulvines <i>P. viridiatum</i> : griseofulvines, ochratoxines <i>P. polonicum</i> : verrucosidine | Groupe très commun. Petites spores facilement aérosolisées. |
| <i>Phoma sp.</i> | <i>P. soghina</i> : acide tenuazoïque | |
| <i>Stachybotrys sp.</i> (15) | <i>S. chartarum</i> : trichotécènes : satratoxine, stachybotrylactames, lacones | <i>S. chartarum</i> : spores difficilement aérosolisables ; peu compétitifs en présence d'autres moisissures en culture : mesures dans l'air peu fiables. |
| <i>Trichoderma sp.</i> (20) | <i>T viridi</i> : trichotécènes : satratoxine | Habilité à tuer d'autres moisissures. |
| <i>Ulocladium sp.</i> (9) | --- | Spores septées. Ressemble à <i>Alternaria</i> . |

^A Liste non exhaustive.

| |
|---------|
| LEVURES |
|---------|

Candida
Cryptococcus
Rhodotorula

Trichosporon
Torulopsis

Tableau 2 : Bioaérosols dominants en fonction des substrats

| SUBSTRAT | MOISSISSURES / BACTÉRIES DOMINANTES |
|---|---|
| A – DENRÉES ALIMENTAIRES | |
| Arachides | <i>Aspergillus, Penicillium, Eurotium, Emericella, Trichothecium, Paecilomyces, Fusarium</i> |
| Céréales : en culture | <i>Alternaria, Chaetomium, Cladosporium, Epicoccum, Fusarium, Helminthosporium, Trichoderma</i> |
| Céréales : en silo | <i>Aspergillus, Eurotium, Penicillium, Absidia, Mucor, Rhizopus</i> |
| Céréales : farines et dérivés | <i>Aspergillus, Absidia, Alternaria, Cladosporium, Fusarium, Trichothecium, Mucor, Scopulariopsis, Wallemia</i> |
| Fruits et légumes | <i>Penicillium, Phomopsis, Diplodia, Botrytis, Geotrichum, Monilia, Trichotecium, Fusarium Alternaria, Aspergillus, Paecilomyces</i> |
| Œufs | <i>Penicillium, Aspergillus, Cladosporium, Mucor</i> |
| Produits laitiers : fromage | <i>Mucor, Penicillium, Cladosporium, Scopulariopsis, Epicoccum, Trichoderma, Alternaria, Botrytis, Trichothecium</i> |
| Produits laitiers : beurre et margarine | <i>Alternaria, Aspergillus, Eurotium, Moniliella, Phialophora, Phoma, Penicillium</i> |
| Viandes et charcuteries | <i>Aspergillus, Chrysonilia, Geotrichum, Cladosporium, Geomyces, Penicillium</i> |
| B – PRODUITS DIVERS | |
| Bois et plantes | <i>Alternaria, Aureobasidium, Chaetomium, Cladosporium, Bipolaris, Fusarium, Trichoderma, Ulocladium</i> |
| Cosmétiques | <i>Aspergillus, Paecilomyces</i> |
| Cuir | <i>Aspergillus, Eurotium, Aureobasidium, Catenularia, Neosartorya, Paecilomyces, Penicillium</i> |
| Liège | <i>Penicillium, Aspergillus, Trichoderma</i> |
| Matériaux cellulosiques mouillés | <i>Chaetomium, Cladosporium, Aspergillus, Penicillium, Stachybotrys, Ulocladium</i> |
| Matières plastiques | <i>Aspergillus, Aureobasidium, Penicillium</i> |
| Métaux : aluminium, acier | <i>Aspergillus, Trichoderma</i> |
| Papier | <i>Aspergillus, Penicillium, Chaetomium, Acremonium, Beauveria, Cladosporium, Epicoccum, Papulospora, Phoma, Scopulariopsis, Ulocladium</i> |
| Peintures et adhésifs | <i>Aureobasidium, Phoma, Cladosporium, Alternaria, Fusarium, Trichoderma, Gliomastix, Penicillium</i> |
| Poussières de maison | <i>Alternaria, Aspergillus, Mucor, Trichoderma, Penicillium</i> |
| Produits pétroliers | <i>Cladosporium, Aspergillus, Penicillium,</i> |

| | |
|--|--|
| | <i>Aureobasidium, Acremonium, Fusarium</i> |
| Tabac | <i>Aspergillus, Scopulariopsis</i> |
| Textiles : coton | <i>Alternaria, Aspergillus, Eurotium, Emericella, Epicoccum, Aureobasidium, Cladosporium, Dendrodochium, Fusarium, Stachybotrys, Trichoderma, Ulocladium</i> |
| Textiles : jute | <i>Aspergillus, Curvularia, Memnoniella, Myrothecium, Paecilomyces, Penicillium, Stachybotrys, Talaromyces</i> |
| Textiles : laine | <i>Alternaria, Aspergillus, Fusarium, Microsporium, Phoma, Scopulariopsis, Trichoderma</i> |
| Verre | <i>Eurotium, Penicillium</i> |
| C – MILIEUX DE TRAVAIL | |
| Boulangeries | <i>Penicillium, Aspergillus, Cladosporium</i> |
| Bureaux (systèmes de ventilation et humidificateurs) | <i>Aspergillus, Alternaria, Cladosporium, Acremonium, Aureobasidium, Rhodotorula, Mucor, Penicillium, Bactérie Legionella, Bactérie Pseudomonas</i> |
| Déchets domestiques (compostage) | <i>Aspergillus, Alternaria, Paecilomyces, Penicillium, Trichoderma, Bactéries Actynomyces</i> |
| Déchets domestiques (tri) | <i>Aspergillus, Penicillium, Bactéries Actynomyces</i> |
| Eaux usées (traitement) | <i>Aspergillus, Penicillium, Cladosporium,</i> |
| Fermes | <i>Aspergillus, Penicillium, Absidia, Rhizomucor, Fusarium, Wallemia, Curvularia</i> |
| Fluides de coupe (usinage) | <i>Fusarium, Bactérie Pseudomonas</i> |
| Scieries | <i>Alternaria, Cryptostoma, Paecilomyces, Penicillium, Rhizopus, Serpula, Monilia</i> |

Figure 1 : Bactéries trouvées dans 63 environnements de travail

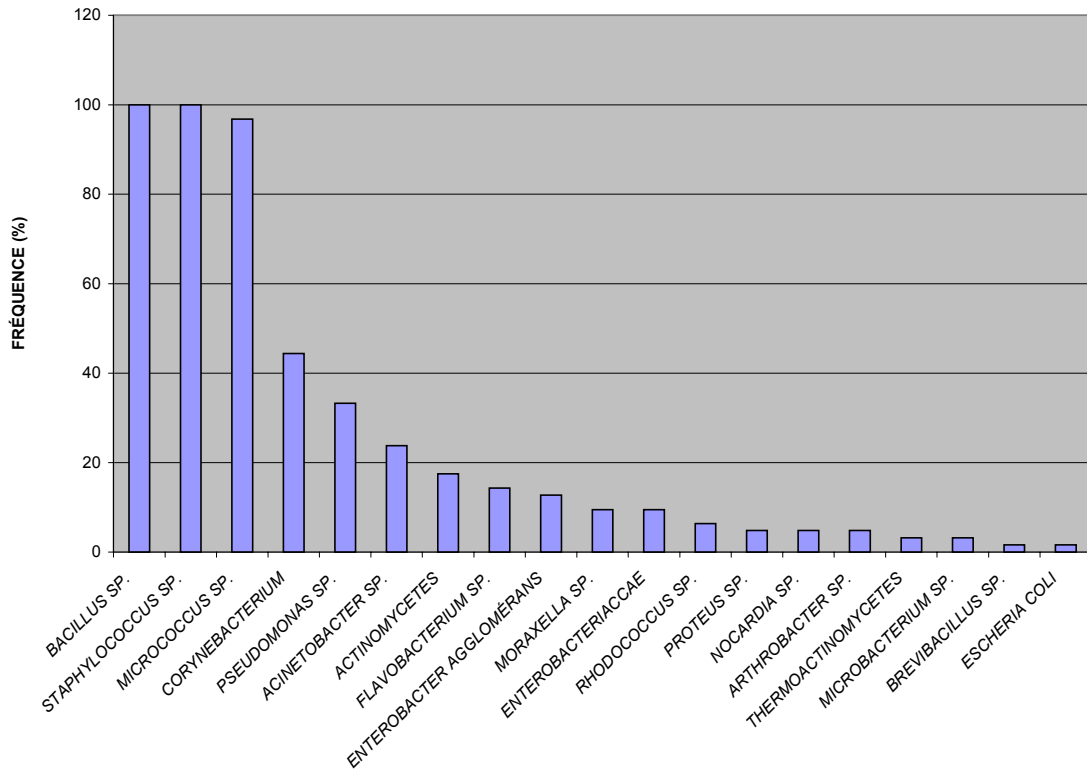
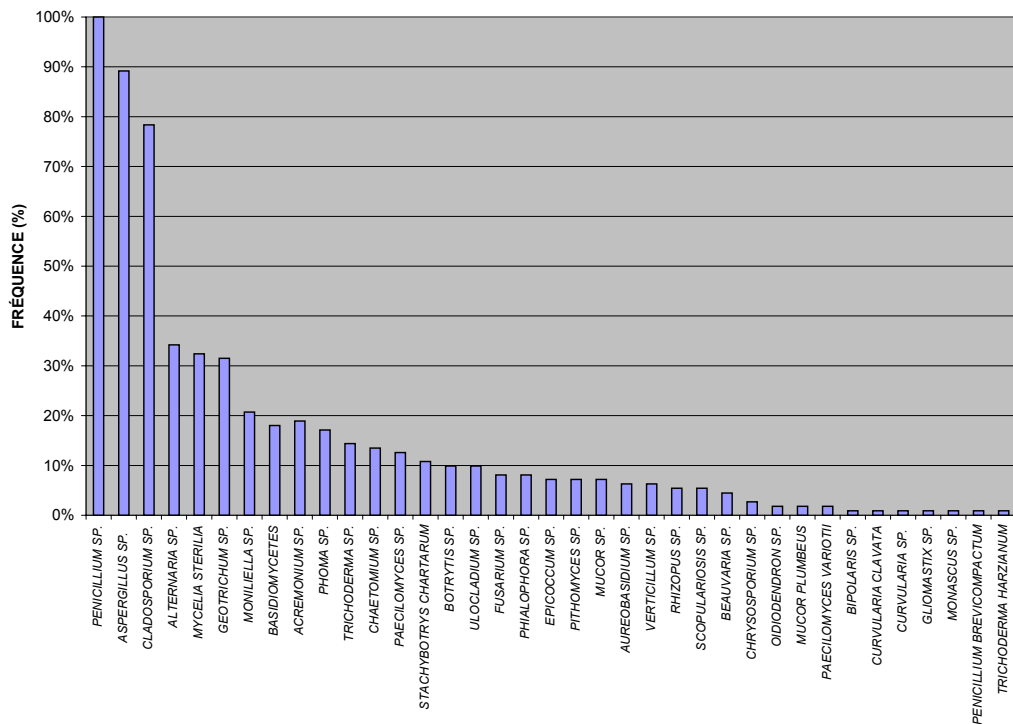


Figure 2 : Moisissures trouvées dans 126 environnements de travail



Références citées et bibliographie

ACGIH. *Bioaerosols: Assessment and Control*, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, 1999.

Aerotech Laboratories Inc. *IAQ Microbial Reference Guide*, IAQ Tech Tips, www.aerotechlabs.com, 2000.

ASTM. *Biological Contaminants in Indoor Environments*, Morey/ Feely/ Otten ed., STP 1071, Philadelphia, 1990.

Bioaerosols Handbook, CRC Press Inc., Cox, C.S. and C.M. Wathes editors, Boca Raton, 1995.

Botton, B., Breton, A., Fevre, M., Guy, Ph., Larpent, J.P. et Veau, P. *Moisissures utiles et nuisibles*. Importance industrielle, Masson, Paris, 1985.

Comtois P., Malo J.L. *The Air Spora of East-Canadian Sawmills*, 5th International Conference of Indoor Air Quality and Climate, Toronto, 1990.

Dillon H.K., Miller J.D., Sorenson W.G., Douwes J. and Jacobs R.R. 'Review of Methods Applicable to the Assessment of Mold Exposure to Children', *Environmental Health Perspectives*, 107 (3) : 473-480, 1999.

Eastern New York Occupational and Environmental Health Center. *Bioaerosols, Fungi and Mycotoxins: Health Effects, Assessment, Prevention and Control*, Eckardt Johanning ed., Albany, 1999.

Haines J., Escamilla B., Muilenberg M., Gallup J. and Levetin E. *Mycology of the Air. A Workshop Manual for Sampling and Identifying Airborne Fungus Spores*, Pan-American Aerobiology Meeting, Arizona, 1999.

Husman T. 'Health Effects of Indoor-air Microorganisms', *Scandinavian Journal of Work and Environmental Health*, 22 : 5-13, 1996.

Institute of Medicine. *Clearing the Air: Asthma and Indoor Air Exposure*, Committee on the Assessment of Asthma and Indoor Air, National Academy Press, 422, 2000.

Koskinen Outi. *Moisture, Mold and Health*, National Public Health Institute, Publication A2, 1999.

Levy J., Nishioka U., Gilbert K., Cheng C.H. and Burge H. 'Variabilities in Aerosolizing Activities and Airborne Fungal Concentrations in a Bakery', *American Industrial Hygiene Association Journal*, 60 (3), 1999.

Morey P.R., Horner E., Epstien B.L., Worthan A. G. and Black M.S. 'Indoor Air Quality in Nonindustrial Occupational Environments', *Patty's Industrial Hygiene*, 5th ed., Vol. 4, John Wiley & Sons Inc., 2000.

Nolard N. 'Indoor Moulds: a Public Health Problem in Belgium: Overview of 15 years' experience', *Bioaerosols, Fungi and Mycotoxins: Health Effects, Assessment, Prevention and Control*, Eckardt Johanning ed., Eastern New York Occupational and Environmental Health Center, Albany, 1999.

Pope A.M., Burge H. *Indoor Allergens. Assessing and Controlling Adverse Health Effects*, National Academy Press, Washington, D.C., 1993.

Robbins C.A., Swenson L.J., Neally M.L., Gots R.E., Kelman B.J. 'Health Effects of Mycotoxins in Indoor Air: A Critical Review', *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, 15 (10) :773-784, 2000.

Samson R.A., Flannigan B., Flannigan M.E., Verhoeff A.P., Adan O.C.G. and Hoekstra E.S. 'Health Implications of Fungi in Indoor Environments', *Air Quality Monographs*, Vol. 2, Elsevier Publication 602, 1994.

Santé Canada. *Contamination fongique dans les immeubles publics. Guide facilitant la détermination et la gestion des problèmes*, Federal-provincial Committee on Environmental and Occupational Health, 1995.

Thorne P.S. and Heederick D. 'Indoor bioaerosols - Sources and characteristics', *Organic Indoor Air Pollutants*, Tunga Salthammer ed., Wilry-VCH, Allemagne, 1999.

University of Minnesota, *Environmental Health and Safety*, Airborne Fungal Glossary, www.dehs.umn.edu/iaq/fungus/glossary.html, 2001.

University of Pennsylvania, Graduate School of Architectural Engineering and Department of Biology, *Aerobiological Engineering: Airborne Pathogen Database*, www.bio.psu.edu/people/faculty/whittam/apdbase/index.html, 2001.

Vujanovic V., Smoragiewicz W. and Krzysztyniak K. 'Airborne Fungal Ecological Niche Determination as One of the Possibilities for Indirect Mycotoxin Risk Assessment in Indoor Air', *Environmental Toxicology*, 16 (1) :1-8, 2001.

Yang C., Johanning E. 'Airborne Fungi and Mycotoxins', *Manual of Environmental Microbiology*, Hurst C. ed., ASM Press, Washington, D.C., 1996.

1.2 Concentrations de bioaérosols mesurées en milieu de travail

Les microorganismes sont omniprésents dans l'environnement mais leurs concentrations varient en fonction de plusieurs paramètres, dont la nature du substrat et les conditions ambiantes. Ainsi, certains milieux de travail, tels que les fermes d'élevage, les granges, les usines de traitement des déchets et des eaux usées, les usines et les entrepôts d'aliments et de boissons sont propices à la présence et à la croissance bactériennes, notamment celles des bactéries Gram négatives auxquelles les endotoxines sont associées. Ces environnements favorisent également le développement des moisissures.

Les tableaux 3 et 4 donnent des exemples de concentrations de bioaérosols viables et d'endotoxines mesurées dans différents milieux de travail. Ces données doivent être interprétées avec prudence et considérées comme des indications puisque les méthodes de mesure diffèrent selon les études.

