

**SCHL**  **CMHC**  
Question habitation, comptez sur nous

5749



**CMA Chalifour, Marcotte  
et Associés Inc.**

755, boul. St-Jean  
Bureau 300  
Pointe-Claire (Québec)  
H9R 5M9

Tél.: (514) 694-4141  
Fax: (514) 694-1713



**Enquête sur le terrain portant  
sur l'étanchéité à l'air, le  
mouvement de l'air et la qualité  
de l'air intérieur des tours  
d'habitation au Québec**

## **RAPPORT FINAL**

**Présentée à:  
M. Jacques Rousseau  
Directeur du projet  
Division de la mise en oeuvre des projets  
Société canadienne d'hypothèques  
et de logement**

**Préparée par:  
Pierre Marcotte, ing.  
CMA Chalifour, Marcotte & Ass. Inc.**

**Votre dossier: 6791-19-1**

**Notre dossier: L-1512**

**Septembre 1991**

# SOCIÉTÉ CANADIENNE D'HYPOTHÈQUES ET DE LOGEMENT

## ENQUÊTE SUR LE TERRAIN PORTANT SUR L'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR, LE MOVEMENT DE L'AIR ET LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR DES TOURS D'HABITATION AU QUÉBEC



**LE GROUPE**  
**cma**

**CMA Chalifour Marcotte  
et Associés Inc.**

755, boul. St-Jean, Suite 300  
Pointe-Claire (Québec) H9R 5M9  
Tél: (514) 694-4141  
Fax: (514) 694-1713

Votre dossier: 6791-19-1  
Notre dossier: L-1512

Date: Septembre 1991

## **TABLE DES MATIERES**

	<u>Page</u>
AVANT PROPOS .....	7
DÉNÉGATION DE RESPONSABILITÉ .....	9
SOMMAIRE EXÉCUTIF .....	10
1- INTRODUCTION .....	17
2- DESCRIPTION DES BATIMENTS .....	19
2.1 Bâtiment no 1 .....	19
2.2 Bâtiment no 2 .....	21
3- ÉTUDE D'INFILTROMÉTRIE .....	23
3.1 Présentation des résultats .....	23
3.2 Principe d'infiltrométrie .....	24
3.3 Description de l'infiltromètre .....	25
3.4 Procédure d'essai pour un bâtiment .....	26
3.5 Procédure d'essai utilisée dans les bâtiments impliquant plusieurs logements .....	28
3.6 Résultats .....	31
3.7 Analyse des résultats .....	35
3.8 Conclusion .....	38
4- PROBLÈME DE QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR - ÉVALUATION PRÉLIMINAIRE .....	41
4.1 Questionnaire d'évaluation .....	42
4.2 Résultat de l'évaluation préliminaire .....	42
4.3 Commentaire général .....	46
4.4 Résultat .....	48



## **TABLE DES MATIERES (SUIITE)**

	<u>Page</u>
5- MESURE SIMPLE .....	49
5.1 Emplacement .....	49
5.2 Procédure de relevé .....	50
5.3 Substance mesurée .....	51
5.4 Résultats .....	56
5.5 Commentaire .....	58
6- MESURES COMPLEXES .....	61
6.1 Emplacement .....	61
6.2 Procédure .....	62
6.3 Résultats .....	63
7- RECHERCHE DANS LE DOMAINE .....	67
7.1 Airborne Bacteria and Fungi in Finland .....	68
7.2 Indoor Air Bacteria in Apartment home before and after occupancy .....	68
7.3 A field study of indoor moisture problem and damage in New Pacific Norwest homes .....	69
7.4 Performance comparison of six different air cleaners installed in a residential forced-air ventilation system .....	69
7.5 Building owners in house response to indoor air quality problems - four case studies .....	70
8- CONCLUSION .....	71
ANNEXES .....	74

## **LISTE DES ANNEXES**

1. Photo du bâtiment # 1
2. Photo du bâtiment # 2
3. Procédure d'infiltrométrie
4. Equipement d'infiltrométrie
5. Logement multiple
6. Fuite d'air parasite au bâtiment # 1
7. Questionnaire du bâtiment # 1
8. Questionnaire du bâtiment # 2
9. Appareil de mesure CO<sub>2</sub>
10. Pompe Gastec
11. Tableau de correspondance CO<sub>2</sub>/PCM par personne
12. Relevé de l'anhydride carbonique CO<sub>2</sub>
13. Relevé de monoxyde de carbone
14. Relevé de formaldéhyde
15. Relevé d'ozone
16. Relevé de dioxyde d'azote
17. Relevé d'oxyde nitrique
18. Relevé de Toluène
19. Relevé de Xylène

## **LISTE DES ANNEXES (SUITTE)**

20. Relevé de gazoline
21. Analyse microbienne - résultat comparatif
22. Analyse microbienne obtenue du laboratoire
23. Airborne Bacteria and Fungi in Rural House in Finland
24. Indoor Air Bacteria in apartment homes before and after occupancy
25. A field study of indoor moisture problems and damage in New Pacific Northwest homes
26. Performance comparison of six different air cleaners installed in a residential ventilation system
27. Building owners in house response to indoor air quality problem - Four case studies
28. Courbes des ventilateurs en dépressurisation
29. Courbes des ventilateurs en pressurisation



## **AVANT PROPOS**

La Société canadienne d'hypothèques et de logement, l'agence canadienne de l'habitation, a la responsabilité d'administrer la loi nationale sur l'habitation.

Cette Loi vise à améliorer le logement et les conditions de vie des Canadiens. La Société doit donc s'intéresser à tous les aspects de l'habitation et du développement urbain.

