

1992

Évaluation de l'utilisation d'un système de contrôle de l'air neuf par les taux de CO₂ : étude d'un édifice

Giovanna Donnini
IRSST

Nicole Goyer
IRSST

Suivez ce contenu et d'autres travaux à l'adresse suivante: <https://pharesst.irsst.qc.ca/expertises-revues>

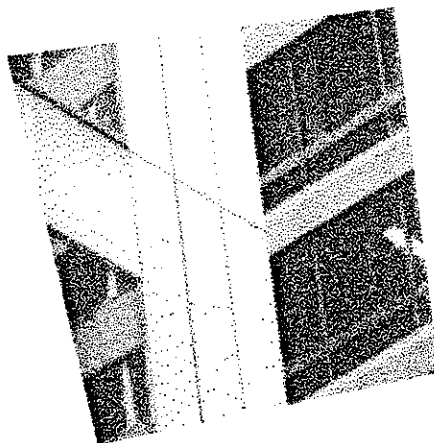
Citation recommandée

Donnini, G. et Goyer, N. (1992). *Évaluation de l'utilisation d'un système de contrôle de l'air neuf par les taux de CO₂ : étude d'un édifice* (Rapport n° B-036). IRSST.

Ce document vous est proposé en libre accès et gratuitement par PhareSST. Il a été accepté pour inclusion dans États de la question, rapports d'expertise et revues de littérature par un administrateur autorisé de PhareSST. Pour plus d'informations, veuillez contacter pharesst@irsst.qc.ca.

**Évaluation de l'utilisation
d'un système de contrôle
de l'air neuf par les taux
de CO₂ : étude d'un édifice**

Giovanna Donnini
Nicole Goyer

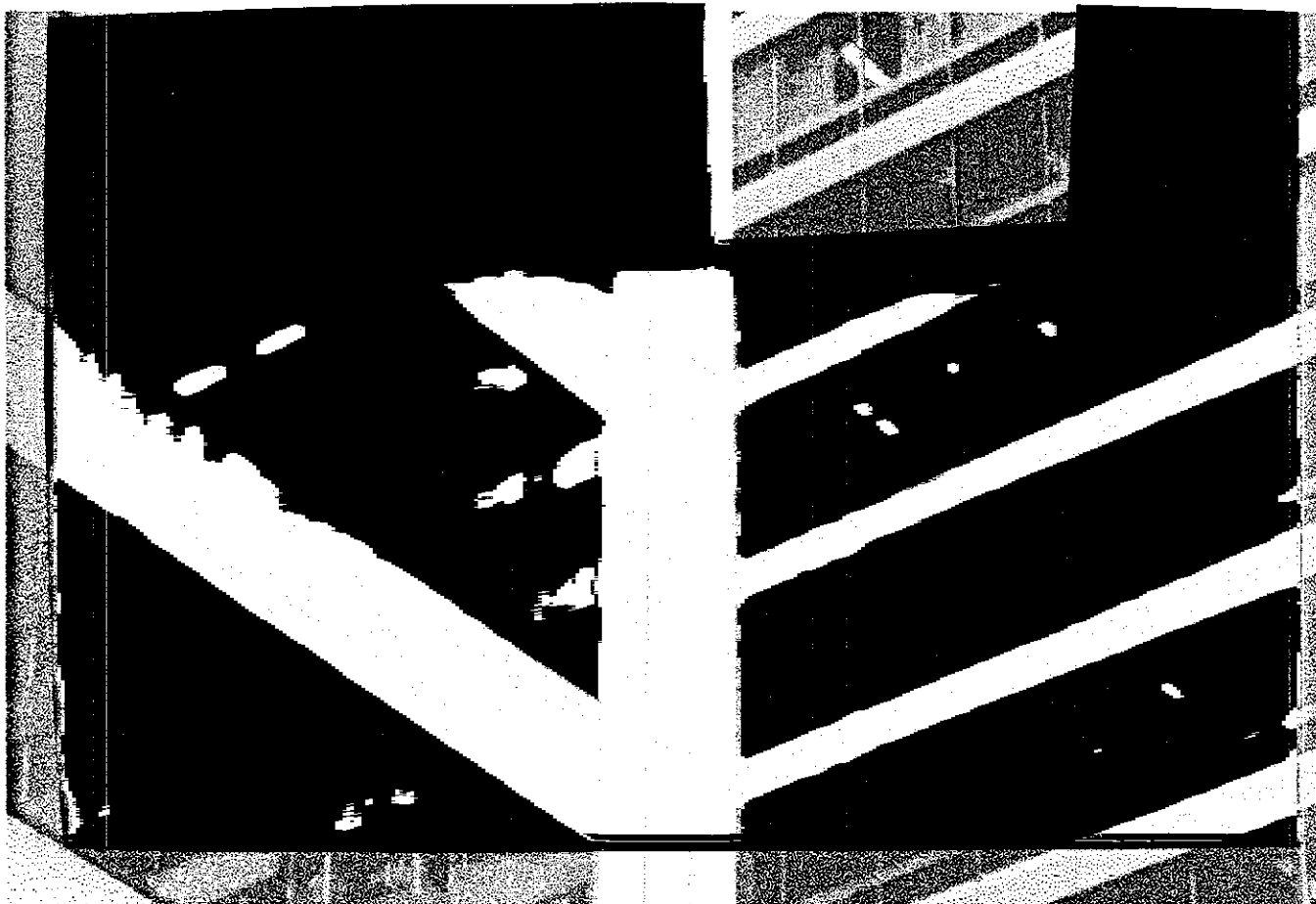


**BILANS DE
CONNAISSANCES**

8001 1992

B-036

RAPPORT



IRSST
Institut de recherche
en santé et en sécurité
du travail du Québec

La recherche, pour mieux comprendre

L'Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (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 finance, par subvention ou contrats, 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.

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

Il est possible de se procurer le catalogue des publications de l'Institut et de s'abonner à *Prévention au travail* en écrivant à l'adresse au bas de cette page.

ATTENTION

Cette version numérique vous est offerte à titre d'information seulement. Bien que tout ait été mis en œuvre pour préserver la qualité des documents lors du transfert numérique, il se peut que certains caractères aient été omis, altérés ou effacés. Les données contenues dans les tableaux et graphiques doivent être vérifiées à l'aide de la version papier avant utilisation.