Les constatations suivantes ressortent de ces données :

- Les concentrations de bactéries totales sont très élevées, soit de l'ordre de 10^6 unité formatrice de colonie (UFC) / m^3 en agriculture, pendant la fabrication de compost pour la culture des champignons, lors de l'utilisation de fluides de coupe, dans les papeteries et dans les porcheries.
- Les concentrations maximales de bactéries Gram négatives, de l'ordre de 10^4 UFC/ m^3 , sont trouvées dans les centres d'épuration des eaux usées, lors de l'utilisation de fluides de coupe, dans les porcheries et les scieries.
- Les concentrations d'actinomycètes peuvent présenter des problèmes en agriculture et dans la fabrication de compost pour la culture des champignons, avec des concentrations de l'ordre de 10^7 à 10^9 UFC/ m^3 .
- Les moisissures sont rencontrées en concentrations élevées, c'est-à-dire de l'ordre de 10^6 à 10^9 UFC/ m^3 , en agriculture, dans les scieries et les tourbières.
- Les concentrations maximales d'endotoxines ont été mesurées en agriculture, dans les usines de fibres de verre et dans les usines de préparation de pommes de terre. C'est dans ce dernier endroit que la concentration maximale de $1,9 \times 10^6$ ng/ m^3 d'air a été mesurée.

Tableau 3 : Concentrations de bioaérosols mesurées dans des milieux de travail

| Milieu de travail | Bactéries totales (UFC/m ³) ^a | Bactéries Gram négatives (UFC/m ³) | Actinomycètes Thermophiles (UFC/m ³) | Moisissures (UFC/m ³) |
|-----------------------------------|--|--|--|-----------------------------------|
| Extérieur | 10 ² | 10 ¹ | 10 ¹ | 10 ³ |
| Agriculture (normal) | 10 ⁷ | 10 ³ | 10 ³ | 10 ³⁻⁴ |
| Agriculture (foins moisiss) | 10 ⁹ | 10 ³ | 10 ⁹ | 10 ⁹ |
| Boulangerie | | | | 10 ²⁻³ |
| Centre de compostage | 10 ⁵ | 10 ² | 10 ⁴ | 10 ⁴ |
| Centre d'épuration des eaux usées | 10 ⁴ | 10 ⁴ | 10 ⁰ | 10 ³ |
| Champignons (compost) | 10 ⁶ | - ^b | 10 ⁷ | 10 ⁴ |
| Champignons (culture) | 10 ³ | - | 10 ² | 10 ² |
| Déchets domestiques (collecte) | 10 ⁴ | 10 ³ | 10 ³ | 10 ⁴ |
| Édifice à bureaux | 10 ² | 10 ¹ | 10 ¹ | 10 ²⁻³ |
| Effluents des papetières | 10 ⁴ | 10 ³ | 10 ¹ | 10 ⁴ |
| Fluide de coupe | 10 ⁶ | 10 ⁴ | - | 10 ⁵ |
| Humidificateur | 10 ³ | 10 ³ | - | 10 ²⁻³ |
| Moulin à coton | 10 ⁵ | 10 ⁴ | 10 ⁵ | 10 ³ |
| Papetière | 10 ⁶ | 10 ²⁻³ | - | 10 ³ |
| Porcherie | 10 ⁶ | 10 ³⁻⁴ | - | 10 ⁴ |
| Scierie | 10 ⁴ | 10 ³⁻⁴ | 10 ³ | 10 ⁶ |
| Tourbière | - | - | - | 10 ⁸ |
| Transformation du sucre | 10 ⁵ | 10 ³ | 10 ² | 10 ³ |
| Tri de déchets domestiques | 10 ⁴ | 10 ³ | 10 ⁰ | 10 ⁴ |
| Usine de tabac | 10 ³ | 10 ² | - | 10 ⁴ |

^a UFC/m³ = unité formatrice de colonie par mètre cube d'air

^b - = non documenté

Tableau 4 : Concentrations d'endotoxines mesurées dans des milieux de travail

| Milieu de travail | Concentration ng/m ³ ^a |
|-------------------------------------|--|
| Biotechnologie | <1-1810 |
| Boulangerie | <1-7 |
| Culture du grain | 6-16 000 |
| Déchargement de silo | 159-8 850 |
| Édifice à bureaux | <1-254 |
| Élevage d'oiseaux | 30-720 |
| Entrepôt d'avoine | 1290 |
| Fabrication de meubles en bois | 1,2-350 |
| Fabrication de fibres de verre | <1-27 800 |
| Ferme d'animaux à fourrure | 1 –1 950 |
| Ferme laitière | 10 –50 000 |
| Moulin à bois | <1-80 |
| Moulin à grain | 3-530 |
| Papetière | 1-760 |
| Porcherie | 1-75 000 |
| Poulailler | 1-2 680 |
| Préparation d'aliments pour animaux | <1-1 850 |
| Préparation de litière | 44-1 430 |
| Préparation de pommes de terre | 45 000-1 893 000 |
| Production de riz | 48-1 340 |
| Scierie | 20-17 000 |
| Silo de brasserie | 60-927 |
| Silo de maïs | 19-5 450 |
| Textile (coton) | <1-2 200 |
| Traitement des eaux | <1-410 |
| Traitement de déchets | 0-990 |
| Vidange de compost | 6-30 |

^a ng/m³ = nanogramme par mètre cube d'air ; 10 ng/m³ = 1 UE/m³ (UE = unité d'endotoxine)

Références citées et bibliographie

Cox S.C., Wathes C.W. *Bioaerosols Handbook*, CRC Press, Lewis Publishers, Boca Raton, 1995, 621 pages.

Crook B. 'Exposure to Airborne Microorganisms in the Industrial Workplace' *The Journal of Aerosol Science*, 23 (S1): S559-S562, 1992.

Duchaine C., Mériaux A., Thorne P. and Cormier Y. 'Assessment of Particulates and Bioaerosols in Eastern Canadian Sawmills', *American Industrial Hygiene Association Journal*, 61 (5), 2000.

Goyer, N. et Lavoie, J. *Émissions du traitement secondaire des effluents des papetières*, Rapport de recherche n° R-202, IRSST, 1998.

Jacobs R.R. 'Endotoxins in the Environment', *International Journal of Occupational and Environmental Health*, 3 (1): S3-S5, 1997.

Lavoie, J. *Évaluation de l'exposition des éboueurs aux bioaérosols*, Rapport de recherche n° R-255, IRSST, 2000.

Lavoie, J. et Guertin, S. *Évaluation des risques à la santé et à la sécurité dans les centres de tri de matières recyclables*, Rapport de recherche n° R-212, IRSST, 1999.

Lavoie, J. et Marchand, G. *Détermination des caractéristiques à considérer dans les centres de compostage des déchets domestiques*, Rapport de recherche n° R-159, IRSST, 1997.

Levy J., Nishioka U., Gilbert K., Cheng C.H. and Burge H. 'Variabilities in Aerosolizing Activities and Airborne Fungal Concentrations in a Bakery', *American Industrial Hygiene Association Journal*, 60 (3), 1999.

Marchand, G. *Les endotoxines en milieu de travail*, Rapport n° B-049, IRSST, 1996.

Poulsen O.M., Breum N.O., Ebbehøj N., Hansen A.M., Ivens U.I., van Lelieveld D., Malmros P., Matthiasen L., Nielsen B.H., Nielsen E.M., Schibye B., Skov T., Stenbaek, E., Wilkins K. 'Collection of Domestic Waste. Review of Occupational Health Problems and their Possible Causes', *The Science of the Total Environment*, 170: 1-19, 1995.

Reiman M., Uitti J. 'Exposure to Microbes, Endotoxins and Total Dust in Cigarette and Cigar Manufacturing: an Evaluation of Health Hazards', *Annals of Occupational Hygiene*, 44 (6): 467-473, 2000

Thorne P.S., Heederik D. 'Indoor Bioaerosols – Sources and Characteristic', *Organic Indoor Air Pollutants*, Tunga Salthammer ed., Wiley-VCH publishers, 1999, 328 pages. Florida, 621 pages. 1995.

1.3 Valeurs d'exposition

Il n'existe pas de normes québécoises, canadiennes ou américaines sur les limites d'exposition aux bioaérosols. Plusieurs raisons expliquent cette absence actuelle de valeurs limites d'exposition :

- Les relations dose-effet ne sont pas suffisamment documentées. Les informations actuellement disponibles reposent sur des associations entre des effets sur la santé et des mesures environnementales, sur une base de cas par cas. La susceptibilité individuelle semble très importante.
- Dans la majorité des cas, les effets rapportés concernent une espèce spécifique, alors que dans tout environnement, la diversité des espèces, viables et non viables, est élevée. Les effets synergiques d'une exposition multiple à des bioaérosols, par exemple des moisissures et des mycotoxines n'ont pas été étudiés.
- Il est difficile de conduire des études épidémiologiques rigoureuses, avec des mesures d'exposition objectives et des critères d'évaluation objectifs de la santé chez des groupes de travailleurs suffisamment nombreux.
- La composition et les concentrations des espèces qui constituent la flore microbienne d'un environnement sont influencées par de nombreux facteurs, dont les variations des conditions ambiantes et le cycle de vie des espèces. Les niveaux de base fluctuent donc beaucoup.
- La documentation des expositions repose sur des prélèvements ambiants de très courte durée. Aucune mesure de dose d'exposition cumulative n'est possible.
- Aucune méthode ne permet de mesurer l'ensemble des bioaérosols présents et l'on note des différences parfois importantes dans les méthodes utilisées.

Il manque beaucoup d'informations pour établir des valeurs limites d'exposition. Si de telles valeurs étaient établies pour un ensemble d'agents ou pour un agent spécifique, elles devraient non seulement donner une valeur de concentration, mais également spécifier la stratégie d'évaluation ainsi que les méthodes de prélèvement et d'analyse.

Malgré les lacunes mentionnées, certaines valeurs et certains critères sont proposés pour aider à porter un jugement sur l'importance de l'exposition aux bioaérosols.

- La communauté scientifique s'entend pour dire que la comparaison des espèces et des concentrations de bioaérosols trouvées à l'intérieur d'un local par rapport à celles de l'extérieur (ou d'un autre site de référence) constitue un indice utile pour déterminer s'il y a là un foyer de prolifération. Si les concentrations intérieures sont significativement plus élevées ou si les espèces diffèrent, il peut s'agir d'un site de génération ou de prolifération de bioaérosols. Cette approche est recommandée pour les moisissures en général et pour les bactéries provenant de l'extérieur. Outre les concentrations extérieures, celles qui sont mesurées dans un local contrôle ou pendant un arrêt de procédé ou de travail peuvent également servir de référence. À titre d'exemple, le local contrôle peut être une salle de surveillance d'un procédé si celle-ci est ventilée de façon indépendante, ou un local qui n'a pas fait l'objet de plaintes, dans le cas d'un édifice à bureaux.
- Une approche semblable est proposée pour évaluer une exposition aux endotoxines, soit la comparaison des niveaux d'activités d'endotoxines dans un environnement donné avec ceux

de base mesurés simultanément. L'ACGIH propose des valeurs de comparaison relatives pour les endotoxines. S'il y a manifestation de symptômes respiratoires en relation avec la présence d'endotoxines chez les travailleurs exposés, les concentrations mesurées doivent être inférieures à 10 fois le niveau de base. En l'absence de symptômes, les niveaux d'exposition peuvent être jusqu'à 30 fois supérieurs au niveau de base.

- Les pays scandinaves proposent des valeurs guides de 10 000 UFC/m³ d'air pour les bactéries totales et de 1 000 UFC/m³ d'air pour les bactéries Gram négatives dans le cas d'exposition de huit heures d'activités reliées à l'environnement (Malmros, 1990; Poulsen et coll, 1995).
- Différents organismes et chercheurs proposent des lignes directrices en fonction de certaines moisissures :
 - AIHA :
 - Les moisissures telles que *Cladosporium*, *Alternaria*, et *Epicoccum* et les Basidiomycètes, habituellement présentes dans l'air extérieur (en fonction du climat) doivent se trouver en concentrations inférieures à l'intérieur des bâtiments ventilés mécaniquement.
 - La présence confirmée de *Stachybotrys chartarum*, d'*Aspergillus versicolor*, d'*Aspergillus flavus*, d'*Aspergillus fumigatus* ou de *Fusarium moniliforme* exige des mesures immédiates. La présence confirmée d'une espèce se définit comme sa présence dans plusieurs échantillons, plusieurs colonies sur un échantillon ou, s'il y a une seule colonie sur un échantillon, la confirmation de sa croissance sur une surface.
 - La présence de fiente d'oiseaux ou de chauve-souris doit être éliminée immédiatement.
 - Santé Canada :
 - La présence de fiente d'oiseaux ou de chauve-souris doit être éliminée immédiatement.
 - La présence persistante de moisissures toxigènes (*Stachybotrys chartarum*, certaines espèces d'*Aspergillus*, de *Penicillium* et de *Fusarium*) exige une analyse plus poussée.
 - Atelier de travail (Hollande 1992, rapporté dans Samson et al., 1994) :
 - Les espèces suivantes sont considérées comme indicatrices d'un problème d'humidité ou d'un risque pour la santé (en fonction de l'humidité des matériaux) : *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus versicolor*, *Exophiala*, espèces de *Trichoderma*, de *Eurotium*, de *Wallemia* et de *Penicillium* (*chrysogenum*, *aurantiogriseum*), *Stachybotrys*, *Phialophora*, *Fusarium*, *Ulocladium* et les levures (*Rhodotorula*).
 - ACGIH :
 - Parmi les espèces mentionnées précédemment, l'ACGIH accorde une importance particulière à *Aspergillus versicolor*, à *Stachybotrys* et à *Fusarium*.
 - La présence de faibles concentrations d'espèces indicatrices doit être interprétée avec discernement. De plus, notons que les espèces ainsi identifiées ne sont pas les seules moisissures qu'il faut prendre en considération.

Le tableau 5 présente les critères d'action proposés par l'IRSST. Ils correspondent à des concentrations et à des observations qui justifient d'explorer davantage la situation et de prendre les actions requises.

Tableau 5 : Critères d'action proposés par l'IRSST

| Paramètre | Critère d'action |
|--------------------------|--|
| Bactéries totales | Milieu agricole ou industriel : 10 000 UFC/m ³ d'air (8 heures) Milieu non industriel ventilé mécaniquement : 1 000 UFC/ m ³ |
| Bactéries Gram négatives | Milieu agricole ou industriel : 1 000 UFC/m ³ d'air (8 heures) Milieu non industriel : présence |
| Endotoxines | Concentration > 30 fois la concentration de base dans l'air au site de référence Concentration > 10 fois la concentration de base dans l'air au site de référence (en cas de symptômes respiratoires) |
| Moisissures | Croissance visible sur une surface Détection d'une odeur caractéristique |
| Moisissures | - Concentration > concentration de base dans l'air au site de référence - Espèces différentes du site de référence (dans l'air) |
| Bioaérosols | Présence excessive d'humidité Présence d'eau (infiltration, inondation, accumulation, etc) |

Pour la bactérie *Legionella*, des valeurs de concentrations dans l'eau des tours de refroidissement ont été associées à un niveau de risque de contracter la maladie du Légionnaire :

| <i>Legionella</i> (UFC/mL) | Niveau de risque |
|----------------------------|------------------|
| > 1,000 | Élevé |
| 100-999 | Modéré |
| < 100 | Faible |

Considérant l'apport constant de nouvelles connaissances dans ce domaine, il est important de vérifier si les organismes de référence entérinent toujours les recommandations qu'ils ont formulées. Ainsi, à titre d'exemple, en 1999, l'ACGIH, n'endosse plus aucune des valeurs guides numériques que cette organisation avait déjà publiées.

La mesure des bioaérosols et l'interprétation des résultats, notamment en utilisant des valeurs limites, doivent être un élément de la stratégie d'évaluation et non l'unique apport de documentation d'une exposition aux bioaérosols.

La section suivante est consacrée spécifiquement aux stratégies à favoriser selon les objectifs visés.

Références citées et bibliographie

ACGIH. *Bioaerosols: Assessment and Control*, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, 1999.

ACGIH. *Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices*, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, 2000.

Aerotech Laboratories Inc. 'IAQ Microbial Reference Guide', *IAQ Tech Tips*, www.aerotechlabs.com, 2000.

AIHA. *Field Guide for the Determination of Biological Contaminants in Environmental Samples*, American Industrial Hygiene Association, Fairfax, 1996.

Becher R., Hongslo J.K. and Dybing E. *Guidelines for Indoor Air in Norway – A Practical Approach*, Pollution Atmosphérique, no 166, 2000.

Malmros, P. *Problems with the Working Environment in the Solid Waste Treatment*, The National Labour Inspection of Denmark, Report #10/1990, 1990.

Marchand, G. *Les endotoxines en milieu de travail*, IRSST, Rapport n° B-049, 1996.

Poulsen O.M., Breum N.O. and Ebbehoj N. 'Collection of Domestic Waste. Review of Occupational Health Problems and their Possible Causes', *Science of the Total Environment*, 170 (1), 1995.

Rylander R., Jacobs R.R. 'Endotoxins in the Environment: A Criteria Document', *Int. J. Occup. Environ. Health*, 3: S1, 1997.

Samson R.A., Flannigan B., Flannigan M.E., Verhoeff A.P., Adan O.C.G. and Hoekstra E.S. 'Health Implications of Fungi in Indoor Environments', *Air Quality Monographs*, Vol. 2, Elsevier Publication 602, 1994.