Aux termes de la Partie IX de la Loi, le gouvernement du Canada verse à la SCHL les fonds dont elle a besoin pour mener des travaux de recherche sur les aspects sociaux, économiques et techniques de l'habitation et des domaines connexes, et pour en publier et diffuser les résultats. La SCHL est donc tenue, par son statut même, de mettre à la disposition du public toute l'information susceptible de contribuer à l'amélioration de l'habitation et des conditions de vie.

La présente brochure est l'un des nombreux documents d'information publiés par la SCHL avec l'aide financière du gouvernement fédéral.



**CMA Chalfour, Marcotte  
et Associés Inc.**



## **DÉNÉGATION DE RESPONSABILITÉ**

La présente étude a été menée par la firme CMA Chalifour, Marcotte et Associés Inc. pour le compte de la Société canadienne d'hypothèques et de logement, aux termes de la Partie IX de la Loi nationale sur l'habitation. L'analyse, les interprétations et les recommandations qu'elle contient sont celles de la firme CMA Chalifour, Marcotte et Ass. Inc.; elles ne reflètent donc pas nécessairement les vues de la Société canadienne d'hypothèques et de logement ou du personnel de ses divisions qui a collaboré à la préparation et à la publication de l'étude.



**CMA Chalifour, Marcotte  
et Associés Inc.**

## **SOMMAIRE EXÉCUTIF**

Le mandat consiste à analyser le renouvellement d'air, le mouvement d'air et les concentrations de polluants dans deux tours d'habitation à Montréal, afin de déterminer le niveau de confort des occupants et de déceler la présence de problèmes associés à la qualité de l'air intérieur, s'il y a lieu. Cette étude a été réalisée selon trois axes: une étude d'infiltrométrie, une analyse préliminaire par un expert en mécanique du bâtiment et une analyse des polluants chimiques et microbiens.

Le bâtiment # 1 est très récent ayant été complété au cours de l'année 91, il est divisé en condos. Il est chauffé à l'électricité à l'aide de plinthes sous chaque fenêtre et chaque condo possède son propre climatiseur interne avec gaines de distribution dans les pièces. Les fenêtres sont de très bonne qualité et une attention particulière a été apportée pour sceller les prises de courant sur les murs extérieurs. Par opposition, le bâtiment # 2 a été construit il y a 30 ans, il est chauffé à l'aide de deux bouilloires à combustible avec un réseau hydronique distribuant de la chaleur dans chaque pièce. La climatisation peut être ajoutée par le locataire en utilisant des appareils muraux. Les fenêtres et les portes menant aux balcons sont d'origine, laissant pénétrer beaucoup d'air.



**SOMMAIRE EXÉCUTIF (SUITE)****Étude d'infiltrométrie**

L'étude d'infiltrométrie démontre que les deux édifices laissent pénétrer une grande quantité d'air extérieur, dépassant largement les valeurs suggérées par l'IRC (Institut de Recherche en Construction).

**TABLEAU RÉSUMÉ**

Écart de pression Pa	Perméance (L/s -m <sup>2</sup> )		
	Bâtiment # 1	Bâtiment # 2	Valeur IRC
25	1,34	2,79	0,05
50	2,20	4,58	0,10
75	3,01	6,12	0,15

Le rapport suggère quelques modifications pour réduire ce taux d'infiltration, au bâtiment # 1, il suffit d'obstruer les ouvertures autour du raccordement électrique des plaintes chauffantes, le mur et les fenêtres étant assez étanches. Au bâtiment # 2, ce sont les portes et les fenêtres qui doivent être remplacées car après 30 ans, les joints ne sont plus étanches.

## SOMMAIRE EXÉCUTIF (SUITE)

### **Analyse préliminaire**

L'analyse préliminaire permet de visiter toutes les pièces techniques et quelques logements dans chaque bâtiment. Cette visite a permis d'identifier les endroits à plus grande risque afin de procéder à des analyses plus poussées. On a aussi noté des anomalies pouvant affecter le confort et le bien-être des occupants. Au bâtiment # 1, où plusieurs condos étaient en phase d'aménagement, on a pu déceler des odeurs de peinture, de colle d'où des volatiles organiques dans l'air; à l'appentis, il y avait une odeur d'essence et le ventilateur d'alimentation des corridors était équipé de filtre trop petit pour l'ouverture. Au bâtiment # 2, c'est la prise d'air frais extérieur qui semblait en faute car elle était trop près du sol et aussi l'entreposage des ordures ménagères.

Le questionnaire administré aux locataires et aux propriétaires de condos n'a pas permis de déceler d'autres problèmes, tous semblaient satisfaits des conditions de confort de leurs logements.

### **Analyse des polluants**

Aux endroits critiques identifiés lors de l'analyse préliminaire, plusieurs mesures ont été effectuées afin de connaître la concentration de divers polluants: monoxyde de carbone, formaldéhyde, ozone, dioxyde d'azote, oxyde nitrique, toluène, xylène et gazoline. Pour tous ces polluants, sauf le monoxyde de carbone, les valeurs étaient inférieures au niveau détectable de l'appareil.

## SOMMAIRE EXÉCUTIF (SUITE)

Quant au monoxyde de carbone, les valeurs mesurées étaient bien inférieures au niveau acceptable. Malgré ces nombreuses mesures, aucune accumulation significative n'a pu être décelée, ceci s'explique du fait de la très grande infiltration enregistrée à l'analyse d'infiltrométrie, l'air extérieur dilue les polluants rapidement et à un niveau imperceptible.

Cette dernière affirmation a pu être validée par les mesures de CO<sub>2</sub> qui ont été effectuées, les taux de CO<sub>2</sub> enregistrés sont presque identiques à ceux de l'extérieur.