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec

IRSST - Direction des communications
505, boul. de Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : (514) 288-1 551
Télécopieur: (514) 288-7636
Site internet : www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche en santé
et en sécurité du travail du Québec,

Évaluation de l'utilisation d'un système de contrôle de l'air neuf par les taux de CO₂ : étude d'un édifice

Giovanna Donnini et Nicole Goyer
Programme soutien analytique, IRSST

RELIÉS
DE
COMMUNIS
SCIENCE
ET
TECHNOLOGIE

RAPPORT

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|---|-----|
| Remerciements | iii |
| Résumé | iv |
| 1. Introduction | 1 |
| 2. Méthodologie | 1 |
| 2.1 Choix et description de l'édifice | 1 |
| 2.2 Description des systèmes de ventilation | 2 |
| 2.3 Paramètres et stratégies de mesure | 4 |
| 3. Résultats | 7 |
| 3.1 Utilité du système de contrôle par le CO ₂ | 7 |
| 3.2 Qualité de l'air | 9 |
| 3.3 Confort Thermique | 10 |
| 3.4 Apport d'air neuf | 14 |
| 3.5 Demande énergétique | 15 |
| 4. Conclusion | 16 |
| 5. Références | 17 |

LISTE DES FIGURES

| | Page |
|--|------|
| Figure 1. Zones de confort | 12 |
| Figure 2. Représentation des indices de performance de diffusion d'air | 13 |
| Figure 3. Différence dans la demande énergétique | 16 |

LISTE DES TABLEAUX

| | Page |
|--|------|
| Tableau 1. Méthodes d'échantillonnage et d'analyse | 6 |
| Tableau 2. Rendement du système de contrôle par le CO ₂ | 7 |
| Tableau 3 . Synthèse des résultats de contaminants chimiques | 9 |
| Tableau 4. Synthèse des mesures de température et d'humidité | 11 |
| Tableau 5. Taux de changement d'air par heure moyen | 14 |

Remerciements

Cette étude n'aurait pu être réalisée sans la collaboration de différents intervenants.

Tout d'abord, nous tenons à remercier la Société Immobilière du Québec ainsi que les propriétaires et gestionnaires de l'édifice où a eu lieu l'étude. A l'IRSST, nous tenons à remercier particulièrement Monsieur Louis Lazure pour son aide essentielle dans l'étude des systèmes de ventilation, Messieurs Yves Beudet, Claude Létourneau et Madame Brigitte Roberge du Programme Soutien analytique pour leur travail efficace sur le terrain ainsi que les analystes du Programme Hygiène et toxicologie pour leur compétence dans le traitement des échantillons et l'interprétation des résultats.

Résumé

Le but de cette étude était d'évaluer la performance d'un système de ventilation dont l'apport d'air neuf était contrôlé par la mesure de l'anhydride carbonique (CO₂) ambiant. Pour ce faire, des mesures comparatives ont été effectuées sur deux étages d'un même édifice, l'un ventilé par le "système CO₂" et l'autre par un système usuel basé sur les températures. Cependant, afin d'assurer le confort des occupants de l'étage ventilé par le "système CO₂", un deuxième contrôle basé sur la mesure des températures a dû être installé. À cause des séquences de fonctionnement établies pour ce système combiné CO₂/température, le contrôle des températures a été pratiquement le seul à agir. En fait, la conception initiale de la ventilation et les limites d'opération de la réfrigération ne permettaient pas une utilisation maximale et efficace du "système CO₂". Les systèmes des deux étages étaient donc contrôlés par les températures, la différence se situant au niveau de la localisation des sondes et non au niveau de la mesure du CO₂. Les résultats obtenus sont donc particuliers à cet édifice mais sont publiés afin d'illustrer les difficultés associées au contrôle de la ventilation par la mesure du CO₂ ambiant.

La comparaison visait la qualité de l'air par la mesure de l'anhydride carbonique, des composés organiques volatils et des poussières, le confort thermique incluant les températures sèche et opérative et l'humidité relative, la ventilation par les taux de changements d'air et la performance de diffusion et la consommation d'énergie. Les mesures ont été prises sur trois journées à chaque mois pendant douze mois. Les résultats obtenus pour les paramètres reliés à la qualité de l'air et au confort ont démontré que d'une part, pour la majorité du temps, l'environnement de travail était adéquat selon les critères de référence utilisés et que d'autre part, aucune différence n'a été observée entre les deux étages. Au niveau de l'apport d'air neuf, les systèmes des deux étages se sont comportés de la même façon en été et en hiver; des différences ont été notées pour les saisons de plus grandes variations de températures soit à l'automne et au printemps possiblement dues à la différence dans la localisation des sondes. Une baisse énergétique de l'ordre de 12% a été observée pour le système du 8e étage mais les facteurs qui influençaient la consommation énergétique n'ont pas été évalués.

Cette étude a donc montré la difficulté d'application d'un système de contrôle de l'air neuf basé uniquement sur la mesure du CO₂ ambiant. Il semble qu'un système complémentaire basé sur la mesure des températures soit nécessaire afin de maintenir la température d'alimentation en air froid au point de consigne établi. Un système basé sur la mesure du CO₂ pourrait être préconisé dans la mesure où les équipements pourraient

répondre à une demande accrue de la charge de chauffage ou de refroidissement. Il pourrait également être utilisé pour des locaux où les densités d'occupation sont élevées mais non continues (ex: salles de conférence, salles d'attente, cafétérias). Un tel système permettrait de fournir, à la demande, la quantité adéquate d'air neuf.

1. Introduction

L'apport et la distribution de l'air dans les édifices à bureaux ont été identifiés comme sources importantes de l'inconfort vécu par les occupants (1). Actuellement, les systèmes de ventilation contrôlent l'apport d'air neuf en fonction de la température de l'air extérieur sans tenir compte des variations de la densité d'occupation des locaux ventilés. Une nouvelle technologie, basée sur la mesure de l'anhydride carbonique émis par les occupants, contrôlerait l'apport d'air neuf tout en assurant le maintien de la qualité de l'air et le confort des occupants et tout en gardant ou améliorant le bilan énergétique de l'immeuble (2-6). En collaboration avec la Société Immobilière du Québec, l'étude d'un tel système a été réalisée. Les buts de l'étude étaient d'une part d'évaluer les possibilités et les limites d'utilisation de ce système basé sur la mesure du CO₂ et, d'autre part, d'en évaluer les répercussions sur la qualité de l'air, le confort thermique, la ventilation et la consommation énergétique en le comparant à un système basé sur la mesure des températures, pour un édifice spécifique.