Santé Canada. *Contamination fongique dans les immeubles publics. Guide facilitant la détermination et la gestion des problèmes*, Federal-provincial Committee on Environmental and Occupational Health, 1995.

Seyfried, P.L. « Microorganismes, parasites et endotoxines en suspension dans la section de déshydratation d'une usine de traitement des eaux usées », Recherche appliquée, *Sciences et techniques de l'eau*, 23 (3) : 275, 1990.

SECTION 2 : STRATÉGIE D'ÉVALUATION

La première partie de cette section présente la démarche générale d'évaluation d'une situation d'exposition potentielle aux bioaérosols en milieu de travail. La deuxième partie décrit les étapes spécifiques de cette démarche, soit les méthodes, les techniques et les outils disponibles pour réaliser l'évaluation, le plan d'échantillonnage et l'interprétation des résultats. Des exemples succincts d'application à des situations de travail suivent.

2.1 Démarche générale d'évaluation

Comme pour l'évaluation de tout paramètre en milieu de travail, la stratégie doit être élaborée en fonction de l'objectif visé, en tenant compte des méthodes et des outils disponibles. Un résultat représentatif s'obtient par une stratégie réaliste, adaptée aux objectifs, et soutenue par un traitement statistique approprié et un programme d'assurance qualité.

Il importe, dans un premier temps, de formuler l'objectif de l'intervention. Par exemple, il peut s'agir de documenter la qualité de l'air pour l'élaboration d'un programme de santé, d'un programme de surveillance environnementale ou d'un programme de protection personnelle, de répondre à une plainte, d'établir une association entre un problème de santé et un bioaérosol spécifique, d'évaluer l'effet d'un changement technologique ou l'efficacité de correctifs.

Lorsqu'une évaluation de l'environnement s'avère nécessaire, la deuxième étape consiste alors à documenter les trois éléments qui interagissent dans une exposition aux bioaérosols, soit les sources de prolifération ou d'émission, les mécanismes de dispersion dans l'environnement de travail et les personnes exposées. L'étude du procédé et l'inspection visuelle minutieuse sont les principaux outils permettant d'obtenir les informations relatives aux deux premiers éléments. Ils sont considérés de façon détaillée dans la section 2.2. L'organisation du travail, l'étude des tâches et le registre des plaintes et des symptômes rapportés ou diagnostiqués documentent le troisième élément. La question des symptômes doit être abordée avec un professionnel de la santé.

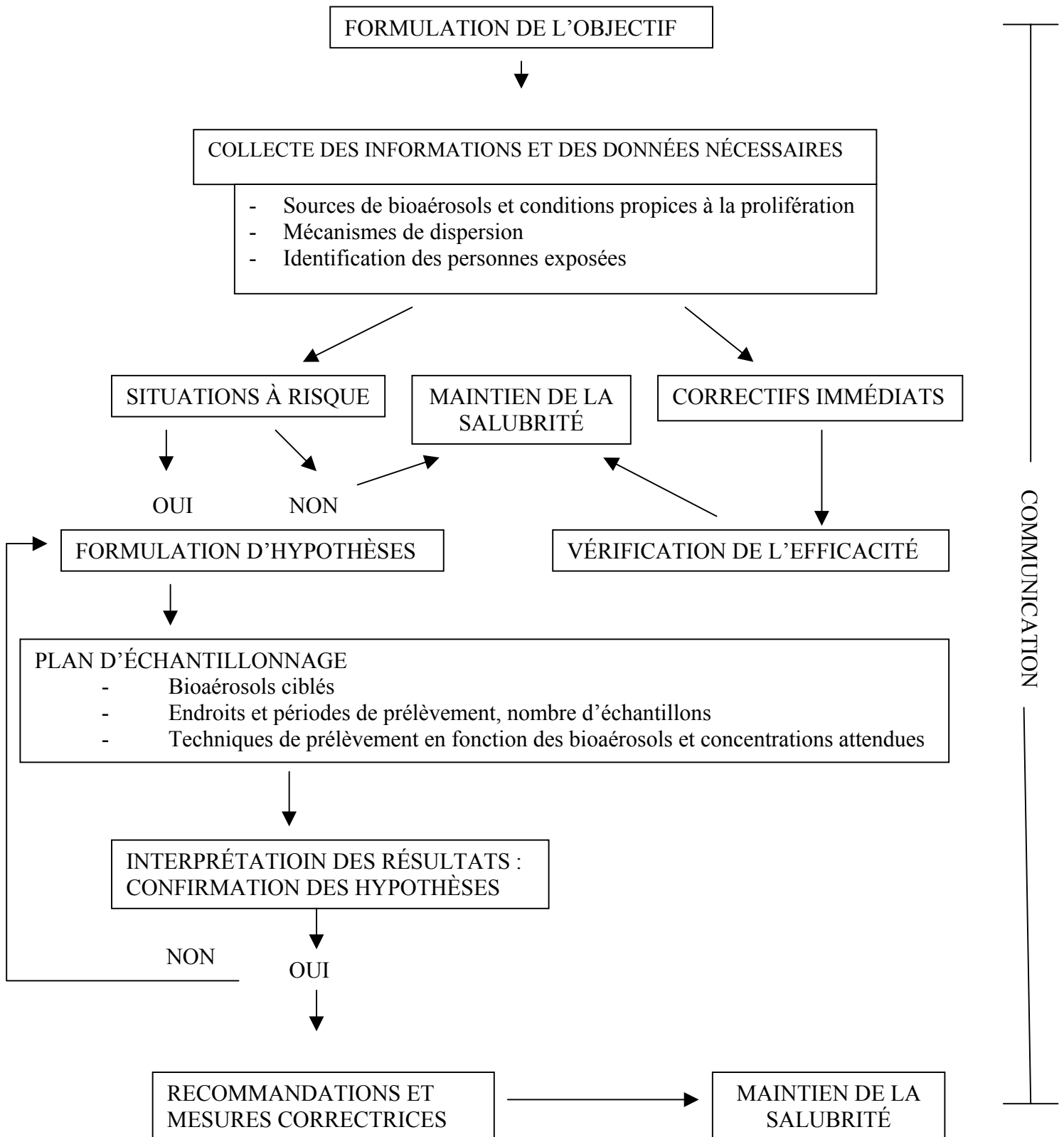
Les informations obtenues à cette étape doivent permettre de conclure : a) qu'il n'y a pas de situations à risque, dans lequel cas il faut s'assurer de maintenir la salubrité et mettre en place un mécanisme de suivi; b) que des correctifs immédiats, incluant la protection personnelle temporaire, doivent être appliqués pour éliminer ou diminuer les émissions; l'efficacité de ces correctifs doit alors être vérifiée et un mécanisme de suivi pour maintenir la salubrité doit être implanté c) qu'une évaluation approfondie des risques est nécessaire; un plan d'échantillonnage doit donc être élaboré en fonction des hypothèses découlant de cette première collecte de données. Ce plan d'échantillonnage doit spécifier quels bioaérosols sont à l'étude, où et quand les prélèvements doivent être faits et quelles techniques sont les plus appropriées. Le nombre de prélèvements doit être suffisant pour assurer la représentativité de la situation sous observation et l'interprétation correcte des résultats. Ceux-ci doivent permettre de parvenir à une conclusion de façon évidente sur l'hypothèse formulée.

En l'absence de valeurs limites d'exposition et de données toxicologiques concluantes, l'interprétation des résultats d'une évaluation environnementale de bioaérosols s'avère complexe. Elle repose sur la compétence et sur l'expérience de l'évaluateur ainsi que sur la collaboration de plusieurs professionnels, dont des médecins. Dans un tel contexte, la communication des résultats, des bases retenues pour leur interprétation ainsi que des conclusions et des recommandations qui en découlent est primordiale. Dans le contexte d'une approche de prévention des maladies, les résultats de toute intervention et les recommandations qui en résultent doivent toujours viser à assurer et à maintenir des conditions de travail saines.

Il est important de se rappeler que dans la majorité des cas, les bioaérosols ne font pas partie intégrante d'un procédé ; ce sont des contaminants environnementaux omniprésents. L'approche « échantillonner pour voir ce qu'il y a dans l'air » est donc tout à fait inappropriée puisque la présence de microorganismes y est normale. Cette approche peut même être risquée puisqu'elle conduit à des informations difficiles à interpréter, qui peuvent créer des inquiétudes inutiles et qui mènent presque inévitablement à une reprise de l'échantillonnage de façon professionnelle, c'est-à-dire avec un objectif précis et une méthode solide permettant de l'atteindre.

La figure 3 décrit la démarche générale pour l'évaluation d'une situation d'exposition potentielle aux bioaérosols.

Figure 3 : Démarche générale d'évaluation d'une exposition aux bioaérosols en milieu de travail



2.2 Méthodes d'évaluation

La stratégie d'évaluation d'une situation de travail doit être élaborée en fonction de l'objectif visé, tout en tenant compte des méthodes et des outils disponibles. Pour évaluer une situation d'exposition potentielle aux bioaérosols, les outils et méthodes peuvent être groupés en deux ensembles, soit ceux qui concernent plus directement l'environnement de travail et ceux qui sont reliés à la mesure des bioaérosols ou de leurs composantes.

2.2.1 Évaluation de l'environnement de travail

L'inspection visuelle exhaustive ou l'observation des étapes d'un procédé est l'outil le plus efficace pour identifier des situations qui peuvent présenter une exposition problématique aux bioaérosols.

L'inspection visuelle ou l'étude du procédé doit permettre :

- d'identifier et de localiser toutes les sources ou réservoirs potentiels de bioaérosols.

Les sources peuvent être les personnes elles-mêmes, des animaux, des matériaux endommagés par l'eau, un système de ventilation mal entretenu ou insuffisant, l'accumulation de déchets, des piles de compost, des réservoirs d'eaux usées, etc. Il faut également repérer les conditions propices à la prolifération des bioaérosols, tels qu'un taux d'humidité élevé, des dégâts, des infiltrations, des accumulations ou des bassins d'eau, de la condensation ou un niveau d'empoussièrément élevé. Il faut vérifier la présence et évaluer l'ampleur de la croissance fongique visible sur les surfaces. La section suivante décrit de façon détaillée les éléments à considérer pendant l'inspection extérieure et intérieure d'un bâtiment.

Dans certains environnements industriels, la présence de microorganismes est non seulement due à des conditions propices à la prolifération de la microflore normalement présente dans tout milieu, mais elle peut être associée directement au procédé de fabrication ou de transformation. Les matériaux de base, les produits, les sous-produits et les activités menées dans certaines usines favorisent non seulement la prolifération des microorganismes, mais également leur dispersion et leur propagation.

- d'identifier les mécanismes de propagation des bioaérosols dans l'air : la dispersion des bioaérosols est favorisée par toute action de brassage de l'air ou de substrats, d'aérosolisation ou de projection de liquides et de poussières.
- d'identifier les correctifs à réaliser et les mesures à appliquer : nettoyage ou enlèvement des sources, installation de mécanismes ou d'équipements limitant la propagation, établissement de procédures de travail sécuritaires, d'un programme de protection individuelle, de règles d'hygiène personnelle strictes, etc. La section 3 du document porte spécifiquement sur les correctifs et le contrôle.

2.2.2 Inspection détaillée d'un bâtiment

Trois éléments favorisent la prolifération microbienne dans un environnement de travail : a) la source microbienne, b) les nutriments et c) l'eau. En leur présence, il est recommandé d'élaborer une démarche de prévention pour minimiser les risques de croissance indue. Le contrôle de l'apport hydrique s'avère généralement le moyen le plus efficace pour la limiter. L'omniprésence des microbes dans notre environnement et la présence de nombreux matériaux et d'autres substrats nutritifs limitent les possibilités d'intervention rapide et efficace à cet égard.

De façon générale, l'humidité accumulée dans un bâtiment provient : 1) des activités normales des occupants ou des procédés, 2) de l'infiltration d'eau sous forme liquide ou vapeur par les interstices de l'enveloppe extérieure, 3) de l'humidité accumulée dans les matériaux de construction, 4) de la libération graduelle, en hiver, de l'humidité absorbée dans les meubles et les matériaux pendant la période estivale et 5) de la migration de l'humidité du sol par les murs et la dalle de plancher du sous-sol.

L'étape initiale de la démarche d'intervention consiste à procéder à une inspection préliminaire du milieu de travail. Elle permet en outre de colliger des informations variées sur les activités qui ont cours dans le bâtiment, la nature des procédés, le fonctionnement général des systèmes de ventilation, le réseau de plomberie et l'aménagement extérieur. Ces données seront au besoin complétées par l'ajout d'informations spécifiques relatives aux composants du système de chauffage, de ventilation et de conditionnement de l'air (CVCA), incluant sa logique de fonctionnement, à l'enveloppe du bâtiment et aux paramètres hydrauliques du sol. Les occupants du bâtiment ainsi que le personnel technique affecté au fonctionnement et à l'entretien des équipements doivent être mis à contribution au cours de cette évaluation.

Dans bien des cas, ces premières interventions auront permis d'identifier la provenance de l'eau, soit par l'observation d'infiltrations, de fuites, de suintements ou de signes tels que bois noirci et cernes.

Il est indispensable de documenter l'historique du bâtiment, notamment en ce qui a trait aux infiltrations d'eau antérieures, aux refoulements d'égouts, aux inondations, aux incendies et aux poussières ainsi que les techniques de nettoyage utilisées à la suite de tels événements.

L'eau et la vapeur d'eau peuvent également entraîner une diminution de la résistance thermique des matériaux isolants et une dégradation de leur résistance structurale. De façon générale, la dégradation qui en résulte s'observe par 1) la présence de moisissures et de mildiou sur les surfaces, 2) la dégradation des matériaux en bois, 3) l'éclatement de la maçonnerie et du béton causé par les cycles de gel et de dégel, 4) l'hydrolyse de matériaux en plastique, 5) la corrosion de pièces métalliques, 6) les dommages causés par l'expansion de matériaux (ex. le gauchissement des planchers en bois), 7) une modification des finis de surface (écaillage de la peinture des parements de bois et efflorescence sur la maçonnerie), 8) le gonflement et la fissuration du stuc dus à la condensation de l'air humide s'échappant de l'enveloppe ou provenant d'une évacuation inadéquate de la pluie et de la neige.

A- Inspection extérieure d'un bâtiment

Cette inspection doit permettre de localiser les endroits où il peut y avoir une infiltration d'eau provenant de l'extérieur. L'inspection porte sur le parement extérieur, les fondations et la toiture. Pour faciliter la compréhension de ces notions, l'annexe 3 présente des exemples d'enveloppes de bâtiments.

Parement extérieur

Sur le parement extérieur, il peut être difficile de localiser l'endroit où l'eau s'infiltré. Comme elle peut circuler sur de longues distances avant d'apparaître sur une surface intérieure, il est recommandé de ne pas limiter l'inspection de l'enveloppe extérieure à la zone située à proximité de l'endroit où l'eau apparaît. En conséquence, il faut inspecter tous les éléments du parement extérieur, et ce, préférablement lorsqu'il pleut puisque plusieurs infiltrations surviennent à ce moment. Il faut également garder à l'esprit que les cavités situées dans l'enveloppe peuvent servir de réservoir, ce qui peut entraîner un délai entre le contact de l'eau sur le parement et son apparition à l'intérieur.

De l'extérieur, l'eau peut migrer à travers l'enveloppe sous l'effet des forces exercées par : 1) la gravité, 2) la capillarité, 3) l'écart de pression d'air 4) l'énergie cinétique des gouttes de pluie et 5) la tension superficielle. La force de gravité a pour effet d'entraîner l'eau vers le bas du revêtement et de lui permettre de s'introduire dans les orifices. Ce type d'infiltration se produit notamment lorsque les matériaux ne se superposent pas au niveau des joints horizontaux ou lorsque leur chevauchement est inversé. La succion capillaire a comme conséquence de permettre à l'eau de se déplacer dans les matériaux poreux et perméables ainsi dans les petits orifices, comme les fissures, les joints et les jonctions. Lorsqu'il y a déséquilibre de la pression d'air de part et d'autre du revêtement, il se produit un déplacement de l'air en direction de la pression la plus basse. La dépression que l'effet de tirage ou de la ventilation mécanique produit à l'intérieur du bâtiment ainsi que la surpression du vent sur le parement extérieur favorisent l'infiltration de l'air et de l'eau. La tension superficielle permet à l'eau d'adhérer sur la face inférieure des surfaces horizontales.

Pour limiter les risques d'infiltration d'eau, il est important que les principes d'étanchéité suivants soient appliqués pendant la conception et la construction du bâtiment :

- doter le bâtiment d'un système de récupération de l'eau (gouttières, solins)
- s'assurer que le toit se draine facilement (pente suffisante, présence d'un renvoi de toit)
- appliquer les deux niveaux de protection assurant le contrôle de l'infiltration de l'eau de pluie par les murs extérieurs :

- le premier niveau de protection consiste à s'assurer que la quantité d'eau qui peut entrer en contact avec le revêtement extérieur est minimisée, notamment par 1) la présence d'éléments de protection, comme des avancés de toiture, des corniches et un larmier sous les seuils des fenêtres, 2) le choix du revêtement en fonction de sa perméabilité, l'attention portée au détail des joints et des jonctions, le nombre et la taille limités des ouvertures dans le revêtement et 3) la maîtrise de l'effet des forces qui s'exercent sur le revêtement.