L'analyse microbienne révèle les mêmes résultats, les concentrations des bactéries et des moisissures sont faibles et ne présentent pas de problème pour la santé. La plus grande concentration s'est retrouvée dans l'air extérieur. Par contre, deux anomalies ont été décelées, au bâtiment # 1, la présence, dans le logement témoin, de deux espèces de Pennicillium qui ne sont pas présentes dans l'air extérieur, a été attribuée au mauvais entretien de l'appareil de climatisation; au bâtiment #2, c'est la présence de Fusarium dans la salle de lavage qui peut constituer, s'il continue à s'amplifier, un problème.

## **SOMMAIRE EXÉCUTIF (SUITE)**

### **Conclusion**

L'analyse que nous avons réalisée dans ces deux tours à logements montre que l'ensemble des occupants sont très satisfaits des conditions de confort et n'éprouvent pas de problème relié à la qualité d'air intérieur de leur logement. Il faut bien dire que ces deux édifices étaient très bien entretenus, les résultats auraient sûrement pu être différents si l'étude avait porté sur des bâtiments de moindre qualité, moins bien entretenus.

Nous croyons néanmoins que les résultats de cette analyse peuvent être généralisés pour l'ensemble du parc immobilier sauf pour une petite tranche que l'on appelle souvent les taudis.



## **EXECUTIVE SUMMARY**

The mandate consists in analyzing air renewal, the movement of air and the concentration of pollutants in the two high rise apartments in Montreal, in order to determine the comfort level of the occupants and to detect the presence of problems associated with the inside quality of air if need be. This study was carried out along three main lines: an infiltrometry study, a preliminary analysis by an expert in building mechanics and an analysis of the chemical and microbic pollutants.

Building #1 is very recent having been completed in the year 1991, it is divided into condominiums. It is heated by electricity with the help of baseboards under each window and each condominium has its own internal air conditioning unit with distribution conduits into the rooms. The windows are of very good quality and particular attention has been given to seal the outlets on the outside walls. In contrast, Building #2 was built 30 years ago, it is heated with the help of two fuel-burning boilers with a hydronic system distributing heat in each room. The air conditioning may be added by the tenant by using wall apparatus. The windows and the doors leading to the balcony are the original ones allowing much air to penetrate.

## Infiltrometry Study

The Infiltrometry study demonstrates that the two buildings allow a great quantity of outside air to penetrate, largely exceeding the values suggested by the Institut de Recherche en Construction - IRC (The Research in Construction Institute).

### SUMMARY TABLE

Spread of PA Pressure	Permeability (L/s -m <sup>2</sup> )		
	Building #1	Building #2	IRC Value
25	1.34	2.79	0.05
50	2.20	4.58	0.10
75	3.01	6.12	0.15

The report suggests a few modifications to reduce this infiltration rate in Building #1, it is sufficient to block the openings around the electrical connection of the plinthes, the wall and the windows being damp proof enough. In Building #2, it is the doors and windows that must be replaced since after 30 years the joints are no longer damp proof.

### **Preliminary Analysis**

The preliminary analysis makes it possible to visit all the technical rooms and a few housing units in each building. This visit made it possible to identify the spots that are at greater risk in order to proceed with more extensive analysis. We also noted anomalies that can affect the comfort and the well-being of the occupants. In Building #1, where several condominiums were in a phase of development, we were able to detect the odours of paint, glue from where there are organic volatiles in the air; on the lean-to, there was the smell of gas and the food ventilator in the hallways was equipped with too small a filter for the opening. In Building #2, it is the outside fresh air inlet that seemed to be faulty as it was too close to the ground and also the storage of domestic garbage.

The questionnaire administered to the tenants and owners of condos did not make it possible to detect other problems, all seemed satisfied with the comfort conditions of their housing units.

### **Analysis of the Pollutants**

At the critical spots identified when the preliminary analysis was made, several steps were carried out in order to know the concentration of the various pollutants; carbon monoxide, formaldehyde, ozone, nitrogen dioxide, nitric oxide, toluol, xylene and gasoline. For all these pollutants, except for carbon monoxide, the values were lower at the detectable level of the apparatus.



As for carbon monoxide, the values measured were quite lower than the acceptable level. In spite of these numerous measures, no significant accumulation could be detected, this is explained from the fact of the very great infiltration recorded in the infiltrometry analysis, the outside air dilutes the pollutants rapidly at an imperceptible level.

This last affirmation could be validated by the CO<sub>2</sub> measures that were carried out, the rates of CO<sub>2</sub> recorded are almost identical to those of the outside.

The microbic analysis reveals the same results, concentrations of bacteria and mould are weak and present no health problem. The greater concentration was found in the outside air. On the other hand, two anomalies were detected, in Building #1, the presence, in the test housing unit, of two types of Penicillium that are not present in the outside air, was attributed to the bad maintenance of the air conditioning apparatus; in Building #2 it is the presence of Fusarium in the laundry room that may, if it continues to intensify, cause a problem.

## **Conclusion**

The analysis that we carried out in these two high rise apartments shows that all the occupants are very satisfied with the comfort conditions and do not experience problems connected with the inside quality of air in their housing units. It must be said that these two buildings were very well maintained, the results could surely have been different if the study had dealt with buildings of a lesser quality and less well maintained.

We believe nevertheless that the results of this analysis may be generalized for the whole real estate stock except for a small section that we often call the slums.