2. Méthodologie

2.1 Choix et description de l'édifice

L'édifice a été choisi de façon à permettre la comparaison de deux étages semblables desservis par des systèmes de ventilation identiques mais de fonctionnement indépendant. L'édifice était situé à Montréal. Il était délimité sur deux côtés par des artères importantes de circulation et par des stationnements sur les deux autres côtés.

L'édifice comprenait 13 étages incluant le rez-de-chaussée et un sous-sol. La plupart des bureaux étaient situés dans des aires ouvertes et séparés par des cloisons de 4 à 6 pieds de hauteur. Des bureaux fermés étaient situés en périphérie sur certains étages. Il y avait plusieurs salles de conférence, des imprimeries, des salles de repos au centre de l'édifice et une cafétéria au 11^e étage. Les murs périphériques étaient vitrés et la plupart des planchers étaient recouverts de tapis.

Environ 600 personnes y travaillaient régulièrement et la clientèle pouvait atteindre 900 personnes.

2.2 Description des systèmes de ventilation

Chaque étage de l'édifice était desservi par deux systèmes de ventilation identiques, de type multizones, à débit d'air neuf variable et à débit d'air total constant. Un troisième système de moindre importance alimentait les salles de conférence. Chaque étage était chauffé à l'électricité. La gestion et l'entretien de l'édifice et des systèmes de ventilation étaient assurés par les propriétaires de l'édifice.

Les humidificateurs par pression de vapeur ont fonctionné du 1er octobre au 1er avril. Les filtres ont été changés à tous les deux mois l'hiver et à tous les mois et demi l'été. Les systèmes de ventilation d'un débit approximatif de 31 000 m³/heure ont fonctionné 24 heures par jour et 7 jours par semaine. En général, la nuit, les volets d'admission d'air frais étaient fermés et l'air était recirculé en totalité.

Un mélange traité d'air neuf et d'air recirculé était distribué dans les locaux par des diffuseurs linéaires situés dans le faux-plafond le long des vitres et par des diffuseurs carrés dans le centre de l'édifice. Le retour d'air se faisait par des grilles situées dans le faux-plafond.

Les systèmes des 8e et 9e étages ont servi à l'étude comparative. Au 9e, l'apport d'air neuf était contrôlé par un système basé sur la mesure des températures alors que le 8e a été équipé du nouveau système de contrôle basé sur la mesure du CO₂ qui a dû être jumelé à un système de contrôle des températures afin d'alimenter au point de consigne établi.

2.2.1 Séquence des opérations de contrôle par la mesure des températures

Ce système, situé au 9e étage, était actionné par différents contrôles. Un premier contrôle était la mesure de la température de l'air extérieur. Lorsqu'elle était de l'ordre de 13°C (54°F), les volets d'air neuf ouvraient au maximum alors qu'une température extérieure supérieure à 15,6°C (60°F) entraînait automatiquement une fermeture des volets jusqu'à la position minimale d'ouverture désirée. En été, les volets étaient fermés dû à la charge maximale que pouvait prendre le système de refroidissement. Un autre contrôle était celui de la mesure de la température de mélange. Dans ce cas, lorsque la température de mélange atteignait une température différente du point de consigne, les

volets d'air neuf commençaient à moduler. En hiver, le compresseur de réfrigération étant fermé, l'air froid servant au refroidissement de l'air d'alimentation provenait directement de l'extérieur. Par souci d'économie d'énergie, les volets étaient ajustés manuellement par grand froid.

2.2.2 Séquence des opérations de contrôle par le CO₂

Ce système a été installé au 8e étage. Afin d'assurer une température adéquate dans les locaux, le système de contrôle par le CO₂ a dû être jumelé à un système de contrôle des températures.

Le système de contrôle du CO₂ consistait en un moniteur, modèle 8225 de ACME Engineering (7) installé dans la chambre mécanique qui échantillonnait à toutes les dix minutes à quatre postes de travail. Ces postes étaient ceux qui avaient donné les concentrations les plus élevées lors d'une étude préliminaire. Lorsque la moyenne de ces quatre postes était inférieure à 600 ppm, les volets d'air extérieur demeuraient en position minimale. Lorsque la moyenne était égale ou supérieure à 600 ppm, les volets s'ouvraient jusqu'à un maximum d'ouverture atteint pour une valeur moyenne de 1 000 ppm. La limite inférieure de 600 ppm correspond à la valeur rapportée dans la littérature à laquelle commenceraient les maux de tête (8) alors que la valeur de 1 000 ppm correspond à la valeur recommandée par l'organisme américain ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (9).

Le système complémentaire était constitué d'une première sonde de température située à l'extérieur qui fermait les volets dès que la température extérieure était supérieure à 15,6°C (60°F), tout comme pour le 9e étage. Une autre sonde de température était fixée dans le conduit d'air de mélange à proximité du ventilateur d'alimentation et influençait l'ouverture des volets. Tout comme dans le cas du système installé au 9e étage, le compresseur étant fermé durant l'hiver, l'air froid du mélange provenait directement de l'extérieur.

Les systèmes fonctionnaient de façon à maintenir une température de mélange confortable et un taux de CO₂ bas. Cependant, dans le cas où le taux de CO₂ serait supérieur à 600 ppm (entraînant normalement une ouverture des volets) et que la température extérieure serait supérieure à 15,6°C (entraînant normalement une fermeture

des volets), le système de température aurait priorité et ce, pour éviter une surcharge du système de refroidissement.

2.3 Paramètres et stratégies de mesure

Quatre ensembles de paramètres ont été considérés. Le premier ensemble concernait la qualité de l'air face à certains composés chimiques soit l'anhydride carbonique, les composés organiques volatils et les poussières totales. Seuls ces trois contaminants ont été retenus suite aux résultats obtenus dans cet édifice lors d'échantillonnages préliminaires. Les autres paramètres concernaient le confort thermique incluant les températures sèche et opérative, l'humidité relative, les courants d'air et l'indice de performance de diffusion de l'air; la ventilation par les taux de changements d'air neuf; et la demande énergétique.

Chaque période d'échantillonnage se déroulait sur trois journées à chaque mois pendant douze mois, de mai 1990 à avril 1991. Les tests ont été effectués simultanément sur les deux étages pour la mesure des composés chimiques et les paramètres de températures et d'humidité.

Le nombre de postes par étage et les méthodes d'échantillonnage et d'analyse pour les paramètres de qualité de l'air et de confort thermique sont donnés au tableau 1. Ce sont les méthodes de l'IRSSST et les méthodes décrites par ASHRAE (10,11).