- le deuxième niveau de protection consiste à intercepter l'eau qui a franchi la première protection et à l'évacuer à l'extérieur. Dans un mur construit selon le principe de l'écran pare-pluie, la protection est assurée par la présence d'une lame d'air, avec ou sans membrane d'étanchéité sur la paroi interne de la cavité. L'eau qui réussit à s'introduire dans la cavité est par la suite entraînée vers le bas du mur, pour être évacuée par le solin ou les chantepleures. L'installation d'un solin de protection au périmètre des fenêtres, pour permettre la récupération et l'évacuation de l'eau qui pourrait survenir en raison d'un calfeutrage inadéquat entre le parement et la fenêtre, ainsi que le recouvrement de la lisse servant d'appui à une fenêtre sont également des exemples de protection secondaire.

Notons que les moyens de protection utilisés pour assurer l'étanchéité du bâtiment peuvent, dans certaines conditions climatiques, être insuffisants pour empêcher la pénétration de l'eau. La pluie abondante, l'accumulation de la neige, la glace et le vent sont des éléments susceptibles de nuire à son écoulement et à son drainage.

D'autres facteurs peuvent favoriser les infiltrations dans le parement extérieur :

- la pose inadéquate des garnitures d'étanchéité pendant la fabrication des fenêtres
- la dégradation (fissure, écaillage, bulles en surface) des garnitures d'étanchéité et des calfeutnants situés au périmètre des fenêtres
- l'utilisation de produits calfeutnants ne résistant pas aux intempéries ou incompatibles avec le support sur lequel ils sont appliqués
- l'absence d'un support adéquat lors de la pose de calfeutrant entre les sections métalliques et le bardage
- la présence de fissures dans le parement extérieur (placage de maçonnerie, stuc, bardage)
- l'effritement du mortier dans les ouvrages de maçonnerie
- l'accumulation d'eau à la sortie des chantepleures des fenêtres en raison d'une pente inversée du seuil
- l'absence d'un larmier aux appuis des fenêtres et aux seuils des portes
- l'absence ou la pose inadéquate de calfeutnants au périmètre des portes, des seuils et des menuiseries de finition
- l'absence ou la pose inadéquate de calfeutrant le long des joints verticaux entre les matériaux de revêtement extérieur différents et non protégés par un solin.

Par ailleurs, les portes, les fenêtres et les lanterneaux qui ne sont pas installés conformément aux recommandations des fabricants présentent également des risques d'infiltration. Certains bâtiments requièrent l'utilisation de joints de dilatation pour permettre l'expansion des matériaux. La force appliquée par le mouvement des matériaux peut entraîner le décollement ou la séparation du calfeutrant et permettre à l'eau de s'introduire.

Fondations

L'inspection des fondations peut permettre de déceler la présence de fissures. Ces dernières peuvent dépendre de causes variées, notamment une conception déficiente, un béton mal dosé, l'absence d'armature, un remblayage inadéquat, une pression hydrostatique trop forte, le gel, le vieillissement et un tassement différentiel provoqué par l'assèchement du sol. L'amélioration des conditions de drainage des eaux de surface peut, dans certaines situations, permettre d'enrayer

les infiltrations. Cela peut être réalisé par l'augmentation de la pente du sol à proximité des fondations et par l'éloignement des descentes pluviales. La présence d'eau au niveau du plancher peut également être occasionnée par un blocage ou une surcharge du drain de fondation placé au périmètre du bâtiment. Le raccordement des descentes pluviales à ce drain n'est pas indiqué en raison de la charge hydraulique importante que celles-ci imposent au réseau de drainage. Dans certains cas, l'infiltration peut résulter de la dégradation de l'enduit imperméabilisant qui recouvre la face extérieure des fondations.

Toiture

Les infiltrations provenant de la toiture peuvent, dans certains cas, être décelées de l'entretoit. La présence de surfaces mouillées, des traces d'eau et de corrosion sur les éléments structuraux et l'accumulation de givre ou de moisissures constituent des signes d'infiltration ou de condensation. Au nombre des causes possibles, notons l'absence ou l'endommagement du pare-vapeur du plafond, la ventilation insuffisante de l'entretoit, l'isolation insuffisante, les perforations dans le revêtement de la toiture, les fuites d'air humide provenant de ventilateurs d'évacuation et l'absence d'isolation sur la tuyauterie des renvois de toit et des événements.

L'inspection visuelle effectuée à partir du toit pourra révéler la présence de dommages aux solins qui doivent assurer l'étanchéité au point de rencontre de deux plans de couvertures, entre un mur et une couverture ou autour des ouvertures pratiquées pour le passage de cheminées, d'évents, de sorties de ventilation, de la tuyauterie des systèmes mécaniques et de lanterneaux. L'accumulation de l'eau sur la toiture en raison d'un drainage inadéquat (pente insuffisante, affaissement de la charpente, dommages, blocage ou absence de renvoi) doit être évitée puisqu'elle favorise le vieillissement prématuré de certains types de recouvrements. Il faut vérifier l'état des solins utilisés pour le recouvrement des parapets et des autres murs dépassant la toiture.

Les signes de détérioration des toitures varient en fonction du type de recouvrement. Dans le cas d'une couverture multicouches, composée de papier feutre et de bitume en couches alternées, le tout recouvert d'une couche de bitume et de gravier, les problèmes les plus fréquents sont :

- les perforations résultant de l'usure ou d'un impact
- les cloques entre les plis causées par la vapeur d'eau ou l'air emprisonnés
- les bulles dans le bitume causées par l'expansion de celui-ci sous l'effet des radiations solaires
- les membranes dégarnies en raison d'une couche trop mince de pierre concassée ou d'une mauvaise adhérence avec le bitume
- les plis en surface en raison du glissement des feutres ou des problèmes d'adhérence causés par le ramollissement de l'asphalte sous l'effet du soleil
- les fissures causées par le durcissement du bitume (son oxydation par le soleil entraîne un durcissement qui crée des forces de contraction), l'écrasement des cloques, les mouvements de charpente ou la contraction des matériaux sous l'effet du gel.

Pour les toitures faites de bardeaux d'asphalte, les risques d'infiltration sont généralement associés aux problèmes suivants :

- mauvaise installation des bardeaux

- détérioration prématurée causée par l'infiltration de vapeur d'eau, les radiations solaires, le vent
- déformation et déplacement des bardeaux par le fléchissement ou le déplacement (attaches déficientes) du support de couverture ou la fixation inadéquate des bardeaux
- formation d'une digue de glace en raison d'une ventilation inadéquate de l'entree, d'une déperdition thermique importante ou de la présence d'un pont thermique.

B- Inspection intérieure d'un bâtiment

Cette inspection doit permettre de localiser les endroits propices à la prolifération des bioaérosols, puis de vérifier la présence de la croissance fongique visible et d'évaluer son ampleur. Elle porte sur le système de ventilation et de climatisation ainsi que sur toutes les surfaces (moquettes, plafonds, murs, poutres, contours de fenêtres, surfaces de travail, etc.). De façon générale, les sources d'eau stagnante constituent des foyers de prolifération des bactéries, alors que les surfaces mal entretenues et empoussiérées le sont pour les moisissures. Le document de l'IRSST *Guide de prévention contre la prolifération microbienne dans les systèmes de ventilation et Building Air Quality , a Guide for Building Owners and Facility Managers*, publié conjointement par EPA et NIOSH, décrivent tous les éléments à inspecter dans un système de ventilation et dans l'environnement intérieur.

Les surfaces peuvent être endommagées non seulement par des phénomènes évidents, tels que inondations, dégâts ou infiltrations d'eau, mais aussi de façon plus subtile par la condensation et la migration de la vapeur d'eau.

La vapeur d'eau peut se déplacer à travers l'enveloppe du bâtiment par deux processus, soit 1) par les courants d'air et 2) par la diffusion sous l'action d'une différence de pression de la vapeur. Il est admis que les courants d'air constituent le principal mode de transfert de la vapeur. Lorsque celle-ci traverse l'enveloppe d'un endroit chaud à un endroit froid, il est possible qu'elle se condense. Cette situation se produit lorsque la température de la surface est égale ou inférieure au point de rosée du mélange air-eau. Si elle n'est pas évacuée, l'eau peut entraîner la dégradation des matériaux et favoriser le développement de moisissures et de bactéries.

Les déplacements d'air à travers l'enveloppe se produisent sous l'effet des forces exercées par le vent, du tirage et de la ventilation. Dans la majorité des bâtiments, on observe une infiltration d'air dans la partie basse et une exfiltration dans la partie haute. Lorsque le pare-vapeur est absent ou mal posé, l'air humide de l'intérieur qui se déplace vers l'extérieur est susceptible de se condenser. Sur un parement de bois, l'écaillage de la peinture est souvent associé à la diffusion de la vapeur de l'intérieur vers l'extérieur. L'efflorescence observée sur les parements de maçonnerie peut être liée au même phénomène. L'accumulation d'eau dans les matériaux poreux peut, sous l'action du gel, entraîner une dégradation importante de ceux-ci. De façon générale, le pare-vapeur est placé sur la surface chaude de l'isolant de façon à 1) limiter l'exfiltration de l'humidité vers l'extérieur et 2) prévenir la condensation de l'air au contact des surfaces froides. Les fuites d'air peuvent être détectées à l'aide d'un tube fumigène. La déposition de poussières au voisinage des joints ou des fissures est également indicatrice d'un mouvement d'air. Les fuites se produisent entre autres aux endroits suivants :

- autour des fenêtres, des portes, des trappes d'accès
- autour de la tuyauterie et des conduits d'air
- par les prises de courant (murs extérieurs), les luminaires, autour des fils traversant une cloison
- par les fissures dans le revêtement des murs ou dans les plafonds
- le long des moulures, au point de rencontre de la charpente et des murs en maçonnerie ou de la cheminée.

Lorsqu'il existe une différence dans les concentrations de la vapeur d'eau entre deux points, il se produit un écoulement de cette vapeur du point de forte concentration vers le point faible, et ce, en l'absence d'un mouvement d'air. La diffusion à travers un matériau dépend de la différence entre les pressions de la vapeur, de la perméabilité et de la longueur du matériau. En hiver, la pression de la vapeur étant généralement plus élevée à l'intérieur du bâtiment qu'à l'extérieur, il en résulte un écoulement vers l'extérieur. La condensation se produit lorsque la pression de la vapeur devient supérieure à celle de la vapeur maximale admissible (pression de vapeur à saturation) à cette température.

Les moquettes, les tuiles de plafond, les panneaux de gypse, le papier, le carton ainsi que toute autre surface cellulosique doivent retenir particulièrement l'attention au cours d'une inspection visuelle.

C- Techniques spécialisées et instrumentation

Lorsque l'inspection visuelle ne permet pas de localiser les sources de fuites, il est possible de procéder à un test d'arrosage sur le parement extérieur. Deux méthodes *in situ* sont proposées par l'American Society for Testing and Materials (ASTM E-1105) et l'American Aluminum Manufacturers Association (AAMA 501.2). Bien que ces techniques soient différentes, toutes deux consistent essentiellement à arroser la surface extérieure avec de l'eau et à observer la présence de fuites.

La thermographie infrarouge est également utilisée dans certaines situations. Il s'agit d'une technique non destructive qui peut servir à l'intérieur et à l'extérieur d'un bâtiment. À l'aide d'une caméra qui capte les rayonnements infrarouges émis par un corps, on obtient des images thermiques démontrant les variations de températures sur une surface. Les irrégularités ainsi mises en évidence proviennent des variations de la conduction thermique, de l'écoulement d'air et de renversement de la température dans le parement extérieur, la toiture ainsi que les murs intérieurs. Les anomalies de l'enveloppe du bâtiment, comme l'absence, le déplacement ou l'humidité de l'isolant, la présence de ponts thermiques, les fuites d'air peuvent ainsi être localisées. Compte tenu de l'expertise nécessaire pour l'application de ces méthodes et des coûts impliqués, il est recommandé de recourir à des spécialistes de l'enveloppe du bâtiment pour la réalisation et l'interprétation de ce type d'évaluation.

L'utilisation d'un humidimètre peut s'avérer très pratique pendant une inspection pour détecter les accumulations d'eau invisibles. Cet instrument permet de déterminer la teneur en eau du bois, laquelle est exprimée en pourcentage et correspond au poids de l'eau contenue dans le bois en rapport avec le poids du bois anhydre. La teneur en eau est déterminée par la mesure de la

résistivité entre deux électrodes enfoncées dans le matériau. Les tables fournies avec l'appareil permettent de l'utiliser pour différentes essences de bois. Il peut aussi servir à des fins qualitatives pour d'autres types de matériaux poreux, tels que le béton, le gypse et les isolants. Toutefois, l'utilisateur doit au préalable établir la teneur en eau du matériau à vérifier à l'aide d'un échantillon sec. Le pourcentage affiché par l'humidimètre constitue ainsi la valeur de référence pour ce matériau, et non le pourcentage réel de son contenu hydrique. Le contact des électrodes de l'appareil avec une surface métallique (colombages de métal, pare-vapeur aluminé) peut toutefois induire une erreur importante.

Un endoscope rigide peut être utilisé pour confirmer la présence d'eau, notamment dans les cavités et les conduits de ventilation, ainsi que pour déceler les signes de croissance microbienne ou l'accumulation de substrats nutritifs dans ces endroits. L'instrument consiste en une sonde optique d'une longueur de 24,5 cm alimentée par une source lumineuse halogène.

2.2.3 Méthodes de mesure des bioaérosols

En milieu de travail, l'inhalation constitue la principale voie d'exposition aux microorganismes. Différentes techniques d'évaluation de leur présence dans l'air permettent de mesurer les organismes viables (cultivables ou non), les cellules mortes et certaines composantes, telles que les endotoxines, les mycotoxines, le glucan, l'ergosterol et les composés organiques volatils. En plus de permettre d'évaluer leur présence de façon quantitative (par un dénombrement ou un dosage) et qualitative (par l'identification du genre et de l'espèce ou du produit), l'échantillonnage de l'air peut aussi permettre d'évaluer la propagation d'une source dans l'espace ou l'efficacité des mesures de contrôle implantées. Dans le cas spécifique des édifices endommagés par l'eau, la mesure des moisissures dans l'air s'est avérée un outil efficace pour juger de la situation.

Il est également possible de faire des prélèvements de surface des microorganismes. L'échantillonnage de surface est pertinent pour confirmer la présence de moisissures dans le cas d'une inspection visuelle équivoque (ex : décoloration, tache) et, bien que non quantitatif, il peut permettre de juger de l'efficacité d'un nettoyage. Il peut être utile pour mesurer le degré relatif et l'étendue de la croissance microbienne ou comme technique complémentaire dans l'identification des espèces présentes. À cause de la très grande variabilité des résultats que procurent ces prélèvements de surface et des faibles corrélations obtenues avec les mesures dans l'air ou des effets sur la santé, ce type de prélèvement ne peut à lui seul permettre de conclure sur le risque d'exposition ; il s'agit d'un outil complémentaire à l'évaluation environnementale et au diagnostic médical.

Le dénombrement des microorganismes dans les poussières déposées et accumulées n'est pas recommandé puisqu'il peut être non représentatif de la situation à cause des variations dans les conditions environnementales et de la présence de nutriments dans ces poussières, influençant ainsi le développement des microorganismes.

Le tableau 6 présente les techniques de prélèvement d'air et de surface habituellement utilisées à l'IRSST. Plusieurs types d'échantillonneurs pour le prélèvement de bioaérosols dans l'air sont

offerts sur le marché. L'Institut n'a pas faite d'étude comparative ni d'analyse de performance récentes de ces appareils, mais il recommande les critères suivants pour leur sélection :

Un échantillonneur de bioaérosols doit pouvoir être désinfecté, son efficacité d'échantillonnage doit être connue et son débit de prélèvement doit pouvoir être mesuré adéquatement.

Les techniques d'analyse sont décrites dans les sections suivantes.

A- Bactéries et moisissures dans l'air

Actuellement, les méthodes basées sur la culture des microorganismes sont les plus répandues ; elles mesurent seulement la fraction viable et cultivable des bioaérosols, c'est-à-dire les microorganismes vivants, aptes à se développer et à être en compétition avec les autres organismes présents. Le choix du milieu de culture et des conditions de croissance sont les premiers éléments déterminants dans le prélèvement des bioaérosols, en fonction de l'objectif visé. Un grand nombre de milieux nutritifs sont disponibles ; certains, d'utilisation générale, permettent la croissance d'une large variété de microorganismes, d'autres sont sélectifs ou différentiels. Un milieu sélectif fournit un avantage nutritif pour des microorganismes ciblés, alors qu'un milieu différentiel contient des ingrédients qui produisent des différences dans leur apparence et facilitent leur identification. Les milieux à large spectre sont ceux que fournit habituellement l'IRSST. Des milieux nutritifs spécifiques peuvent être fournis sur demande au laboratoire.