# CMHC SCHL

**Helping to  
house Canadians**

**Question habitation,  
comptez sur nous**

National Office

Bureau National

700 Montreal Road  
Ottawa, Ontario  
K1A 0P7

700 chemin Montréal  
Ottawa (Ontario)  
K1A 0P7

*Since a limited demand for this research document has been anticipated, only a summary of its contents has been translated.*

*Where there is a significant demand for this report CMHC will proceed with translation.*

*By completing and returning this form you will help to determine demand for this report. Mail the completed form to:*

*The Canadian Housing Information Centre  
Canada Mortgage and Housing Corporation  
700 Montreal Road, room C1-200  
Ottawa, Ontario  
K1A 0P7*

**REPORT TITLE:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

*I would prefer to have this report made available in English.*

**NAME** \_\_\_\_\_

**ADDRESS** \_\_\_\_\_

Street

Apt.

City

Province

Postal Code

**TELEPHONE** ( ) \_\_\_\_\_

1946 • SCHL •  
45  
1997 • CMHC •

TEL: (613) 748-2000

Canada Mortgage and Housing Corporation

Société canadienne d'hypothèques et de logement

Canada

## **1- INTRODUCTION**

Ce mandat fait suite à une demande de la Société canadienne d'hypothèques et de logement d'analyser le renouvellement d'air, le mouvement d'air et les niveaux de pollution dans deux tours d'habitation à Montréal. La Société désire connaître les niveaux de confort et de pollution dans ce type de bâtiment.

La première étape de cette étude consiste à évaluer les échanges d'air, premièrement avec l'extérieur et deuxièmement entre les appartements. Ces derniers mouvements d'air peuvent se faire avec les logements d'un même palier ou entre les appartements de différents paliers. L'infiltration permettra de juger de la quantité d'air extérieur introduite dans le logement avec son incidence sur la qualité de l'air et sur le confort de occupants. Quant aux mouvements d'air inter logements, ils peuvent être une source de problème en cas d'incendie et d'odeur désagréable.

En bref, l'historique des problèmes de qualité d'air intérieur est le suivant: En tout premier lieu, les problèmes sont apparus en milieu industriel à cause des nombreux produits toxiques qui y sont manipulés. Puis, au début des années 80 et plus particulièrement depuis les cinq dernières années, ce sont les tours à bureaux qui ont fait l'objet de critiques en matière de qualité de l'air. Ces problèmes sont souvent causés par un système de ventilation déficient ou par un manque d'entretien. Bien d'autres raisons sont aussi évoquées pour expliquer la mauvaise qualité de l'air intérieur des édifices scellés comme l'application de certaines mesures d'économies d'énergie.



## **1- INTRODUCTION (SUIITE)**

À ce jour, les édifices à logements semblent avoir été épargnés, tout au moins ils ne font pas la manchette de journaux. Les dirigeants de la Société canadienne d'hypothèques et de logement ont voulu en savoir un peu plus afin de prévenir les problèmes, si problème il y en a. Bien sûr, les édifices à logements laissent habituellement passer beaucoup d'air par infiltration et cette infiltration les protège en diluant les polluants produits à l'intérieur.

Ce rapport envisage le problème sous trois angles distincts, une étude d'infiltrométrie, un relevé dans l'édifice où certains problèmes ont été notés et une analyse des polluants chimiques et microbiens.

## 2- DESCRIPTION DES BÂTIMENTS

Le mandat original spécifiait que nous devions traiter deux bâtiments ayant des âges et des systèmes de chauffage différents. Les deux bâtiments répondent à ces deux critères. Le bâtiment # 1 a été construit en 1991 et est chauffé à l'électricité, par contre le bâtiment # 2 a été construit en 1960 et est chauffé par des bouilloires à combustible.

### 2.1 Bâtiment # 1

Le bâtiment # 1 est constitué d'un ensemble d'immeubles à logements, notre étude a porté sur l'un de ces bâtiments. Il est très récent, sa construction s'étant terminée au début 91, présentement les condos ne sont pas tous occupés. Les tests d'infiltrométrie ont été effectués au logement no 1104, alors que l'enquête a été réalisé dans un condo occupé au numéro 505.

Le bâtiment # 1 se compose de 15 étages; le sous-sol est utilisé comme stationnement, celui-ci se prolonge sous tous les immeubles, on y retrouve aussi les locaux de services: salle de vidange, salle électrique, salle mécanique et entreposage. Le rez-de-chaussée comprend un hall d'entrée important, une piscine, une salle de musculation et quelques appartements, les autres étages sont peuplés de condos. Enfin, à l'appentis, l'on retrouve une génératrice d'urgence et sur le toit, les systèmes d'alimentation d'air et d'extraction.

## 2- DESCRIPTION DES BÂTIMENTS (SUITE)

L'annexe 1 montre plusieurs photos de cet édifice.

L'enveloppe du bâtiment est construite d'un parement de briques supporté à chaque plancher par une cornière d'acier et d'un mur de fond à ossature d'acier. Les fenêtres d'aluminium avec coupure thermique sont du type fixe ou du type ouvrant à la française (ouv. intérieure) (annexe 1 Réf. B,1). La hauteur de toutes les fenêtres est de 1,59 m (62,5 po.). L'étanchéité entre le dormant des fenêtres et le placoplâtre intérieur est assurée par un scellant du type latex. Le périmètre de toutes les prises de courant situées dans les murs exposés est obstrué avec de la mousse d'uréthane (Zitco) (annexe 1, Réf. C,4).

Le bâtiment possède quelques systèmes de ventilation: un premier sert à l'évacuation des gaz du garage (annexe 1, Réf. D,1) et il est régi par plusieurs détecteurs de CO. La piscine possède son propre système de ventilation qui est régi par un humidistat. Les corridors sont pressurisés à l'aide d'un système central localisé au toit, il est en opération constante. Plusieurs évacuateurs de toilette et de hottes de cuisine sont aussi localisés au toit (annexe 1, Réf. D,4), ils desservent chacun une colonne d'appartements, ils sont tous en marche continue. Enfin, deux systèmes de ventilation servent à la pressurisation des escaliers en cas de feu.