La technique de décroissance de la concentration d'un gaz traceur a été utilisée pour la mesure des taux de changements d'air neuf (12). Le 9^e étage a été testé la première des trois journées d'évaluation et le 8^e à la troisième journée pour éviter les mouvements d'air entre les étages, qui pourraient être causés par la différence de pression. À peu près 4 litres de SF₆ ont été injectés aux volets d'air neuf pour l'étage en question. Une période de mélange de 30 minutes a été allouée. Des échantillons d'air ont été prélevés 9 fois consécutives à 5 postes pour un total d'environ 80 minutes d'échantillonnage. Le SF₆ a été analysé par chromatographie en phase gazeuse. Cette méthode de calcul du taux de changements d'air neuf tient compte de la ventilation mécanique et des infiltrations. Le débit d'air neuf entrant sur chacun des étages a pu être calculé à partir de ce taux de changements d'air à l'aide de l'équation suivante :

$Q = R \times V \times (1\ 000\ \text{litres/m}^3) / (3\ 600\ \text{secondes/heure})$ où

Q = débit d'air neuf en Litres/seconde

R = taux de changements d'air en heure⁻¹

V = volume du local en mètres³

Pour le bilan énergétique, la puissance utilisée pour le chauffage et la climatisation a été enregistrée pour chacun des quatre systèmes de ventilation, soit deux par étage. Les enregistreurs utilisés étaient des XT-103 Electrical Current Stick-on Loggers.

Tableau 1. Méthodes d'échantillonnage et d'analyse

| Composé | Nombre de postes de mesure | Échantillonnage | Analyse |
|---|---|---|---|
| A - QUALITÉ DE L'AIR | | | |
| Anhydride carbonique CO ₂ | 10 | • 1 fois/heure de 7h00 à 19h00 pendant 3 jours consécutifs | Instrument à lecture directe - Infrarouge ADC, 0-5000 ppm |
| Composés organiques volatils | 3 | • tubes de charbon actif; 0,2 L/min • 24 heures soit 3 jours consécutifs de travail | Chromatographie en phase gazeuse |
| Poussières totales | 3 | • filtres de chlorure de vinyle; 1,5 L/min • 24 heures soit 3 jours consécutifs de travail | Gravimétrie |
| B - CONFORT THERMIQUE | | | |
| Température opérative | 9 | 20 minutes/ poste | Confortmètre BK, 1212 |
| Température sèche | 9 | 1 fois/ poste | Psychromètre Cole-Parmer |
| Humidité relative | 9 | 1 fois/ poste | Psychromètre Cole-Parmer |
| Vitesse de l'air | 70 (4 hauteurs : 0,1, 0,6, 1,1 et 1,7 m du sol) | 5 minutes/poste | 4 Sondes anémométriques TSI-1621 |
| Indice de performance de diffusion | 70 (4 hauteurs : 0,1, 0,6, 1,1 et 1,7 m du sol) | 5 minutes/poste | 4 Sondes anémométriques + 5 sondes de température TSI-1621+TSI-1620 |

3. Résultats

3.1 Utilité du système de contrôle par le CO₂

Le tableau 2 donnant le rendement de ce système indique que le moniteur de CO₂ n'a contrôlé l'ouverture des volets d'air neuf qu'une seule fois pour une période de 40 minutes. L'étude détaillée du fonctionnement des systèmes en présence permet d'expliquer cette situation:

- En hiver, le pourcentage d'air extérieur servant au refroidissement de l'air de mélange (le système de refroidissement n'étant pas en opération) était suffisamment élevé pour maintenir les concentrations de CO₂ en-deça de la limite de déclenchement du système basé sur sa mesure.
- En été, le système basé sur les températures avait priorité puisque la température extérieure était supérieure à 15,6°C. Le taux de CO₂ est cependant demeuré inférieur à 600 ppm, probablement dû au nombre plus restreint d'occupants pendant cette période.
- En automne et au printemps, la température extérieure a été le facteur déterminant quel système a exercé le contrôle. Trois fois, la concentration de CO₂ a dépassé la limite fixée sans que le moniteur n'ait déclenché l'ouverture des volets. Une vérification des données météorologiques a montré que pour ces trois journées, la température extérieure était supérieure à 15,6°C.

Tableau 2. Rendement du système de contrôle par le CO₂

| Mois | Lectures de CO ₂ | Action |
|--------------|-----------------------------|--------------|
| mai 1990 | < 600 ppm | pas d'action |
| juin 1990 | < 600 ppm | pas d'action |
| juillet 1990 | < 600 ppm | pas d'action |
| août 1990 | < 600 ppm | pas d'action |

| Mois | Lectures de CO ₂ | Action |
|----------------|--|--|
| septembre 1990 | < 600 ppm sauf 620 ppm pour 20 minutes | pas d'action |
| octobre 1990 | < 600 ppm sauf 630 ppm pour 50 minutes | pas d'action |
| novembre 1990 | < 600 ppm sauf 635 ppm pour une heure | pas d'action |
| décembre 1990 | < 600 ppm | pas d'action |
| janvier 1991 | < 600 ppm | pas d'action |
| février 1991 | < 600 ppm | pas d'action |
| mars 1991 | < 600 ppm | pas d'action |
| avril 1991 | < 600 ppm sauf 640 ppm pour 50 minutes | ouverture de volets pendant 40 minutes |

A cause des séquences de contrôle établies pour le système combiné : contrôle du CO₂ / contrôle des températures, ce dernier a été pratiquement le seul à agir. Pour l'édifice étudié, la conception initiale du système et les limites de fonctionnement du système de refroidissement ne permettaient pas une utilisation maximale et efficace du système basé sur la mesure du CO₂.

La différence de fonctionnement entre le système installé au 8e et celui situé au 9e étage se situait donc principalement au niveau de la localisation des sondes de température soit dans l'air de mélange au 9e étage et dans le conduit d'alimentation d'air total situé à proximité du ventilateur d'alimentation au 8e étage.

3.2 Qualité de l'air

Les trois contaminants évalués ont été l'anhydride carbonique, CO₂, les composés organiques volatils, COV, et les poussières. Le tableau 3 donne une synthèse des concentrations mesurées. Sont également données à titre informatif les valeurs fixées dans le Règlement sur la qualité du milieu de travail du Québec et les valeurs indiquées par l'organisme américain ASHRAE (9,13,14).

Les concentrations extérieures de CO₂ ont été mesurées à tous les jours d'échantillonnage à 7h00. Un seul prélèvement extérieur a été fait pour les poussières et les composés organiques volatils, au mois d'avril 1991.