L'échantillonneur utilisé par l'IRSST est l'impacteur de marque Andersen ou sa version modifiée à un étage. Pour des environnements de travail où les concentrations de microorganismes attendues sont élevées, c'est-à-dire plus de 10 000 UFC/m³, le prélèvement sur filtre est recommandé. Se référer au *Guide d'échantillonnage des contaminants de l'air en milieu de travail* (2000) » pour les procédures d'utilisation de ces techniques.

Deux méthodes sont disponibles pour l'analyse des bactéries et des moisissures. La méthode de base consiste en un dénombrement des colonies formées suivant une période d'incubation spécifique aux microorganismes recherchés. Le dénombrement indique les quantités de bioaérosols présents dans un endroit donné à un moment donné. Il se fait par stéréomicroscopie. Dans un deuxième temps, une identification des espèces peut être faite. Pour ce faire, chacune des colonies différentes trouvées sur la gélose de départ doit être repiquée sur une gélose spécifique, incubée de nouveau et identifiée par différentes techniques. Les bactéries sont identifiées par un ensemble de tests biochimiques ou par l'analyse chromatographique de leur profil en acides gras, alors que les moisissures sont identifiées par observation morphologique.

L'identification de bioaérosols est complexe, requiert une expertise professionnelle spécialisée, demande beaucoup de temps et doit être limitée aux situations qui le justifient.

La mesure des espèces basée sur leur croissance sur un milieu nutritif a des limitations et des biais, attribuables notamment à la compétition entre les espèces, à la différence dans la vitesse de croissance et la grosseur des colonies, ou à l'envahissement du milieu nutritif par certaines

espèces. Il faut également noter qu'en culture, il pousse un nombre relativement faible de microorganismes.

Malgré ces limitations, cette méthode s'avère adéquate en autant qu'elle soit utilisée de façon constante et rigoureuse.

Les résultats d'une étude à l'autre peuvent être comparés seulement si les mêmes paramètres de prélèvement et d'analyse ont été utilisés.

B- Endotoxines dans l'air

Les endotoxines sont prélevées sur filtres, extraites et analysées. Différents types de filtres, différentes techniques d'extraction et d'analyse font que les résultats varieront parfois de façon considérable entre les laboratoires. Il est donc essentiel d'indiquer tous les paramètres de la méthode utilisée lorsqu'on rapporte des résultats. La méthode IRSST 332-1 utilise un filtre de fibres de verre à un débit de 2 L/min pendant quatre heures. Les endotoxines sont extraites dans une solution aqueuse et analysées par la méthode du Lysat d'amœbocyte de la limule (LAL). Le dosage est effectué par une analyse chromogénique de type cinétique à l'aide d'un spectromètre à la longueur d'onde de 405 nm.

C- Autres composantes dans l'air

Considérant que les méthodes d'analyses des mycotoxines de l'air ne sont pas validées, l'évaluation de l'exposition repose sur des évidences circonstanciées, telles que la présence de moisissures dans l'air et des effets sur la santé associés aux mycotoxines. Cependant, des études récentes tendent à démontrer qu'il n'y a pas de corrélation entre la présence et les concentrations de mycotoxines et de moisissures dans l'air et vice versa.

Des analyses par la méthode du LAL et par des immunoessais ont été tentées pour mesurer le glucan. À cause du manque de données autant sur les effets toxicologiques que sur les concentrations de base, son analyse spécifique n'est pas recommandée.

Les composés organiques volatils se mesurent au moyen des méthodes conventionnelles, par prélèvement sur des tubes adsorbants et par analyse chromatographique. Cependant, les limites de détection de la majorité d'entre eux sont supérieures aux concentrations émises par des bioaérosols. L'interprétation de ces résultats en lien avec une exposition aux bioaérosols est donc difficile.

La mesure des mycotoxines, du glucan, de l'ergostérol et des composés organiques volatils devrait être faite uniquement dans le contexte d'une recherche de nature méthodologique ou épidémiologique.

D- Prélèvements de surface

Les prélèvements de surface sont habituellement faits *in situ*. Les microorganismes sont prélevés sur des surfaces lisses, par frottis, à l'aide d'un écouvillon stérile humide que l'on fait tourner sur la surface à échantillonner. Une surface d'environ 100 cm² est recommandée. Ensuite, la surface entière du milieu de culture est inoculée, selon le même principe de rotation. Une éponge peut être utilisée pour prélever une surface plus grande. Elle est placée dans un sac propre fourni par le laboratoire. Le prélèvement par contact direct du milieu de culture sur la surface est aussi possible.

Dans des cas particuliers, par exemple, en présence de moisissure visible sur une surface poreuse, des échantillons de matériau, placés dans des sacs de plastique propres, peuvent être envoyés au laboratoire. Ces techniques permettent l'identification des microorganismes viables et la disponibilité d'une plus grande quantité de matériel facilite le travail en laboratoire.

Afin que les échantillons soient prélevés et manipulés de façon conforme et traités dans le délai prévu, il est essentiel de communiquer avec le laboratoire avant d'effectuer de tels prélèvements.

Les résultats des prélèvements de surface sont uniquement qualitatifs, c'est-à-dire qu'ils permettent de conclure à la présence des espèces identifiées, sans donner de nombre ou de concentration.

E- Prélèvements extérieurs / sites de référence

La comparaison des espèces et des concentrations de bioaérosols trouvées à l'intérieur par rapport à celles de l'extérieur ou d'un endroit de référence est un élément clé d'une évaluation environnementale, notamment pour les moisissures et les endotoxines.

Différents paramètres influencent le résultat des prélèvements extérieurs, soit les conditions éoliennes, la température, l'humidité, la période de la journée et le site de prélèvement. Dans des conditions venteuses, la mise en suspension des particules dans l'air entraînera des concentrations plus élevées. L'échantillonnage pendant ou après une pluie peut modifier les résultats ; les concentrations auront tendance à être plus faibles et la distribution des espèces sera différente. La température et l'éclairement sont également des facteurs qui influencent la distribution des espèces. La proximité de milieux à forte concentration de microorganismes (fermes, sites d'enfouissement, etc.) doit être considérée dans le choix du lieu de prélèvement. Les directives suivantes assureront la validité des prélèvements extérieurs :

- ◆ l'échantillonnage doit autant que possible être fait en même temps que celui de l'intérieur;
- ◆ en présence de systèmes de ventilation mécaniques, les prélèvements doivent être faits le plus près possible de leur entrée d'air et le plus loin possibles des sorties d'air vicié;
- ◆ dans les établissements dont les activités génèrent des bioaérosols (centres de compostage ou de traitement des déchets, etc.), il est recommandé de prendre les échantillons

contrôles à 300 mètres en amont dans la direction du vent et de ne pas se situer à proximité d'un site à haute concentration en microorganismes.

Dans certaines circonstances, il peut être approprié d'utiliser un site de référence autre que l'environnement extérieur. Ainsi l'échantillonnage dans un local où aucune plainte n'a été formulée ou qui est ventilé par un autre système peut aider à diagnostiquer le problème d'un lieu qui a fait l'objet de plaintes. Des mesures dans une salle de surveillance d'un procédé, ventilée de façon indépendante, ou pendant l'arrêt du procédé permettent de localiser les sources. L'échantillonnage de l'air extérieur en hiver est recommandé en autant qu'un échantillon soit également prélevé dans un local témoin.

F- Cas particuliers

- Mites de poussières

L'évaluation de l'exposition aux mites se fait par l'analyse de la poussière. Le nombre total de mites ou la concentration d'allergènes peut ainsi être déterminé. Le décompte se fait après la séparation des mites de la poussière recueillie, alors que la mesure des allergènes dans la poussière utilise la technique immunologique ELISA (Enzyme-linked ImmunoSorbent Assay). Cette évaluation devrait être faite dans des cas exceptionnels, où la confirmation de niveaux élevés d'acariens est essentielle pour faire un lien avec un diagnostic d'allergie confirmé. Des laboratoires spécialisés offrent ce service d'analyse.

- Bactérie *Legionella pneumophila*

L'analyse d'échantillons d'eau est la méthode la plus efficace pour identifier les sources de la bactérie *Legionella pneumophila*, responsable de la légionellose. L'échantillonnage de l'air ne permet pas de la détecter.

L'analyse de l'eau se fait par la méthode standard de culture sur un milieu d'enrichissement (BCYE) ou par des méthodes de biologie moléculaire, tel que le PCR (polymerase chain reaction). Ces techniques sont plus rapides et plus sensibles. Des laboratoires spécialisés offrent ce service d'analyse.

- Bactérie *Mycobacterium tuberculosis*

L'évaluation de l'espèce *Mycobacterium tuberculosis*, l'agent étiologique de la tuberculose, dans un environnement de travail doit être faite dans le cas particulier où l'on suspecte une route de transmission de la maladie. L'échantillonnage de cette bactérie est problématique. Cette dernière croît très lentement, prenant parfois jusqu'à six semaines, ce qui favorise la prédominance de la croissance de moisissures. Pour diminuer cette interférence, un milieu spécifique (Middlebrook 7H10 agar) est recommandé ; ce milieu doit être préparé au maximum trois jours avant le prélèvement. Cette bactérie peut également être détectée par des méthodes de biologie moléculaire. Des laboratoires spécialisés offrent ce service d'analyse.

- Virus

Les virus ont besoin de cellules vivantes pour proliférer et ils utilisent leur hôte pour se propager. Ils ne s'amplifient pas dans l'eau et ne survivent pas dans l'air ambiant, d'où la difficulté de les échantillonner et de les analyser. La présence de symptômes ou de la maladie chez l'hôte est une démonstration suffisante de la présence d'un virus.

Tableau 6 : Techniques de prélèvement de bioaérosols habituellement utilisées à l'IRSST

| Technique | Application |
|-------------------------------|--|
| PRÉLÈVEMENT D'AIR | |
| Impaction | |
| a) Andersen 1 étage (N-6) | <ul style="list-style-type: none"> - Bactéries et moisissures viables et cultivables - Concentrations faibles à moyennes ($< 10^4$ UFC/m³) |
| b) Andersen 6 étages | <ul style="list-style-type: none"> - Bactéries et moisissures viables et cultivables - Concentrations moyennes à élevées ($< 10^7$ UFC/m³) - Utile pour connaître la granulométrie des particules |
| Filtration | <ul style="list-style-type: none"> - Bactéries et moisissures viables et cultivables - Concentrations élevées ($>10^4$ UFC/m³) - Endotoxines - Utile pour un prélèvement sur les travailleurs |
| PRÉLÈVEMENT DE SURFACE | |
| Frottis / écouvillons | <ul style="list-style-type: none"> - Bactéries et moisissures viables et cultivables |
| Éponges stériles | <ul style="list-style-type: none"> - Bactéries et moisissures viables et cultivables |
| Procédé (matériaux) | <ul style="list-style-type: none"> - Bactéries et moisissures viables et cultivables - Flore microbienne totale par observation microscopique |

2.2.4 Plan d'échantillonnage

Suivant la documentation d'une situation d'exposition potentielle aux bioaérosols par l'étude du procédé, l'inspection visuelle ou l'étude des cas diagnostics, il peut être nécessaire de procéder à de l'échantillonnage. Le plan d'échantillonnage doit être élaboré en fonction des hypothèses à vérifier. Il doit spécifier quels bioaérosols sont à l'étude, où et quand les prélèvements doivent être faits et quelles techniques sont les plus appropriées. Le nombre de prélèvements doit être suffisant pour assurer la représentativité de la situation sous observation et l'interprétation correcte des résultats. Ces résultats doivent permettre de parvenir à une conclusion évidente sur l'hypothèse formulée. Idéalement, les critères qui seront utilisés pour juger d'une situation doivent être spécifiés au départ. Ils peuvent provenir de documents de référence, de la littérature scientifique, de la connaissance du milieu et de l'expertise de l'évaluateur.

Le choix des bioaérosols à l'étude, qui découle directement de l'étape de documentation de la situation, doit tenir compte des méthodes disponibles et de leurs limitations. Dans certains cas, tels que l'étude exploratoire d'un environnement de travail, la comparaison de deux situations de travail ou de deux locaux, la localisation d'une source, l'appréciation de la propagation d'une source ou de l'efficacité de correctifs, un dénombrement peut suffire. L'identification des espèces est cependant requise dans des cas tels que la confirmation de la présence d'espèces identifiées comme agents causals d'effets sur la santé, la documentation en profondeur d'une situation de travail pour une étude épidémiologique ou la confirmation de l'absence ou de la présence en concentrations normales d'espèces suivant l'application de correctifs. Le choix de l'échantillonneur doit aussi tenir compte des concentrations de bioaérosols attendues.

Les prélèvements personnels constituent la meilleure façon d'estimer les expositions des travailleurs attribuables à l'inhalation. Toutefois, il existe peu d'échantillonneurs personnels. L'IRSST dispose d'une méthode de prélèvement sur cassette pour l'échantillonnage des moisissures, mais les concentrations présentes dans le milieu de travail doivent être assez élevées. Les endotoxines peuvent aussi être prélevées en personnel. Généralement, les prélèvements faits à un poste fixe, dans la zone respiratoire des travailleurs, sont utilisés pour estimer les expositions moyennes aux bioaérosols.

Comme dans toute étude d'hygiène industrielle, les lieux, les périodes et les durées de l'échantillonnage dépendent de l'information à recueillir pour atteindre l'objectif et doivent correspondre aux conditions sous observation. Notons que l'échantillonnage avec l'impacteur Andersen se fait dans un temps très court, inférieur à cinq minutes. Lors du calcul des concentrations exprimées en UFC/m³, le nombre de colonies présentes sur le milieu de culture doit être multiplié par 18 (pour le débit recommandé de 28 L/min et un temps de deux minutes). Ainsi, un résultat de 108 UFC/m³ indique qu'il y avait six colonies sur le pétri.

Les prélèvements d'air intérieur doivent toujours être comparés avec des niveaux de base ou des contrôles, comme ceux pris dans l'air extérieur, dans un local de référence ou pendant l'arrêt du procédé ou de la source.

Les contraintes de coût et de temps d'analyse doivent aussi être prises en compte dans l'élaboration du plan d'échantillonnage. Il faut donc adapter la stratégie de mesure de façon à

limiter le nombre d'échantillons, tout en permettant de parvenir à une conclusion non équivoque. Les observations et toutes autres informations sur la situation sont une solution de rechange valable au nombre restreint d'échantillons. La connaissance, l'expertise et l'expérience de l'évaluateur sont donc des atouts importants dans la planification de l'échantillonnage.

Lorsque la situation le justifie, telle qu'une étude épidémiologique ou un projet de recherche, le nombre de prélèvements doit être suffisant pour permettre de parvenir à une conclusion non équivoque sur l'hypothèse formulée. Il existe différentes méthodes de calcul du nombre minimal d'échantillons pour obtenir un effectif représentatif. La méthode du British Occupational Hygiene Society (BOHS 1993) s'adapte bien à l'évaluation des contaminants dans l'air. Elle est basée sur la connaissance de la moyenne arithmétique (μ) et l'écart type de l'échantillon (σ) obtenus après un échantillonnage préliminaire ou de données prises dans un même genre de milieu :

$$N = (t \cdot CV / E)^2$$

où N = Nombre d'échantillons (effectif)

t = 1,96 (pour un seuil de signification $\alpha \leq 0,05$)

CV = Coefficient de variation (σ/μ)

E = Erreur acceptable (habituellement 10 %)

Exemple : Soit un ensemble de données sur des concentrations de moisissures dont la moyenne arithmétique est de 100 UFC/m³ d'air, l'écart type de 30 UFC/m³ d'air, une erreur acceptable de 10 % et un niveau de confiance de 95 % (t = 1,96), l'effectif sera :

$$n = (1,96 \times [(30/100)/0,1])^2 = 35$$

Les chercheurs Mulhausen et Damiano (1998) ont estimé que de six à dix mesures permettent d'estimer une moyenne et un écart type. Faire moins que six prélèvements entraîne une grande incertitude dans la détermination du profil d'exposition.

Pour sa part, l'ACGIH (1999) suggère des nombres d'échantillons en fonction de l'objectif visé. Ils sont donnés au tableau 7.

Tableau 7 : Nombre d'échantillons (ACGIH, 1999)

| Objectif | Suggestion (pour chaque site et chaque type d'échantillonnage) |
|---|--|
| Estimation des pires cas d'exposition par inhalation | Prendre ≥ 3 périodes non aléatoires des pires cas. Prendre les prélèvements en duplicata. |
| Estimation des expositions moyennes par inhalation | Prendre ≥ 3 fois par jour pour 3 jours représentatifs consécutifs. Prendre les prélèvements en duplicata. |
| Estimation des intervalles de confiance d'une moyenne | Prendre ≥ 6 échantillons. |
| Estimation de la variance d'une série de données | Prendre ≥ 11 échantillons. |
| L'IRSST recommande de toujours prendre les échantillons en duplicata. | |

2.2.5 Interprétation et communication des résultats

Tenant compte des limitations reliées aux méthodes, de l'absence de normes d'exposition admissibles et des connaissances toxicologiques limitées, l'interprétation des résultats de la mesure de bioaérosols s'avère particulièrement complexe. Elle est d'autant plus difficile que l'on évalue du matériel vivant, dont la manifestation varie dans le temps.