Le chauffage est assuré par de plinthes électriques dans les appartements et des aérothermes dans les locaux techniques. La climatisation est assurée par des unités indépendantes refroidies à l'eau dans chaque appartement.

## 2- DESCRIPTION DES BÂTIMENTS (SUITE)

### 2.2 Bâtiment # 2

Le bâtiment # 2 date de 1960. Présentement, tous les logements sont occupés, les tests d'infiltrométrie et de qualité de l'air ont été effectués à l'appartement 402.

L'annexe 2 présente quelques photos de cet édifice.

Le bâtiment est complètement construit en brique, il possède quatre étages de logements, un penthouse occupé par le logement du propriétaire et un sous-sol où l'on retrouve le stationnement, la chaufferie et quelques locaux techniques.

L'enveloppe du bâtiment est construite d'un parement de briques continu supporté par la fondation (sans chantepleur) et d'un mur de fond en maçonnerie. Le cadre et les ouvrants des fenêtres sont en acier peint. Les fenêtres d'origine sont du type fixe et du type à guillotine (annexe 2, Réf. C,2).

La ventilation du garage est régie par une sonde de CO (annexe 2, Réf. D,4), celle des corridors est centrale, l'air est seulement chauffé et elle opère en permanence. L'évacuation des hottes de cuisine se fait directement vers l'extérieur et sa mise en marche est contrôlée par l'occupant, il en va de même des évacuateurs de chambres de bain.





## **2- DESCRIPTION DES BÂTIMENTS (SUITE)**

Le chauffage est assuré par deux bouilloires à combustible reliées à un réseau hydronique circulant dans chaque pièce périphérique. Les radiateurs sont munis de thermostats pour assurer les conditions de confort. La climatisation doit être installée par le locataire dans des orifices prévus à cet effet (annexe 2, Réf. D,1).

### 3- ÉTUDE D'INFILTROMÉTRIE

Cette partie de l'étude a été confiée à M. Armand Patenaude de la firme Air-Ins Inc.

#### 3.1 Présentation des résultats

Les principaux résultats obtenus font l'objet du tableau 1. Comme on peut le constater, le taux d'infiltration d'air à travers les murs extérieurs pour un différentiel de pression de 75 Pa est de beaucoup supérieur aux taux préconisés par l'Institut de Recherche en Construction (IRC). Néanmoins, la perméance des murs extérieurs de ces deux logements pourrait être réduite au tiers de la valeur mesurée en effectuant les correctifs qui sont proposés plus loin.

**TABLEAU 1: TAUX D'INFILTRATION D'AIR UNITAIRE À TRAVERS LES MURS EXTÉRIEURS**

BÂTIMENT	ÂGE	LOGEMENT	TAUX D'INFILTRATION D'AIR (L/s-m <sup>2</sup> )
Bâtiment # 1	1991	1 104	3,01
Bâtiment # 2	1960	302	6,12

### 3- ÉTUDE D'INFILTROMÉTRIE (SUTTE)

#### 3.2 Principe d'infiltrométrie

La technique de pressurisation/dépressurisation consiste à utiliser un ventilateur, dans le but de générer un différentiel de pression entre l'intérieur et l'extérieur d'un bâtiment.

Ce différentiel de pression a pour effet de provoquer des fuites d'air dans les différentes ouvertures (portes, fenêtres, lisse basse, commutateurs, prises de courant, etc.).

La figure 1 de l'annexe 3 montre l'utilisation d'un ventilateur d'extraction, lequel a pour fonction de dépressuriser le local à l'étude, ( $p_{\text{ext.}} > p_{\text{int.}}$ ). Cette dépression aura pour effet de provoquer l'infiltration d'air dans les ouvertures. Le différentiel de pression est contrôlé en variant la vitesse de rotation du moteur ou en introduisant une obstruction dont l'ouverture est variable (volet). Les fissures ou surfaces où il y a infiltration d'air peuvent être localisées qualitativement en utilisant un ou plusieurs des artifices suivants: revers de la main, jet de fumée, thermographie infrarouge.

### 3- ÉTUDE D'INFILTROMÉTRIE (SUITE)

La figure 2 de cette même annexe 3 montre l'utilisation d'un même ventilateur dont on a inversé le sens de rotation, de sorte que maintenant celui-ci a pour fonction de pressuriser le local à l'étude ( $p_{int.} > p_{ext.}$ ). Cette pressurisation aura pour effet de provoquer l'exfiltration d'air par les ouvertures. Le différentiel de pression est contrôlé de la même façon que le cas précédent. Ce mode d'opération ne permet pas de localiser les fissures ou surface où il y a écoulement d'air.

#### 3.3 Description de l'infiltromètre

La figure 2 de l'annexe 4 montre les composantes du système. Ce concept utilise:

- Un ventilateur actionné par un moteur à vitesse variable. Le sens de rotation du ventilateur peut être inversé;
- Un tachymètre permettant de mesurer la vitesse de rotation du ventilateur;
- Un manomètre différentiel pour mesurer le différentiel de pression entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment.

### 3- ÉTUDE D'INFILTROMÉTRIE (SUITE)

Le ventilateur est fixé sur un panneau, lequel est localisé sur le seuil d'une porte et entre les jambages de celle-ci. La largeur du panneau s'ajuste à celle de l'ouverture considérée. La partie supérieure est obstruée par d'autres panneaux ajustables.

Le taux d'infiltration est déterminé en utilisant les courbes caractéristiques du ventilateur ainsi que les mesures effectuées du différentiel de pression ( $\Delta P$ ) et de la vitesse de rotation (RPM) du ventilateur. Les courbes caractéristiques du ventilateur sont obtenues au préalable en laboratoire. Ces courbes caractéristiques sont montrées aux annexes 28 (caractéristiques en dépressurisation) et 29 (caractéristiques en pressurisation). La calibration de l'infiltromètre est conforme aux exigences de la norme CAN2-149.10-M85.