Tableau 3 . Synthèse des résultats de contaminants chimiques

| Concentration | CO ₂ (ppm) | | COV (mg/m ³) | | POUSSIÈRES (ug/m ³) | |
|-----------------------|-----------------------|------|--------------------------|------|---------------------------------|------|
| | 8e | 9e | 8e | 9e | 8e | 9e |
| Minimum | 450 | 410 | n.d. | 0,7 | n.d. | n.d. |
| Maximum | 790 | 870 | 11,9 | 22,5 | 101 | 40 |
| Moyenne | 575 | 590 | 3,3 | 6,1 | 24 | 17 |
| Ecart-type | 105 | 130 | 2,8 | 4,8 | 19 | 11 |
| Variation | 18 % | 22 % | 85 % | 79 % | 79 % | 65 % |
| RQMT, r.15,S-2.1 (13) | < 5 000 | | < 575 ¹ | | < 10 000 | |
| ASHRAE 62-1989 (9) | < 1 000 | | < 52,5 ¹ | | < 40 | |

n.d. = non décelé

¹ valeur rapportée pour le solvant Stoddard

Les concentrations d'anhydride carbonique étaient toujours inférieures à la valeur indiquée par ASHRAE, le niveau maximum mesuré à 1 poste étant de 900 ppm. A l'extérieur, les concentrations étaient de l'ordre de 390 ± 25 ppm. Les différences de concentrations observées entre les deux étages semblaient plus reliées au nombre d'occupants et à leurs activités qu'à la performance des systèmes de contrôle de la ventilation.

Les résultats de composés organiques volatils incluent l'ensemble des composés prélevés sans les identifier et correspondent à la valeur moyenne des trois jours d'échantillonnage. De façon générale, pour les deux étages, les concentrations mesurées étaient plus élevées pendant les mois d'été. Sauf pour le mois de septembre où les concentrations étaient semblables, les valeurs étaient supérieures au 9^e étage, d'un facteur variant de 1,3 à 5,5. Aucune source interne d'émission n'a été identifiée ou localisée. Lors de l'échantillonnage extérieur, la concentration mesurée a été de $3,6 \text{ mg/m}^3$; elle était alors de $4,7$ et $6,4 \text{ mg/m}^3$ respectivement pour les 8^e et 9^e étages.

Les concentrations de poussières étaient faibles, une seule valeur moyenne étant supérieure à la valeur de ASHRAE. Le dernier mois soit avril 1991, deux postes d'échantillonnage ont été placés à l'extérieur à 0,3 mètre des volets d'air neuf et à 1 mètre du mur. Des concentrations de 74 et $36 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ont été respectivement obtenues pour les 8^e et 9^e étages alors qu'à l'intérieur, ces valeurs étaient de 16 et $11 \text{ } \mu\text{g/m}^3$. Les données les plus récentes disponibles au département de l'environnement de la Ville de Montréal (15) pour 1989 indiquaient une concentration de poussières dans la zone la plus près de l'édifice de $56 \text{ } \mu\text{g/m}^3$. Les concentrations mesurées sur les deux étages étaient semblables.

3.3 Confort Thermique

Les trois premiers paramètres de confort considérés étaient la température opérative, la température sèche et l'humidité relative. Le tableau 4 donne une synthèse des mesures.

Tableau 4. Synthèse des mesures de température et d'humidité

| Paramètre | Étage | Plage de mesures |
|--------------------------|----------------|------------------|
| Température opérative °C | 8 ^e | 21,5 à 27,8 |
| | 9 ^e | 22,2 à 26,8 |
| Température sèche °C | 8 ^e | 21,2 à 26,1 |
| | 9 ^e | 21,0 à 25,2 |
| Humidité relative % | 8 ^e | 8 à 46 |
| | 9 ^e | 9 à 44 |

Les résultats obtenus sur les deux étages étaient semblables, les baisses dans les taux d'humidité se produisant aux mêmes périodes. Il est important de noter qu'au mois de mars où les plus bas taux ont été mesurés, l'humidification était arrêtée pour permettre des réparations.

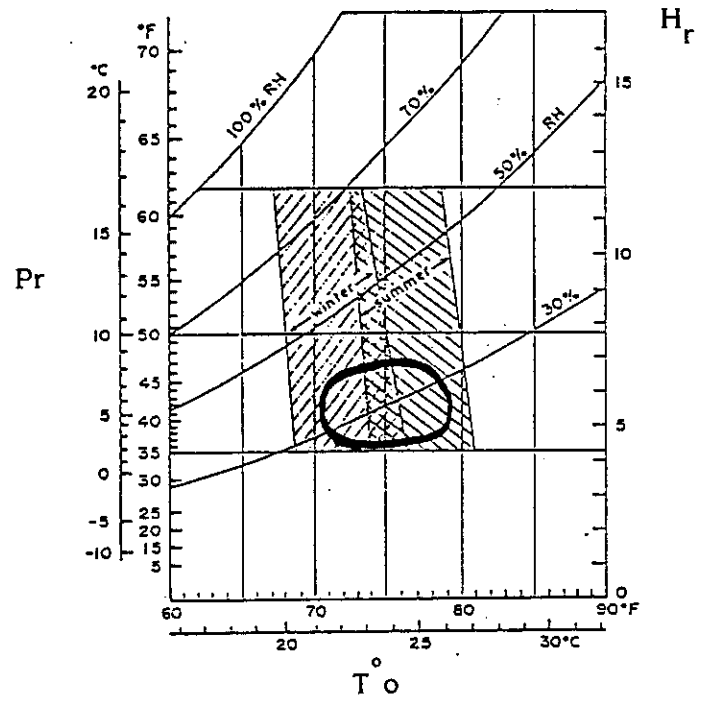
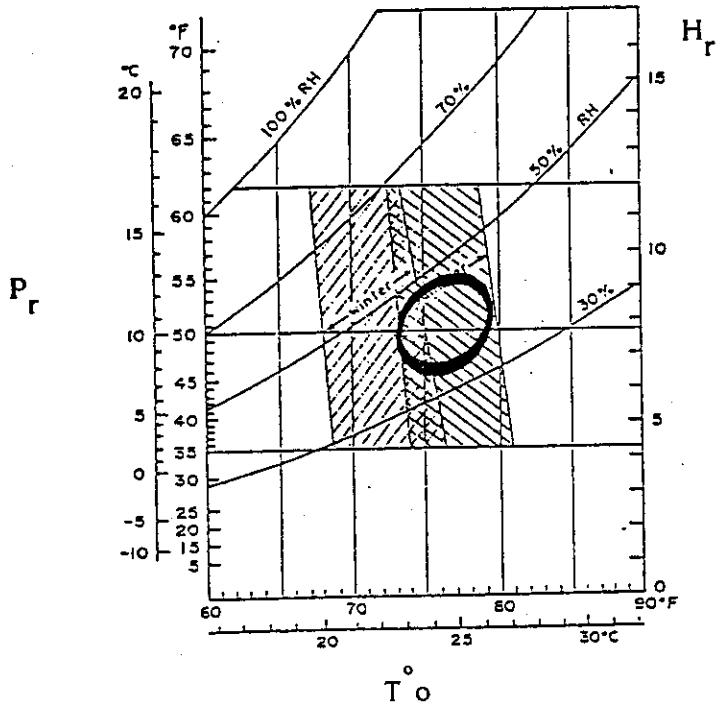
Les seules indications relatives à ces paramètres dans le Règlement sur la qualité du milieu de travail fixent à 20°C la température minimale et à 20% le taux d'humidité minimal pour les édifices construits après 1979 (article 3, R.15). ASHRAE pour sa part, donne des zones de température opérative en fonction du taux d'humidité relative. Et inversement, il recommande des taux d'humidité, en fonction de la température opérative, entre 30 et 70 % (9,14). La figure 2 donne pour chaque saison de l'étude, la partie de la zone de confort de ASHRAE dans laquelle se situaient les résultats obtenus.