Il faut également se rappeler que les mesures seules sont des chiffres sans signification si elles ne sont pas accompagnées de l'information sur les circonstances où elles ont été produites ou qui y sont associées. Cette information est essentielle à la compréhension des résultats et de leur variabilité, et donc à leur interprétation. Les résultats doivent permettre de parvenir à une conclusion évidente. Les données doivent être fiables, représentatives et reproductibles. Des résultats incomplets créent de la confusion et nuisent à la poursuite de l'évaluation.

La communication aux travailleurs de l'objectif de l'étude, des résultats, de leur interprétation ainsi que des conclusions et des recommandations qui en découlent est primordiale. Il faut aussi spécifier les critères sur lesquels la prise d'échantillons et l'interprétation des résultats ont été basées.

De façon générale, les évaluations de bioaérosols faites en milieu de travail démontrent que :

- La présence de conditions favorables au développement microbien doit être considérée comme une situation d'exposition potentielle aux bioaérosols et exige des correctifs ; cependant, cela ne permet pas de conclure qu'il y aura une croissance microbienne ;
- L'évidence d'une croissance microbienne doit être considérée comme une situation d'exposition potentielle aux bioaérosols et exige des correctifs ; cependant, cela ne permet pas de conclure qu'il y a exposition, qu'il y aura des effets rapportés ou qu'il y a un lien de cause à effet si des effets sont rapportés ;
- L'évidence d'une exposition à des bioaérosols doit être considérée comme une situation à risque exigeant des actions correctrices immédiates ; cependant, cela ne permet pas de conclure qu'il y aura des effets rapportés ou qu'il y a un lien de cause à effet si des effets sont rapportés ;
- La comparaison du poste de mesure et du site de référence permet de conclure à la prévalence d'une espèce ou à l'existence d'une exposition potentielle.

Lorsqu'il y a une prolifération non contrôlée de microorganismes dans un environnement intérieur, il y a lieu d'intervenir sur les causes, que des effets sur la santé soient constatés ou non.

2.2.6 Exemples

Les exemples sont présentés de façon très succincte et ne tiennent compte que de la présence de bioaérosols dans l'environnement de travail. Le plan d'échantillonnage y est indiqué de façon très limitée puisqu'il repose sur une cueillette de données préalable et que les éléments qui le composent sont explicités aux sections précédentes.

EXEMPLE n° 1 : Industries où la présence de bioaérosols est probable (exemples : usines de traitement des eaux, usines de traitement de déchets, fermes, porcheries)

1. Objectif : Élaborer un programme de protection respiratoire face aux bioaérosols.
2. Informations et données nécessaires :
 - Identification des sources : observations du procédé, identification des étapes critiques, accumulation d'eau ou de déchets, inspection visuelle, etc.
 - Identification des mécanismes de dispersion : actions de brassage, aérosolisation, projection de gouttelettes d'eau ou de poussières, déplacements par convoyeur, etc.
 - Identification des personnes exposées : étude des tâches et des postes, méthodes et outils de travail, etc.

Les informations obtenues doivent permettre d'identifier les situations à risque et les correctifs immédiats, s'il y a lieu, pour diminuer les émissions.

3. Hypothèse : Malgré la mise en place de mécanismes de contrôle des émissions, les concentrations de bioaérosols demeurent élevées à certains postes de travail ou pendant l'exécution de certaines tâches.
4. Plan d'échantillonnage
 - Quels bioaérosols : bactéries totales, bactéries Gram négatives, moisissures, endotoxines
 - Où : aux postes de travail ou pendant l'exécution de tâches favorisant la prolifération, l'aérosolisation ou la projection de liquides ou de poussières ; à l'extérieur ou dans un autre local contrôlé pour obtenir les concentrations de base
 - Périodes : en fonction du procédé : continu, cyclique, intermittent ; pour les situations les plus à risque
 - Méthodes : prélèvements selon les méthodes standard de l'IRSST et dénombrement.
5. Interprétation des résultats

Les valeurs des concentrations et leur comparaison aux postes de mesure avec les concentrations de base détermineront l'importance de l'exposition des travailleurs.
6. Recommandations
 - En fonction des résultats et de la durée des tâches effectuées par les travailleurs, formuler une recommandation quant à la nécessité ou non de porter un équipement de protection respiratoire.
 - Formuler des recommandations quant à la nécessité ou non de porter d'autres types d'équipements de protection individuelle.

- Appliquer des mesures d'hygiène personnelle strictes.
- Élaborer des procédures de prévention pour tout travail à proximité des sources.

EXEMPLE n° 2 : Évaluation suivant un diagnostic médical

1. Objectif : Établir une association entre un problème de santé et un bioaérosol spécifique.
2. Informations et données nécessaires :
 - Présence d'un diagnostic médical consistant avec une exposition au bioaérosol en question.
 - Évidence d'une exposition aux bioaérosols : connaissance du procédé, connaissance du milieu de travail, identification des sources émettrices de bioaérosols, existence d'un mécanisme de propagation de ce bioaérosol, évaluation de sa concentration.
3. Hypothèse : Le bioaérosol soupçonné est présent en concentrations anormales dans l'environnement de travail.
4. Plan d'échantillonnage
 - Quel bioaérosol : bioaérosol associé au diagnostic
 - Où : au poste de travail ou pendant l'exécution de tâches par la ou les personnes diagnostiquées ; à l'extérieur ou dans autre local contrôle pour obtenir les concentrations de base
 - Périodes : différentes périodes du temps de travail et en fonction des sources émettrices
 - Méthodes : prélèvements sur un milieu spécifique, dénombrement et identification selon les méthodes standard de l'IRSST.
5. Interprétation des résultats

Les valeurs des concentrations du bioaérosol spécifique et leur comparaison aux postes de mesure avec les concentrations de base serviront d'élément de décision pour le médecin traitant.
6. Recommandations
 - Corriger les situations problématiques, émettrices de bioaérosols.
 - Vérifier l'efficacité des correctifs par des mesures environnementales.
 - Confirmer la disparition des effets par un suivi médical.

EXEMPLE n° 3 : Évaluation de la qualité de l'air dans un édifice non industriel suivant des infiltrations d'eau (exemples : édifices à bureaux, écoles)

1. Objectifs : Documenter la présence de bioaérosols et identifier les sources d'émission.
2. Informations et données nécessaires
 - Présence de sources de prolifération et de propagation : inspection visuelle des surfaces, du système de ventilation, de la structure ; taux d'humidité ; accumulation d'eau, etc.
 - Historique des événements : inondations, infiltrations d'eau, dommages dus à l'eau, actions correctrices, etc.

- Répertoire des plaintes et des symptômes rapportés
3. Hypothèse : La présence de moisissures visibles sur les tuiles du plafond d'un local constitue une situation où il y a risque d'exposition aux bioaérosols.
 4. Plan d'échantillonnage
 - Confirmation et délimitation de l'étendue de la croissance microbienne : prélèvements de surface au besoin
 - Localisation des infiltrations et du cheminement d'eau : endoscope, détecteur de moiteur, hygromètre

5. Interprétation des résultats

La confirmation de la présence de moisissures et la localisation des infiltrations exigent l'application de mesures correctrices immédiates.

6. Recommandations

- Nettoyer ou éliminer les matériaux endommagés.
- Éliminer les infiltrations d'eau.
- Établir un mécanisme de suivi périodique : croissance définitivement éliminée.

Références citées et bibliographie

ACGIH. *Bioaerosols: Assessment and Control*, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, 1999.

Aerotech Laboratories Inc. 'IAQ Microbial Reference Guide', *IAQ Tech Tips*, www.aerotechlabs.com, 2000.

ASTM. 'Standard Practice for Sampling Airborne Microorganisms at Municipal Solid-Waste Processing Facilities, Designation E 884-82 (93)', *ASTM Standards on Materials and Environmental Microbiology*, 2nd edition, 1993, pp. 42-54.

BOHS. *Sampling Strategies for Airborne Contaminants in the Workplace, Technical Guide No. 11*, British Occupational Hygiene Society, 1993.

EPA-NIOSH. *Building Air Quality. A Guide for Building Owners and Facility Managers*, U.S. Environmental Protection Agency and National Institute for Occupational Safety and Health, Publication No. 91-114, 1991.

IRSST. *Guide d'échantillonnage des contaminants de l'air en milieu de travail*, 7^e édition, Guide technique T-06, IRSST, Direction des opérations, 2000.

IRSST. Méthodes d'analyse 264-3, 332-1, 341-1, 342-1, 343-1 et 344-1, 2000.

Lavoie, J. et Lazure, L. *Guide de prévention contre la prolifération microbienne dans les systèmes de ventilation*, Études et recherches, Guide technique n° RG-088, IRSST, 1994.

Marchand, G. *Les endotoxines en milieu de travail*, IRSST, Rapport n° B-049, 1996.

Marchand, G. *Mise au point d'une méthode d'échantillonnage des micro-organismes sur filtre en de polycarbonate*, Études et recherches, Rapport n° R-125, 1996.

Miller J.D., Haisley P.D., Reinhardt J.H. 'Air Sampling Results in Relation to Extent of Fungal Colonization of Building Materials in Some Water-Damaged Buildings', *Indoor Air*, 10: 146-151, 2000.

Mulhausen J.R., Damiano J. *A Strategy for Assessing and Managing Occupational Exposures*, AIHA Press, Stock No. 327-EA-98, Fairfax, 1998.

New York City Department of Health. *Guidelines on Assessment and Remediation of Fungi in Indoor Environments*, Bureau of Environmental and Occupational Disease Epidemiology, 2000.

Santé Canada. *L'air dans les bureaux. Guide de l'employé concernant la qualité de l'air dans les bureaux, les écoles et les hôpitaux*, Rapport du Comité consultatif fédéral-provincial de l'hygiène du milieu de travail, Ottawa, Publication n° 93-DHM-174, 1993.

Scherrer, B. *Biostatistique*, Gaëtan Morin, éditeur, Chicoutimi, 1984.

Tuomi T., Reijula K. Johnsson T., Hemminki K., Hintikka E.L., Lindroos O., Kalso S., Koukila-Kahkola P., Mussalo-Rauharmaa H., Haahtela T. 'Mycotoxins in Crude Building Materials from Water Damaged Buildings', *Applied and Environmental Microbiology*, 66: 1899-1904, 2000.

SECTION 3 : CONTRÔLE DE L'EXPOSITION AUX BIOAÉROSOLS

Comme pour toute exposition à des substances chimiques ou à des agents physiques, la prévention et le contrôle de l'exposition à des bioaérosols reposent sur trois niveaux d'intervention, soit l'élimination à la source, le contrôle de la source et, en dernier lieu, le contrôle de l'exposition. La prévention de la présence de concentrations élevées de bioaérosols dans un environnement de travail est possible seulement si les facteurs qui favorisent leur prolifération sont identifiés et contrôlés. L'inspection visuelle, un élément clé de l'identification et de la localisation des situations à risque, permet, dans un grand nombre de cas, de proposer immédiatement les stratégies correctrices.

3.1 Milieux de travail industriels

Les sections précédentes ont montré que les concentrations de bioaérosols dans certains milieux de travail peuvent être très élevées. Dans certains cas, cela est non seulement attribuable à des conditions propices à la prolifération de la microflore normalement présente dans tout environnement, mais directement associé au procédé de fabrication ou de transformation lui-même, par exemple la présence de bactéries actinomycètes thermophiles dans le compost et les procédés biotechnologiques. L'élimination à la source n'est donc pas toujours souhaitable.

Peu importe la provenance des microorganismes, le contrôle doit passer obligatoirement par celui des activités qui conduisent à la projection et à la dispersion de gouttelettes d'eau ou de particules dans l'air.

Les méthodes reconnues de confinement, de barrières physiques et de ventilation générale et locale sont applicables. Des exemples concrets sont rapportés ici et illustrés dans les fiches techniques élaborées par l'IRSST, présentées dans l'annexe 2.

Le confinement consiste à isoler la source de contamination. À titre d'exemple, le confinement des convoyeurs et des presses à boues dans les stations d'épuration des eaux usées limitent la projection de ces eaux et des matières organiques. L'ajout d'un caisson de confinement au canal d'arrivée des eaux a aussi pour effet d'éliminer l'aérosolisation. L'utilisation de tapis de caoutchouc antidérapants placés sur les canalisations et les drains de plancher constitue une barrière physique efficace, simple et peu coûteuse. Dans les porcheries, l'utilisation d'un système de ventilation d'extraction à la base, avec des prises d'air ayant un débit suffisant, installées directement au-dessus des préfossees à purin, permet d'obtenir des diminutions des bioaérosols statistiquement significatives.

Si les correctifs ne permettent pas de diminuer les concentrations de façon satisfaisante ou si certaines tâches exigent d'être exécutées près des sources d'émission, des procédures de prévention doivent être élaborées.

De façon générale, pour tous les travaux et toutes les situations qui présentent la possibilité d'un contact avec du lisier, des boues usées, du fumier, du purin, des déchets domestiques ou toute

autre source de contamination potentielle, le port d'équipements de protection individuelle est recommandé. Ces équipements doivent comprendre :

- Des survêtements imperméables, avec gants et bottes de caoutchouc. Ces survêtements ne doivent pas être rapportés à la maison.
- Un casque et une visière pour faire du travail salissant.
- Un respirateur jetable de type N-95. Pour travailler dans des endroits humides, il est conseillé de porter un respirateur muni d'une valve au centre.

Il existe aussi des types d'exposition autres que respiratoires, soit par ingestion et par contact cutané. En effet, l'ingestion d'un micro-organisme étranger résultant du contact des mains à la bouche entraîne des problèmes gastro-intestinaux chez l'hôte récepteur. La manipulation à mains nues des sources de bioaérosols doit donc être évitée. Les travailleurs doivent pouvoir se laver les mains régulièrement durant leur travail. Des mesures d'hygiène personnelle strictes doivent donc être appliquées afin de limiter les effets indésirables des bioaérosols sur la peau et les poumons. Les travailleurs doivent :

- Éviter de porter les doigts dans les yeux, la bouche et les oreilles.
- Garder les ongles courts.
- Rapportier et soigner adéquatement toute coupure et blessure.
- Se laver les mains avant chaque pause et au moment d'utiliser les toilettes.
- Garder leurs vêtements de travail et ceux de ville dans des casiers séparés ; les vêtements de travail et les bottes de sécurité ne doivent pas être rapportés à la maison.
- Prendre une douche à la fin de la journée de travail.

3.2 Milieux de travail non industriels

MOISSISSURES

Dans les milieux de travail non industriels, tels que les édifices à bureaux et les écoles, la présence de moisissures résulte de la présence excessive d'eau ou d'humidité et de matériel organique. Le premier contrôle consiste donc à éliminer les sources d'eau et de matériel organique. La réduction de ce dernier passe par un entretien ménager adéquat et régulier. La section sur l'inspection d'un bâtiment décrit de façon détaillée les éléments qui peuvent favoriser les infiltrations d'eau, la condensation et l'accumulation de poussières ainsi que les moyens techniques pour les contrôler.

Le matériel endommagé par l'eau doit être séché, réparé ou jeté, suivant le degré d'atteinte et sa nature (poreux vs non poreux). S'il présente des moisissures visibles, sa restauration demande (a) de jeter le matériel poreux démontrant une croissance microbienne excessive, (b) d'enlever physiquement la prolifération sur le matériel non poreux ou semi-poreux et (c) de réduire les niveaux d'humidité relative à 60 % ou moins. La prolifération peut être enrayée (a) en aspirant la surface avec des aspirateurs munis de filtres à haute efficacité (HEPA) ou avec émission dans l'air extérieur, (b) en la nettoyant avec des solutions de biocides diluées (ex. 250 mL d'eau de Javel commerciale dans quatre litres d'eau) ou des détergents ou (c) en la nettoyant et en la séchant vigoureusement, surtout s'il s'agit de bois. Le matériel poreux qui a soutenu une croissance microbienne excessive doit souvent être jeté. Parmi ce matériel, notons les tuiles de plafond, les moquettes, les meubles rembourrés et les draperies. Dans des cas d'inondation, les

murs en gypse et les isolants endommagés par l'eau doivent être remplacés jusqu'à 50 cm (20 po) au-dessus de la ligne d'eau.

L'enlèvement et le nettoyage du matériel contaminé ne peut être entrepris sans certaines précautions, son agitation entraînant l'émission de bioaérosols. Dans le cas d'une croissance fongique visible étendue (une surface supérieure à environ 3 m² [32 pi²] contigus), des procédures de confinement sont requises pour l'enlèvement du matériel endommagé. L'objectif du confinement est d'enlever ou de nettoyer ce matériel de façon à éviter la dispersion de moisissures ou de poussières de l'endroit contaminé aux endroits adjacents occupés, tout en protégeant les travailleurs qui exécutent ces travaux. L'échantillonnage de procédés, de surfaces ou d'air ne sont pas requis avant d'entreprendre des travaux de restauration. Les décisions concernant le déplacement des occupants d'un endroit contaminé doivent être basées sur des évaluations médicales, au cas par cas. À l'exception des cas de contamination fongique à grande échelle dans tout un édifice où cette contamination a été associée à des maladies, l'évacuation complète d'un bâtiment n'est pas indiquée.