#### 3.4 Procédure d'essai pour un bâtiment

La procédure d'essai consiste à maintenir un différentiel de pression entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment ( $\Delta P$ ) pour mesurer le taux d'infiltration d'air ( $V_{AIR}$ ) avec l'aide des courbes caractéristiques du ventilateur (RPM &  $\Delta P$ ). Lorsque les résultats expérimentaux sont présentés sur du papier graphique "log-log" (figure 2 de l'annexe 4), on obtient une droite.

### 3- ÉTUDE D'INFILTROMÉTRIE (SUITE)

C'est donc dire que la relation entre le taux d'infiltration d'air ( $V_{AIR}$ ) et le différentiel de pression ( $\Delta P$ ) entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment est de la forme:

$$V_{AIR} = a (\Delta P)^n$$

où:

$V_{AIR}$  = Débit volumétrique d'air.

$\Delta P$  = Écart de pression entre l'intérieur et l'extérieur.

$a$  = Constante qui dépend de la surface et du type d'ouverture.

$n$  = Constante qui dépend du type d'écoulement.

$$0,5 < n < 1$$

Pour une description détaillée de la procédure expérimentale, le lecteur est prié de consulter la norme canadienne de référence CAN2-149.10-M85.

### 3- ÉTUDE D'INFILTROMÉTRIE (SUIITE)

#### 3.5 Procédure d'essai utilisée dans les bâtiments impliquant plusieurs logements

La procédure d'essai, décrite à l'article précédent, ne prévoit pas qu'il puisse y avoir des logements adjacents au logement à l'étude (voir annexe 5). Ceci implique donc que toute infiltration d'air provenant des logements adjacents est comptabilisée comme étant une fuite inadmissible au même titre que l'air en provenance de l'extérieur.

Dans le but de minimiser le nombre de ventilateurs d'appoints requis, nous avons procédé à l'étanchéification du mur intérieur en contact avec le corridor. Ensuite, pour quantifier l'importance des fuites d'air en provenance des logements adjacents et de l'extérieur du bâtiment par rapport au logement à l'étude, nous avons répété l'essai d'infiltrométrie à trois différentiels de pression (25 Pa, 50 Pa et 75 Pa) en s'assurant pour chaque différentiel de pression qu'un ou plusieurs des logements adjacents soient à la même pression que celle du logement à l'étude. Le tableau 2 de la page suivante donne la séquence des essais et une description sommaire des opérations associées à chacun des essais.

Pour un différentiel de pression donné, le calcul des fuites d'air à travers les murs intérieurs, les planchers et par la façade exposée, peut être réalisé par une simple soustraction des débits mesurés.

### 3- ÉTUDE D'INFILTROMÉTRIE (SUITE)

TABLEAU 2 : SÉQUENCE DES ESSAIS

ESSAI NO	DESCRIPTION DES PRÉPARATIFS	CARACTÉRISTIQUE ÉVALUÉE
1	Les fenêtres des logements 1-2-3-4 sont ouvertes d'où: $P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = P_{EXT}$	Somme des fuites par les murs intérieurs (1-2), les planchers (3-4), et par la façade exposée $\dot{V}_{AIR1}$
2	Les fenêtres du logement 1 sont fermées et un ventilateur d'extraction installé dans la porte d'entrée du logement 1 maintient: $\Delta P_{1-0} = 0$ Les fenêtres des logements 2-3-4 sont ouvertes, d'où: $P_2 = P_3 = P_4 = P_{EXT}$	Somme des fuites par le mur intérieur (2), les planchers (3-4), et par la façade exposée $\dot{V}_{AIR2}$
3	Les fenêtres des logements 1 et 2 sont fermées alors que des ventilateurs d'extraction installés dans la porte d'entrée des logements 1 et 2 maintiennent: $\Delta P_{1-0} = \Delta P_{2-0} = 0$ Les fenêtres des logements 3-4 sont ouvertes, d'où: $P_3 = P_4 = P_{EXT}$	Somme des fuites par les planchers (3-4), et par la façade exposée $\dot{V}_{AIR3}$
4	Les fenêtres des logements 1, 2 et 3 sont fermées alors que des ventilateurs d'extraction installés dans la porte d'entrée des logements 1, 2 et 3 maintiennent: $\Delta P_{1-0} = \Delta P_{2-0} = \Delta P_{3-0} = 0$ Les fenêtres du logement 4 sont ouvertes, d'où: $P_4 = P_{EXT}$	Somme des fuites par le plancher (4), et par la façade exposée $\dot{V}_{AIR4}$
5	Les fenêtres des logements 1, 2, 3 et 4 sont fermées alors que des ventilateurs d'extraction installés dans la porte d'entrée des logements 1, 2 et 3 maintiennent: $\Delta P_{1-0} = \Delta P_{2-0} = \Delta P_{3-0} = \Delta P_{4-0} = 0$ Toutes les fenêtres sont fermées.	Fuites par la façade exposée $\dot{V}_{AIR5}$

La numérotation des surfaces est décrite à l'annexe 5.



### 3- ÉTUDE D'INFILTROMÉTRIE (SUTTE)

Le tableau 3 donne la fuite d'air par chacune des composantes visées. Le taux d'infiltration d'air par unité de surface de la composante à l'étude est déterminé en divisant les valeurs du tableau 3 par la surface de cette même composante. La surface de chaque composante est définie par les dimensions de centre à centre de la composante à l'étude.