De ces comparaisons, il ressort que, sauf pour les mois d'hiver où les taux d'humidité étaient bas, l'environnement correspondait à une zone dite confortable.

Figure 1. Zones de confort

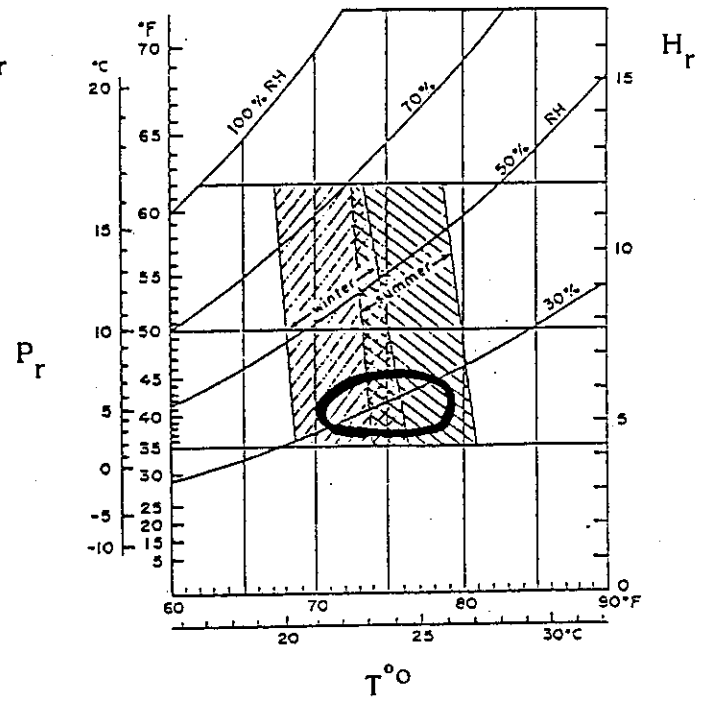
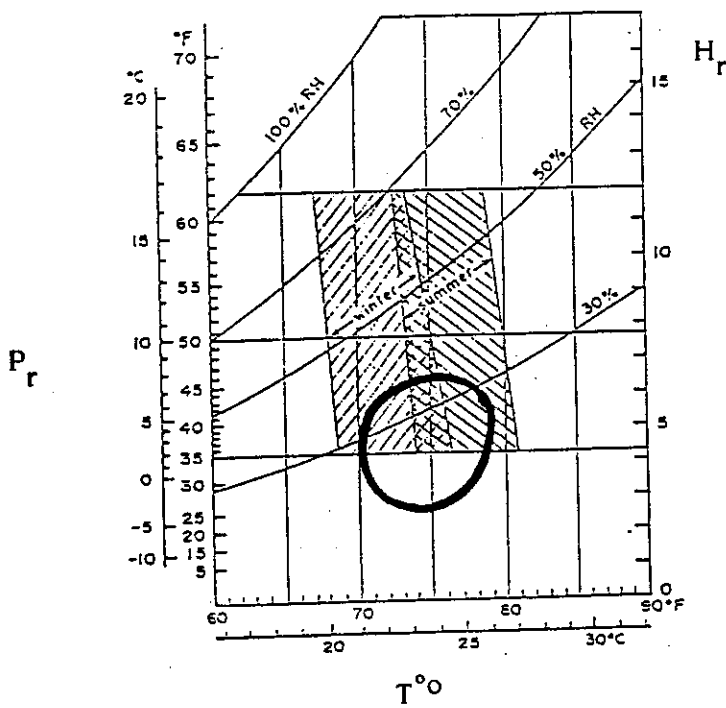
Été 1990

Automne 1990



Hiver 1991

Printemps 1991



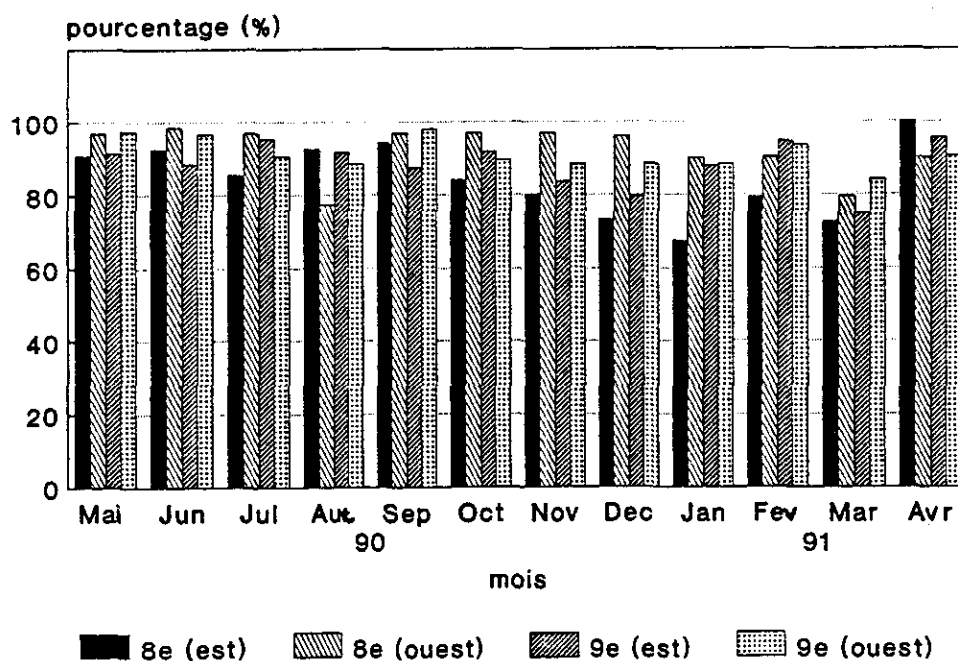
T°_o = température opérative; Pr = point de rosée; H_r = humidité relative