Le tableau 8, tiré d'un protocole de la ville de New York (2000) donne les mesures de confinement à appliquer pour des travaux de restauration. Cinq niveaux de confinement y sont décrits.

Au niveau de confinement 2, l'aire de décontamination doit être couverte d'une pellicule plastique et scellée avec du ruban adhésif avant d'entreprendre les travaux pour contenir les émissions de poussières et de débris. Le matériel qui ne peut pas être nettoyé doit être enlevé dans des sacs de plastique scellés. Il n'y a aucune précaution particulière à prendre pour disposer du matériel moisi.

Au niveau 3, un professionnel en santé et en sécurité du travail ayant de l'expérience dans des enquêtes microbiennes doit être consulté avant d'entreprendre les activités de décontamination. La collaboration d'un personnel formé pour manipuler des substances dangereuses est aussi recommandée.

Dans les cas de contamination excessive, de niveau 4, des échantillons d'air doivent être prélevés afin de déterminer si l'endroit peut être à nouveau occupé. Une chambre de décontamination doit être construite pour servir d'entrée ou de sortie de la zone contaminée. En fonction de la grandeur, cette unité peut être constituée d'une chambre de travail, d'une autre pour disposer l'équipement et d'un sas. Jusqu'à présent, aucune évidence ne justifie le besoin de prendre une douche dans la chambre de décontamination.

Au niveau 5, les systèmes de ventilation doivent être mis en arrêt pendant les travaux.

| |
|---|
| L'élimination rapide du matériel moisi et la réparation des infrastructures doivent être la première réponse à la contamination fongique d'un bâtiment. |
|---|

Une réponse dans les 24 à 48 heures et un nettoyage en profondeur du matériel endommagé par l'eau préviendra ou éliminera la croissance microbienne. Si la cause est une humidité relative élevée, les niveaux doivent être maintenus sous 60 %. Le moyen le plus simple et le plus rapide

| | | | | | | |
|---|--------------------------------------|--|--|--|--|--|
| Ensachement du matériel contaminé | Oui | Oui | Oui | Oui | Oui | Oui |
| Nettoyage subséquent des aires de travail | Chiffon ou vadrouille avec détergent | Chiffon ou vadrouille avec détergent + aspirateur HEPA | Chiffon ou vadrouille avec détergent + aspirateur HEPA | Chiffon ou vadrouille avec détergent + aspirateur HEPA | Chiffon ou vadrouille avec détergent + aspirateur HEPA | Chiffon ou vadrouille avec détergent + aspirateur HEPA |
| Test de conformité microbien | Non | Non | Non | Oui | Non | Oui |

^a Les vêtements de protection consistent en une salopette complète jetable et des couvre-chaussures.

^b Une dépression doit être créée dans le local afin d'empêcher les contaminants de quitter la zone de décontamination. Un ventilateur muni de filtres HEPA doit être utilisé. Une différence de pression de 5 Pa (0,02-0,03 pouce d'eau) est généralement adéquate.

BACTÉRIES TOTALES

Dans un environnement non industriel, la concentration de bactéries dans l'air dépend du nombre d'occupants, qui en sont la principale source émettrice, des activités qui s'y déroulent et du débit d'air neuf. Les bactéries peuvent également provenir d'une eau contaminée. Leur concentration élevée dans un milieu à faible activité peut indiquer qu'il y a surpopulation, que la ventilation est inadéquate, que l'entretien est insuffisant ou que des réservoirs ou des bassins d'eau ont été contaminés. Les recommandations peuvent alors inclure un meilleur entretien ménager, une diminution de la densité d'occupation, l'augmentation ou une meilleure distribution de l'air neuf ainsi que le nettoyage et l'entretien des réservoirs et des bassins d'eau.

BACTÉRIE LEGIONELLA

Le cas de la bactérie *Legionella pneumophila* dans les édifices publics et industriels doit être considéré de façon spécifique.

La bactérie *Legionella* résiste très bien à la chloration des eaux municipales ; elle peut donc se retrouver dans les systèmes d'eau des édifices publics et industriels. Dans les eaux dont la température varie de 40 °C à 60 °C, elle peut se multiplier rapidement. En plus des tours d'eau et des condenseurs d'évaporation, elle peut être présente dans les systèmes d'eau chaude domestique, dans les fontaines, les spas, les laveurs d'air, les humidificateurs, les systèmes de fluide de coupe et les douches oculaires.

La transmission de la légionellose peut être décrite par une chaîne de causalité. Les sept maillons de cette chaîne sont les suivants : 1) la bactérie doit être présente dans un réservoir 2) des

facteurs amplificateurs doivent lui permettre de se multiplier 3) les conditions doivent lui permettre de se propager dans l'air 4) elle doit être virulente pour les humains 5) les organismes doivent être inoculés dans un site approprié de l'hôte humain 6) l'hôte doit être susceptible à l'infection et 7) la maladie doit être diagnostiquée. Les maillons 1, 2 et 3 peuvent être contrôlés par des mesures d'entretien et d'ingénierie.

Il faut donc garder les systèmes aussi propres que possible. Il faut faire des inspections visuelles régulières et nettoyer les bassins d'eau lorsque de la saleté, de la matière organique ou d'autres débris y sont visibles. Il faut aussi tenir des registres sur les conditions d'exploitation observées, les modifications apportées aux installations, les fiches signalétiques des composés chimiques utilisés, le programme de traitement d'eau et les noms des personnes responsables du démarrage, de l'arrêt et du fonctionnement des systèmes.

Il faut aussi disposer d'un programme de traitement d'eau élaboré par des spécialistes. Ce programme doit avoir comme objectif de minimiser la corrosion, de contrôler la croissance microbienne et de minimiser les dépôts de tartre et de solides organiques ou inorganiques. Des biocides oxydants et non oxydants doivent être utilisés en alternance. Les produits halogénés et l'ozone sont compris dans la classe des oxydants. Les non oxydants comprennent plusieurs composés organiques, dont le DBNPA (2,2-dibromo-3-nitrilopropionamide), le bromonitrostyrène, les carbamates et le glutaraldéhyde. Les composés d'ammonium quaternaire se sont révélés inefficaces contre la *Legionella*. Il ne faut pas oublier que le pH joue un rôle important dans l'efficacité des biocides.

Le standard 12-2000 de l'ASHRAE donne la façon de procéder pour désinfecter les tours de refroidissement selon différents scénarios. Pour obtenir des renseignements supplémentaires sur la quantité de biocides à ajouter et sur les procédures, consultez le guide de l'ACGIH (1999).

À l'étape de la conception, une attention particulière doit être accordée aux impératifs d'entretien. En outre, le système doit être facile d'accès pour permettre une inspection visuelle périodique et le nettoyage des composants. La tour de refroidissement doit être disposée de façon que la vapeur ou les gouttelettes d'eau qui s'en échappent ne puissent s'introduire par les fenêtres ou les prises d'entrée d'air neuf situées à proximité. L'installation d'un séparateur de gouttelettes à la sortie de la tour est un excellent moyen d'en limiter la dispersion. À la prise d'air neuf, la présence de filtres, remplacés à intervalles réguliers et aptes à arrêter les particules de plus de un um, constitue une protection supplémentaire.

Compte tenu des risques d'exposition encourus par le personnel pendant les opérations de nettoyage, le port d'un équipement de protection est indiqué, soit un masque respiratoire N-95, des lunettes de sécurité et un survêtement.

Des programmes de prévention et de surveillance sont recommandés pour les hôpitaux, les cliniques médicales, les hôtels, les maisons de retraite, les services publics, les écoles et tout milieu où la croissance de la bactérie est favorisée (tours d'eau, bassins de sédimentation, etc.).

Références citées et bibliographie

ACGIH. *Bioaerosols: Assessment and Control*, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, 1999.

Aerotech Laboratories Inc. 'IAQ Microbial Reference Guide', IAQ Tech Tips, www.aerotechlabs.com, 2000.

ASHRAE. *ASHRAE Handbook, 1997 Fundamentals*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc., Atlanta, 1997.

ASHRAE. 'New Guidelines on Legionella', *ASHRAE Journal*, Septembre 2000, p. 44-49.

ASTM. *Water Leakage Through Building Facades*, R.J. Kudder and J.L. Erdly, Editors, ASTM Stock no.: STP131141, 1998.

Baker M.C. *Roofs, Design, Applications and Maintenance*, Multiscience Publications Limited, Montréal, 1980.

Bergeron, A. *La rénovation des bâtiments*, Les Presses de l'Université Laval, Québec, 2000.

Bioaerosols Handbook, CRC Press Inc., Cox, C.S. and C.M. Wathes editors, Boca Raton, 1995.

Bouliane, P., Lavoie, J., Guertin, S. et Gilbert, D. *La prévention des risques à la santé et à la sécurité du travail dans les centres de tri de matières recyclables*, Fiche technique, IRSST, 1999.

Camuffo D. 'Microclimate for Cultural Heritage', *Development in Atmospheric Science*, 23, Elsevier Science, 1998.

CNRC. *Digest de la Construction au Canada 1 à 150*, Conseil national de recherches du Canada, 1975.

CNRC. *Digest de la Construction au Canada 151 à 200*, Conseil national de recherches du Canada, 1979.

CNRC. *Digest de la Construction au Canada 201 à 245*, Conseil national de recherches du Canada, 1979-1985.

CNRC. *Solutions constructives*, Conseil national de recherches du Canada, 1997-1999.

Chartered Institution of Building Services Engineers. *Minimizing the Risk of Legionnaires' Disease*, CIBSE, TM13: 1991, London, 1993.

Dri-Eaz Products. *Moisture Penetrating Meter Manual*, 1987.

Gilbert, D., Lavoie, J. et Bélisle, M. *Les risques biologiques reliés aux eaux usées*, Fiche technique n° 19, Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail secteur affaires municipales, 1999.

Goyer, N. et Lavoie, J. *Le traitement secondaire des effluents des papetières*, Fiche technique, IRSST, 1999.

Harriman L.G., Lstiburek J. et Kittler R. 'Improving Humidity Control for Commercial Buildings', *ASHRAE Journal*, November 2000, pp. 24-32.

Hens H. 'Minimizing Fungal Defacement', *ASHRAE Journal*, October 2000, pp. 30-38.

Hutcheon N.B., Handegord O.P. *Building Science for a Cold Climate*, Centre en technologie de construction atlantique inc., Fredericton, 1989.

Latta, J.K. *Murs, fenêtres et toitures pour le climat canadien*, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa, 1975.

Lavoie, J. et Lazure, L. *Guide de prévention contre la prolifération microbienne des systèmes de ventilation*, Études et recherches, Guide technique n° RG-088, IRSST, 1994.

Lavoie, J. et Gilbert, D. *Le compostage des déchets domestiques*, Fiche technique n° 9, Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail secteur affaires municipales, 1997.

Lavoie, J., Marchand, G. et Gingras, G. *La ventilation par extraction basse dans les porcheries*, Études et recherches, Rapport n° R-116, IRSST, 1995.

Lavoie, J., Marchand, G. et Gingras, G. 'Pit Ventilation in Pig-housing Facilities', *Canadian Agricultural Engineering*, 39 (4) : 317-326, 1997.

Lavoie, J. *Évaluation de l'exposition des éboueurs aux bioaérosols*, Études et recherches, Rapport n° R-255, IRSST, 2000.

Lazure, L. et Lavoie, J. « Risques de prolifération microbienne dans les tours de refroidissement », *La maîtrise de l'énergie*, 12 (1) :15-17, 1997.

Morey P.R., Horner E., Epstien B.L., Worthan A. G. and Black M.S. 'Indoor Air Quality in Nonindustrial Occupational Environments', *Patty's Industrial Hygiene*, 5th ed., Vol. 4, John Wiley & Sons Inc., 2000.

NADCA. 'Standard for Assessment, Cleaning and Restoration of HVAC Systems for Hygiene', *NADCA Peer Review Draft*, National Air Duct Cleaners Association, Washington, DC, 2000, 43 pages.

New York City Department of Health. *Guidelines on Assessment and Remediation of Fungi in Indoor Environments*, Bureau of Environmental and Occupational Disease Epidemiology, New York, 2000.

Nicastro D.H. 'A Scientific Approach to Water Infiltration Studies', *The Construction Specifier*, January 1991, pp. 95-101.

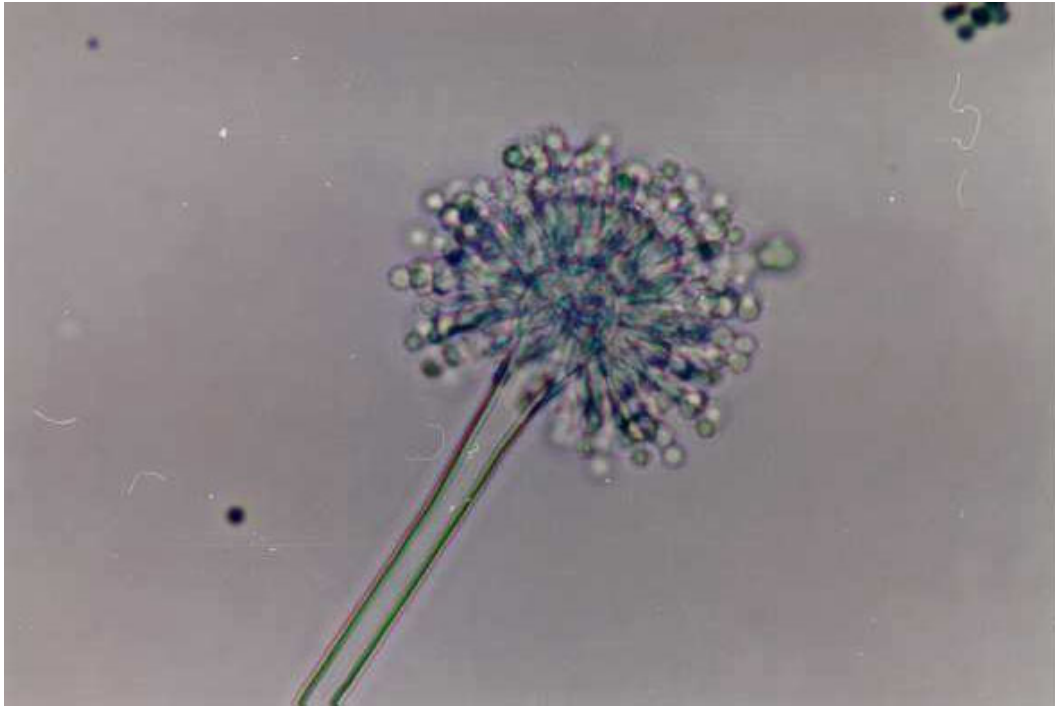
Nicastro D.H. *Failure Mechanisms in Building Construction*, David H. Nicastro editor, ASCE Press, Reston, 1997.

Société canadienne d'hypothèques et de logement. *Nettoyer sa maison après une inondation*, SCHL, Document 6790F, Ottawa, 1994, 46 pages.

Société canadienne d'hypothèques et de logement. *Solutions de construction – Recueil des solutions à l'intention des constructeurs et rénovateurs*, SCHL, Document NH15-195/1998F, Ottawa, 1998.

Société canadienne d'hypothèques et de logement. *Guide des règles de l'art - Enveloppe à ossatures de bois*, SCHL, Document NH15-296/1999F, Ottawa, 1999.

US Public Health Service's Division of Federal Occupational Health. 'Dealing With a Flood: What to Do Once the Water is Gone', *Indoor Air Quality Update* 6 (11):1-3, 1993.

ANNEXE 1 : Photos de moisissures

Aspergillus sp.