**TABLEAU 3: FUITES D'AIR D'AIR À TRAVERS LES MURS INTÉRIEURS, LES PLANCHERS ET PAR LA FAÇADE EXTÉRIEURE**

COMPOSANTE	ÉVALUATION DE LA FUTE D'AIR
Façade extérieure	$\dot{V}_{AIR5}$
Plancher de l'étage (4)	$\dot{V}_{AIR4} - \dot{V}_{AIR5}$
Plancher de l'étage supérieur (3)	$\dot{V}_{AIR3} - \dot{V}_{AIR4}$
Mur intérieur (2)	$\dot{V}_{AIR2} - \dot{V}_{AIR3}$
Mur intérieur (1)	$\dot{V}_{AIR1} - \dot{V}_{AIR2}$

### 3- ÉTUDE D'INFILTROMÉTRIE (SUITE)

#### 3.6 Résultats

##### 3.6.1 Bâtiment # 1

Les tableaux 4 et 5 donnent respectivement les taux d'infiltration d'air global et par unité de surface à travers les parois mitoyennes et par le mur exposé du logement 1104 en fonction de l'écart de pression (25, 50 et 75 Pa).

**TABLEAU 4: TAUX D'INFILTRATION D'AIR À TRAVERS  
CHAQUE PAROI**

MUR OU PLANCHER À L'ÉTUDE	TAUX D'INFILTRATION D'AIR (pi <sup>3</sup> /min) - (L/s)					
	DIFFÉRENTIEL DE PRESSION (Pa)					
	25		50		75	
	pi <sup>3</sup> /min	L/s	pi <sup>3</sup> /min	L/s	pi <sup>3</sup> /min	L/s
Mur mitoyen 1	23	10,8	43	20	60	28,3
Mur mitoyen 2	21	9,9	41	19	60	28,3
Plancher 3	75	35,4	115	54,3	150	70,8
Plancher 4	115	54,3	180	85	230	108
Mur extérieur	145	68,5	245	115	330	155

### 3- ÉTUDE D'INFILTROMÉTRIE (SUITE)

**TABLEAU 5: TAUX D'INFILTRATION D'AIR PAR UNITÉ DE SURFACE À TRAVERS CHAQUE PAROI**

MUR OU PLANCHER À L'ÉTUDE	TAUX D'INFILTRATION D'AIR (L/s-m <sup>2</sup> )		
	DIFFÉRENTIEL DE PRESSION (Pa)		
	25	50	75
Mur mitoyen 1	0,33	0,62	0,876
Mur mitoyen 2	0,39	0,76	1,13
Plancher 3	0,30	0,46	0,60
Plancher 4	0,46	0,72	0,91
Mur extérieur	1,91	3,20	4,32

L'expression mathématique  $Q = a (\Delta P)^n$  pour chaque paroi à l'étude prend la forme indiquée au tableau 6.

**TABLEAU 6: EXPRESSION  $Q = a (\Delta P)^n$**

MUR OU PLANCHER À L'ÉTUDE	EXPRESSION
Mur mitoyen 1	$Q = 0,01882 (\Delta P)^{0,891}$
Mur mitoyen 2	$Q = 0,01729 (\Delta P)^{0,968}$
Plancher 3	$Q = 0,03947 (\Delta P)^{0,629}$
Plancher 4	$Q = 0,06204 (\Delta P)^{0,624}$
Mur extérieur	$Q = 0,17474 (\Delta P)^{0,743}$

\* Q (L/s-m<sup>2</sup>) et ΔP (Pa)

### 3- ÉTUDE D'INFILTROMÉTRIE (SUIVE)

#### 3.6.2 Bâtiment # 2

Les tableaux 7 et 8 donnent respectivement les taux d'infiltration d'air global et par unité de surface à travers les parois mitoyennes et par le mur exposé du logement # 402 en fonction de l'écart de pression (25, 50 et 75 Pa).

**TABLEAU 7: TAUX D'INFILTRATION D'AIR À TRAVERS  
CHAQUE PAROI**

MUR OU PLANCHER À L'ÉTUDE	TAUX D'INFILTRATION D'AIR (pi <sup>3</sup> /min) - (L/s)					
	DIFFÉRENTIEL DE PRESSION (Pa)					
	25		50		75	
	pi <sup>3</sup> /min	L/s	pi <sup>3</sup> /min	L/s	pi <sup>3</sup> /min	L/s
Mur mitoyen 1	25	11,8	43	20	60	28,3
Mur mitoyen 2	21	9,9	36	17	50	23,6
Plancher 4	39	18,4	71	33,5	100	47,2
Mur + toit extérieur	145	68,5	245	115	330	155

### 3- ÉTUDE D'INFILTROMÉTRIE (SUITE)

**TABLEAU 8: TAUX D'INFILTRATION D'AIR PAR UNITÉ DE SURFACE À TRAVERS CHAQUE PAROI**

MUR OU PLANCHER À L'ÉTUDE	TAUX D'INFILTRATION D'AIR (L/s-m <sup>2</sup> )		
	DIFFÉRENTIEL DE PRESSION (Pa)		
	25	50	75
Mur mitoyen 1	0,70	1,19	1,69
Mur mitoyen 2	0,53	0,91	1,27
Plancher 4	0,18	0,34	0,47
Mur extérieur	0,94	1,54	2,06

L'expression mathématique  $Q = a (\Delta P)^n$  pour chaque paroi à l'étude prend la forme indiquée au tableau 9.