La vitesse d'air au poste de travail a aussi été considérée comme élément de confort. ASHRAE recommande une vitesse maximale de 0,15 m/sec en hiver et 0,25 m/sec en été. Le ministère canadien des travaux publics a aussi émis des recommandations, fixant entre 0,09 et 0,25 les vitesses d'air créant des conditions satisfaisantes pour les occupants (16).

Les vitesses ont varié entre 0,08 et 0,15 m/sec correspondant ainsi à une bonne circulation d'air et à des conditions jugées confortables pour les occupants selon les références utilisées. Les deux étages ont présenté des résultats similaires.

L'autre paramètre évalué a été l'indice de performance de diffusion d'air, IPDA. Cet indice fait référence à l'efficacité du système à diffuser l'air neuf à travers tout le local de façon uniforme et d'éviter ainsi la stratification de l'air et les zones de stagnation. Une valeur minimale de 80% est proposée par ASHRAE, ce qui veut dire que 80% de l'espace d'un local serait adéquatement balayé par l'air de diffusion. Les mesures de IPDA sont présentées à la figure 2.

Figure 2. Représentation des indices de performance de diffusion d'air



Les indices de performance ont indiqué une diffusion efficace de l'air dans la majorité des locaux étudiés pour les deux étages. Les indices inférieurs à 80 % mesurés pour les mois de janvier et février au 8e étage étaient dus au bris d'un compresseur.

3.4 Apport d'air neuf

Les résultats des taux moyens de changements d'air neuf par étage, mesurés par la méthode du gaz traceur SF₆, sont présentés au tableau 5.

Tableau 5. Taux moyen de changements d'air par heure

| Mois | 8 ^e étage | 9 ^e étage |
|----------------|----------------------|----------------------|
| mai 1990 | 1,7 | 1,7 |
| juin 1990 | 0,7 | 0,4 |
| juillet 1990 | 0,6 | 0,4 |
| août 1990 | 0,7 | 0,4 |
| septembre 1990 | 0,8 | 3,1 |
| octobre 1990 | 0,9 | 3,0 |
| novembre 1990 | 2,6 | 2,5 |
| décembre 1990 | 2,8 | 2,3 |
| janvier 1991 | 2,3 | 2,2 |
| février 1991 | 2,8 | 2,4 |
| mars 1991 | 3,0 | 2,6 |
| avril 1991 | 0,8 | 3,0 |

De ces résultats, on observe que les taux les plus bas ont été mesurés en été (juin, juillet et août), dû à la fermeture presque complète des volets, la température extérieure étant généralement plus élevée que 15,6°C. Les taux les plus élevés ont été obtenus en hiver (de novembre à mars) soit la période où les compresseurs de refroidissement étaient arrêtés et que l'air de refroidissement provenait directement de l'extérieur. Pour ces

deux périodes, les séquences de contrôle des systèmes faisaient en sorte qu'ils fonctionnaient de la même façon sur les deux étages et effectivement, les taux mesurés étaient semblables. Pour les mois de septembre, octobre et avril, les taux obtenus au 8e étage étaient du même ordre que ceux mesurés l'été alors que pour le 9e étage, ils correspondaient à ceux mesurés l'hiver. Ces comportements pourraient s'expliquer par la différence de localisation des sondes de température; seule une étude plus systématique permettrait de confirmer cette hypothèse.

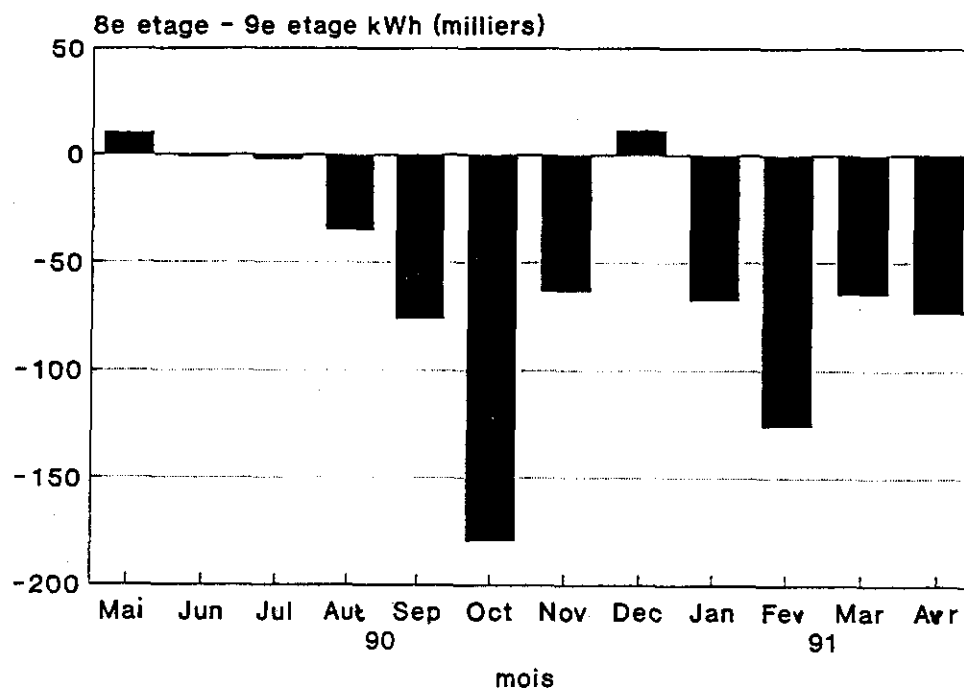
Si on utilise un volume d'étage de 5 400 m³, un taux d'occupation de 100 personnes (de l'ordre de celui rencontré dans l'édifice) et les taux moyens de renouvellement calculés de 1,6 et 2,0 pour les 8e et 9e étages, on obtient respectivement 24 et 30 L/sec/personne avec des valeurs de 9 et 6 L/sec/personne en été, toujours en supposant une occupation de 100 personnes par étage. Le Règlement québécois fixe à 2,4 L/sec/personne le débit minimal alors que ASHRAE le fixe à 10 L/sec/personne.