Photo-IRSST (500 x)



Chaetomium sp

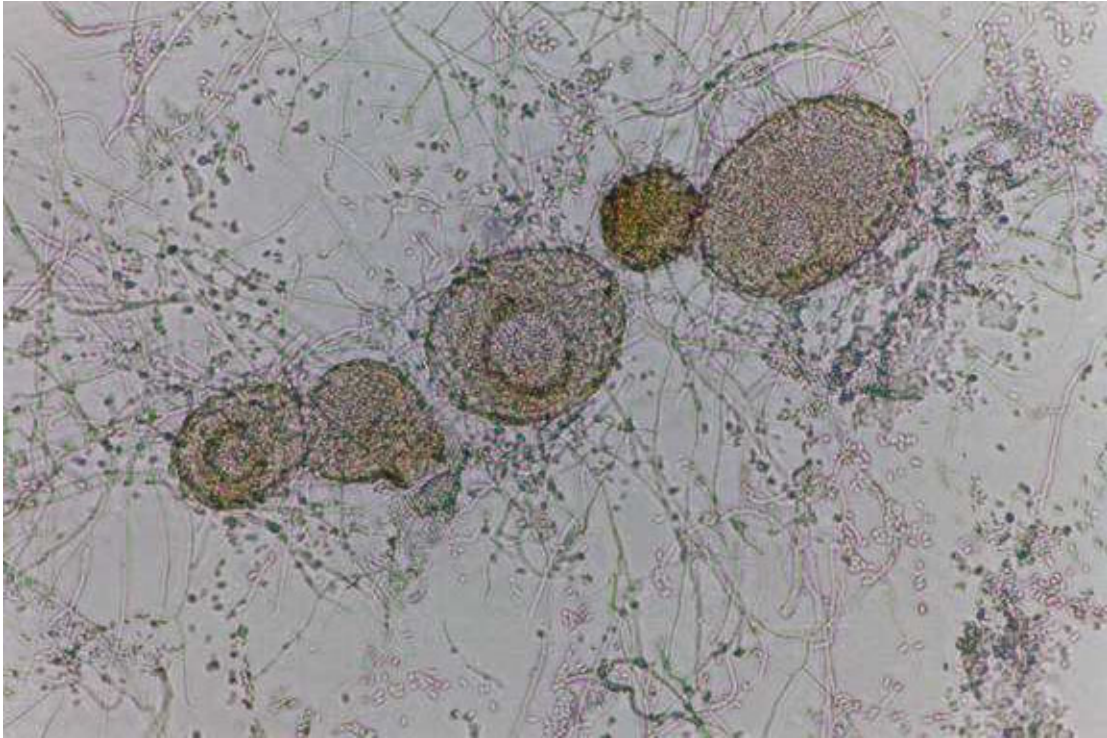
Photo-IRSST (12,5 x)



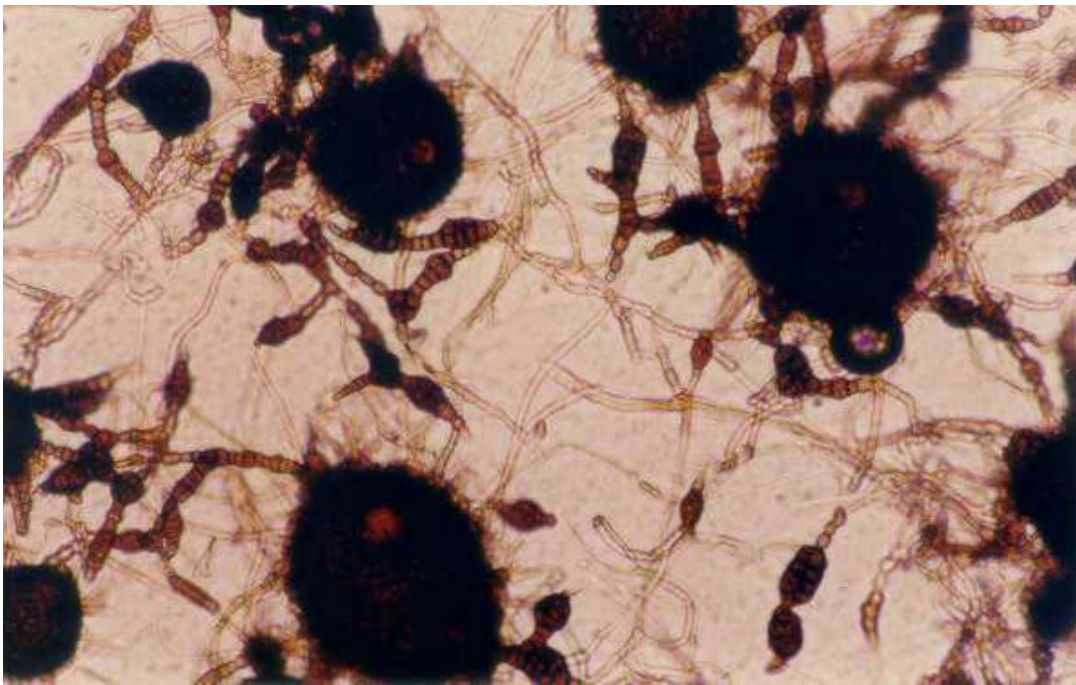
Fusarium sp
Photo-IRSST (500 x)



Mucor plumbeus
Photo-IRSST (1250 x)



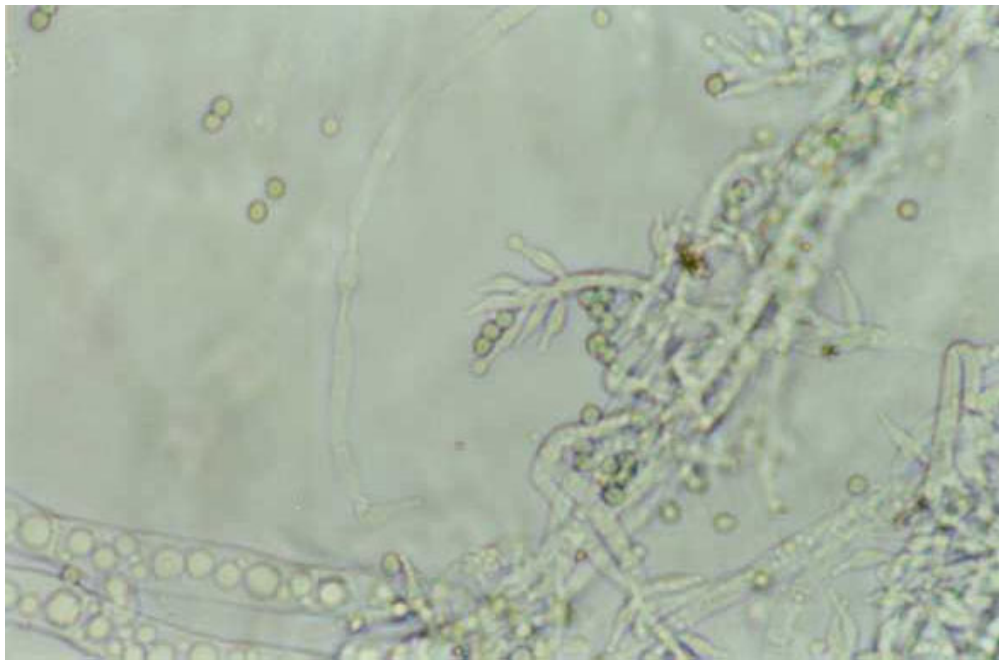
Phoma sp
Photo-IRSST (12,5 x)



Phoma glomerata
Photo-IRSST (12,5 x)



Stachybotrys sp
Photo-IRSST (1250 x)



Tricoderma sp
Photo-IRSST (500 x)



Penicillium sp.
Photo-IRSST (500 x)

ANNEXE 2 : Fiches techniques pour le contrôle de l'exposition aux bioaérosols

- [Le traitement secondaire des effluents des papeteries](#)
- [Le compostage des déchets domestiques](#)
- [Les risques biologiques liés aux eaux usées](#)
- [La prévention des risques à la santé et à la sécurité du travail dans les centres de tri de matières recyclables](#)
- [Programme d'intervention intégré sur les risques biologiques : l'exposition des éboueurs aux bioaérosols](#)

ANNEXE 3 : Exemples d'enveloppes de bâtiments

CE DÉTAIL EST ÉMIS POUR INFORMATION SEULEMENT
ET NE DOIT PAS SERVIR À DES FINS DE CONSTRUCTION.
LES ORIGINALS SONT CONSERVÉS AU BUREAU DE
L'ARCHITECTE.

ATTACHE DE MAÇONNERIE
EN 2 MORCEAUX

MAÇONNERIE 90 MM
ESPACE D'AIR 25 MM
POLYURÉTHANE GICLÉ 100 MM
PARE-VAPEUR ÉLASTOMÈRE
BLOC DE BÉTON 190 MM

GYPSE 16MM SUR
COLOMBAGE MÉTALLIQUE 64 MM
à 600 MM C/C
(OPTIONNEL)

MEMBRANE ÉLASTOMÈRE SOUDÉE

MEMBRANE AUTO-COLLANTE

SOLIN MÉTALLIQUE
TÔLE D'ACIER GALVANISÉ

SOLIN ÉLASTOMÈRE AUTO-COLLANT

CHANTEPLEURE

LINTEAU LIBRE
L 90x125x8

PRODUIT D'ÉTANCHÉITÉ

BLOC LINTEAU

CORDON D'ÉTANCHÉITÉ AU PÉRIMÈTRE
AU CONTACT ENTRE LA MEMBRANE
ET LA FENÊTRE

ALLÈGE DE BÉTON

L'ARMER DE L'ALLÈGE

SOLIN ÉLASTOMÈRE

TABLETTE DE CONTREPLAQUÉ 19MM
RECOUVERT D'UN STRATIFIÉ


MARC DESCHAMPS
ARCHITECTE

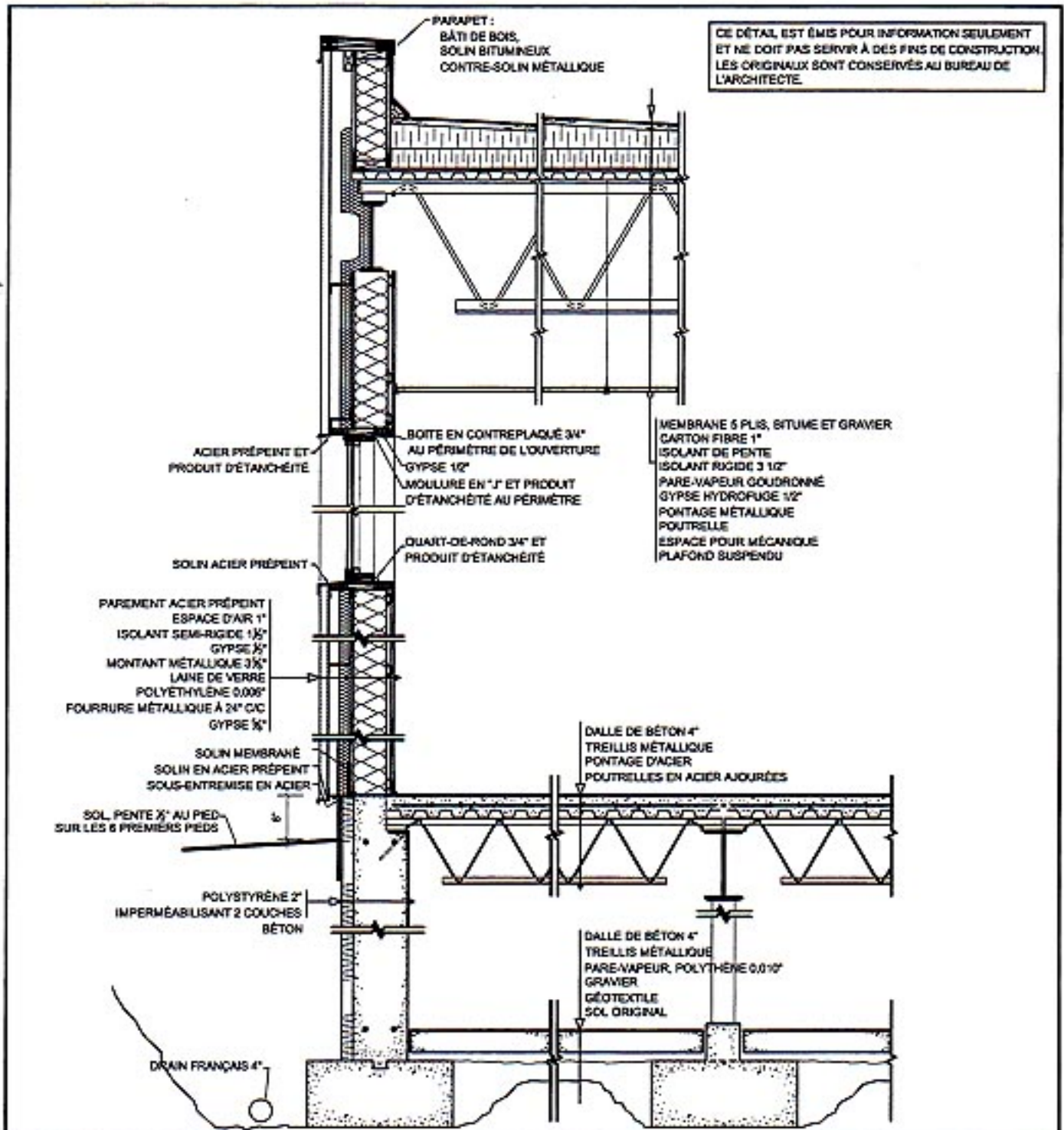
765, rue Gilford
Montréal, Qc H2J 1N8
Téléphone: (514) 628-9921

DESSIN

Divers détails d'enveloppe
CAS D'UNE CONSTRUCTION DE MAÇONNERIE
AVEC REVÊTEMENT DE BRIQUE

ECHELLE

1½" = 1'-0"

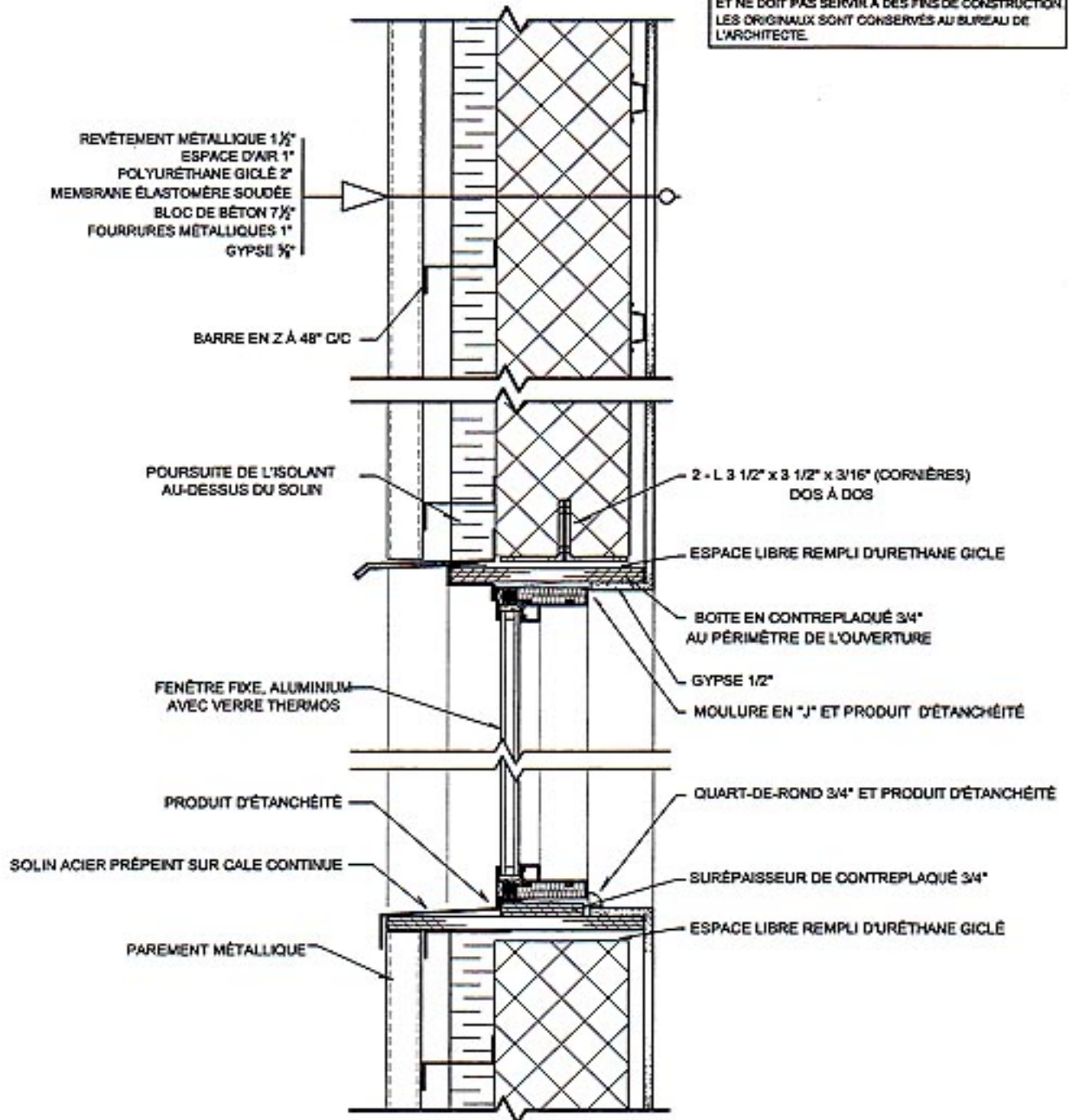



MARC DESCHAMPS
ARCHITECTE
 765, rue Gilford
 Montréal, Qc H2J 1N9
 Téléphone: (514) 620-9921

DESSIN
 Divers détails d'enveloppe
 CAS D'UN BÂTIMENT INDUSTRIEL,
 REVÊTEMENT MÉTALLIQUE ET TOIT PLAT

ECHELLE
 $\frac{1}{2}'' = 1'-0''$

CE DÉTAIL EST ÉMIS POUR INFORMATION SEULEMENT
ET NE DOIT PAS SERVIR À DES FINS DE CONSTRUCTION
LES ORIGINAUX SONT CONSERVÉS AU BUREAU DE
L'ARCHITECTE.




MARC DESCHAMPS
ARCHITECTE

765, rue Gilford
Montréal, Qc H2J 1K8
Téléphone: (514) 528-9921

DESSIN

Divers détails d'enveloppe
CAS D'UNE CONSTRUCTION DE MAÇONNERIE
AVEC REVÊTEMENT MÉTALLIQUE

ÉCHELLE

1/2" = 1'-0"