3.5 Demande énergétique

La consommation énergétique a été mesurée pour chacun des étages et la différence exprimée en kilowatts-heure est représentée à la figure 3.

Une différence totale de l'ordre de 666 000 Kwh soit une baisse de 12% a été mesurée entre les deux systèmes. Une partie de la baisse importante de consommation du mois d'octobre pourrait être due à la quantité plus faible d'air extérieur entrant dans le système du 8e étage. Cependant, pour les autres mois, notamment ceux où les systèmes fonctionnaient de la même façon, d'autres paramètres influençaient la consommation énergétique dont notamment la demande en chaleur ou en refroidissement selon le nombre de personnes présentes sur chaque étage et la charge thermique des équipements en opération. L'ajout d'une sonde de température près de l'alimentation en air froid semble produire, en raison de sa localisation, un rendement énergétique plus efficace.

Figure 3. Différence dans la demande énergétique



4. Conclusion

Le but de cette étude était d'évaluer la performance d'un système de ventilation dont l'apport d'air neuf était contrôlé par la mesure de l'anhydride carbonique ambiant. Cependant, afin de maintenir la température au point de consigne, un deuxième contrôle basé sur la mesure des températures a dû être installé. À cause des séquences de fonctionnement établies pour ce système combiné contrôle CO₂ / contrôle des températures, ce dernier a été pratiquement le seul à agir. En fait, la conception initiale des systèmes de ventilation et les limites d'opération des systèmes de refroidissement ne permettaient pas une utilisation maximale et efficace du système basé sur la mesure du CO₂. Les systèmes sur les deux étages étaient donc contrôlés tous deux par les températures, la différence se situant au niveau de la localisation des sondes et non au niveau de la mesure du CO₂. Une des sondes de température était localisée dans l'air de mélange pour l'étage de référence (9e) alors qu'elle était dans le conduit près de

l'alimentation en air froid pour le 8e. De ce fait, les résultats obtenus ne peuvent être généralisés pour d'autres systèmes de ventilation.

Les résultats obtenus pour les paramètres reliés à la qualité de l'air et au confort ont démontré que d'une part, pour la majorité du temps, l'environnement de travail était adéquat selon les références utilisées et que d'autre part, aucune différence n'a été observée entre les deux étages. Au niveau de l'apport d'air neuf, les systèmes des deux étages se sont comportés de la même façon en été et en hiver; des différences ont été notées pour les saisons de plus grandes variations de températures soit à l'automne et au printemps. Ces comportements pourraient s'expliquer par la différence dans la localisation des sondes mais une étude plus systématique aurait été nécessaire pour confirmer cette hypothèse. Une baisse énergétique de l'ordre de 12% a été observée pour le système du 8e étage mais les facteurs qui influençaient la consommation énergétique n'ont pas été évalués.

Cette étude a montré la difficulté d'application d'un système de contrôle de l'air neuf basé uniquement sur la mesure de l'anhydride carbonique. Il semble qu'un système complémentaire basé sur la mesure des températures soit nécessaire afin d'assurer le confort des occupants. Un autre facteur limitatif serait la localisation des moniteurs de CO₂, notamment lorsque le nombre de personnes est très variable. On peut s'interroger sur sa capacité à répondre adéquatement et rapidement à une augmentation ponctuelle et localisée d'anhydride carbonique. Ce type de contrôle serait préconisé si les équipements pouvaient répondre à une demande accrue de la charge de chauffage ou de refroidissement; il pourrait également être utilisé pour des locaux avec des densités d'occupation élevées mais non continues (ex : salles de conférence, salles d'attente, cafétérias). Un tel système permettrait de fournir, à la demande, la quantité adéquate d'air neuf.

5. Références

1. Goyer N., Nguyen V.H. Stratégie d'étude de la qualité de l'air dans les édifices à bureaux. Direction des Laboratoires, IRSST, Mai 1989.
2. Sodergren D., Puntilla A. A CO₂-controlled Ventilation System - Pilot Study.

Swedish Council for Building Research, D7, 1983.

3. Warren, B.F. Energy Saving in Buildings by Control of Ventilation as a Function of Indoor Carbon Dioxide Concentration. Building Services Engineering Research and Technology, vol 3, no 1, 1982.
4. Janssen J.E., Hill T.J., Woods J.E., Maldonado E.A.B. Ventilation for Control of Indoor Air Quality : A Case Study. Environment International, vol 8, 1982.
5. Ogasawara S., Taniguichi, Sukehira C. Effect of Energy Conservation by Controlled Ventilation : Case Study in a Department Store. Energy and Buildings, vol 2, 1979.
6. Penman J.M., Rashid A.A.M. Experimental Determination of Air-flow in a Naturally Ventilated Room Using Metabolic Carbon Dioxide. Building and Environment, vol 17, no 4, 1982.
7. ACME. Régulation de l'apport d'air extérieur fondée sur le fonctionnement d'appareils de détection du gaz carbonique. ACME produits d'ingénierie Ltée. Bulletin technique 10/1988, # 8041F, Juillet 1982.
8. Rajhans, G.S. Draft Report of the Inter-ministerial Committee on Indoor Air Quality. Ontario Ministry of Labour, présenté à ASHRAE/SOEH Conference, IAQ 89, Avril 17-20, 1989.
9. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc. ASHRAE Standard 62-1989: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Atlanta, USA, 1989.
10. IRSST. Guide d'échantillonnage des contaminants de l'air en milieu de travail. Direction des laboratoires, Montréal, mars 1990.
11. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers Inc. ASHRAE Standard ANSI/ASHRAE 113P: Method of testing for room air diffusion. Public review draft, December 1985.

12. Hitchin, E.R., Wilson C.B. A Review of Experimental Techniques for the Investigation of Natural Ventilation in Buildings. Building Science, vol 2, 1967.
13. Gouvernement du Québec. Règlement sur la qualité du milieu de travail. S-2.1, r.15, septembre 1982.
14. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc. ASHRAE Standard, ANSI/ASHRAE 55-1981 : Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta,USA, 1981.
15. Communauté Urbaine de Montréal. Rapport Annuel de Qualité de l'air -- sommaire des résultats, 1989. CUM, Service de l'environnement, 1990.
16. Travaux publics Canada. Case Study of a Problem Office Building par L. Cyfracki, Architectural & Engineering Services, Technology; Public Works Canada, Ottawa, 1989.