**TABLEAU 9: EXPRESSION  $Q = a (\Delta P)^n$**

MUR OU PLANCHER À L'ÉTUDE	EXPRESSION
Mur mitoyen 1	$Q = 0,05326 (\Delta P)^{0,798}$
Mur mitoyen 2	$Q = 0,04107 (\Delta P)^{0,794}$
Plancher 4	$Q = 0,01073 (\Delta P)^{0,878}$
Mur + toit extérieur	$Q = 0,09439 (\Delta P)^{0,714}$

\* Q (L/s-m<sup>2</sup>) et ΔP (Pa)

### 3- ÉTUDE D'INFILTROMÉTRIE (SUITE)

#### 3.7 Analyse des résultats

##### 3.7.1 Bâtiment # 1

- *Identification des principaux points de fuites d'air à travers le mur extérieur*

Les seules fuites d'air sont localisées aux raccordements électriques des plinthes chauffantes à six emplacements spécifiques.

Un essai d'infiltration d'air a été réalisé sur une fenêtre composée (dinette) selon la norme ASTM E-283 à un différentiel de pression de 75 Pa. L'échantillon testé comportait une fenêtre fixe, une fenêtre ouvrant à la française ainsi que la liaison périmétrique entre le dormant et le placoplâtre. Le taux d'infiltration d'air total mesuré est de 1,2 pi<sup>3</sup>/min (0,56 L/s) pour un échantillon de 48" (largeur) x 62" (hauteur), d'où un taux d'infiltration d'air unitaire de 0,06 pi<sup>3</sup>/min-pi<sup>2</sup> (0,28 L/s-m<sup>2</sup>). L'étanchéité des fenêtres et des liaisons du dormant de celles-ci avec le placoplâtre est donc excellente.

Le périmètre des prises de courant situées dans le mur exposé à été injecté avec de la mousse à cellules fermées (annexe 1, Réf. C,4). Aucune fuite d'air n'a donc pu être identifiée autour de ces prises de courant.

### 3- ÉTUDE D'INFILTROMÉTRIE (SUIITE)

#### 3.7.1 Bâtiment # 1 (suite)

- ***Fuites d'air parasites***

Après avoir équilibré les pressions de tous les logements adjacents par rapport au logement à l'essai (# 1104), nous avons observé qu'il y avait persistance de fuites d'air parasites en provenance des colonnes de services. Tel qu'illustré à l'annexe 6, ces fuites d'air doivent provenir du manque d'étanchéité des joints de transition dans la ou les conduites d'air et/ou de la liaison entre ces conduites et la dalle de béton. Selon le contracteur, la liaison conduite versus dalle de béton est assurée par un remplissage de matériau fibreux sur lequel on dépose un scellant (fire-stop).

Bien que nous n'ayons pas mesuré ces fuites d'air parasites, nous estimons quelles sont de l'ordre de 100 pi<sup>3</sup>/min (47 L/s) pour un écart de pression égal à 75 Pa. Ceci implique que l'infiltration d'air à travers le mur extérieur est de beaucoup inférieure aux valeurs indiquées au tableau 4.

- ***Taux d'infiltration d'air à travers le mur extérieur extérieur***

Le protocole de mesure des fuites d'air à travers le mur extérieur ne tient pas compte des fuites d'air parasites identifiées à l'article précédent. Ces fuites d'air parasites sont importantes à considérer si l'on veut permettre une évaluation plus précise de l'infiltration d'air à travers le mur extérieur.

### 3- ÉTUDE D'INFILTROMÉTRIE (SUIITE)

En soustrayant les fuites d'air parasites des résultats indiqués au tableau 4, lesquelles sont équivalentes approximativement au tiers des valeurs mesurées, le taux d'infiltration d'air unitaire à travers le mur extérieur en fonction de l'écart de pression serait de:

3,01 L/s-m <sup>2</sup>	@ 75 Pa
2,2 L/s-m <sup>2</sup>	@ 50 Pa
1,34 L/s-m <sup>2</sup>	@ 25 Pa

#### 3.7.2 Bâtiment # 2

- ***Identification des principaux points de fuites d'air à travers le mur extérieur***

Par ordre décroissant d'importance, les principaux points de fuites d'air sont: la porte d'accès au balcon (vivoir), les fenêtres à guillotine, les prises de courant et finalement le pourtour du climatiseur mural (chambre 1). Fait à noter, toutes les ouvertures sont d'origine (30 ans).

- ***Taux d'infiltration d'air unitaire***

Les valeurs mesurées sont rapportées par unité de surface de l'ensemble mur + toit. Sachant que le toit est une dalle de béton continu, les fuites d'air à travers cette surface sont considérées nulles. Le taux d'infiltration d'air unitaire (L/s-m<sup>2</sup>) à travers le mur extérieur devient donc 2,97 fois celui indiqué au tableau 8.



**3- ÉTUDE D'INFILTROMÉTRIE (SUITE)****3.8 Conclusions**

Le tableau 10 donne les taux d'infiltration d'air unitaire à travers les murs extérieurs en fonction du différentiel de pression statique.

**TABLEAU 10: PERMÉANCE DU MUR EXPOSÉ**

ÉCART DE PRESSION Pa	PERMÉANCE (L/s-m <sup>2</sup> )	
	Bâtiment # 1	Bâtiment # 2
25	1,34	2,79
50	2,2	4,58
75	3,01	6,12

Les valeurs indiquées au tableau 10 sont beaucoup plus élevées que les valeurs suggérées par l'IRC (0,05, 0,1 et 0,15 L/s-m<sup>2</sup> @ P = 75 Pa). Toutefois, dans l'éventualité où il y aurait correction des fuites d'air près du raccordement électrique des plinthes chauffantes (Bâtiment # 1), la perméance du mur extérieur pourrait être réduite à 1/3 de la valeur mesurée, soit à 1 L/s-m<sup>2</sup>. Dans le cas du bâtiment # 2, le remplacement de la porte d'accès au balcon et des fenêtres pourrait réduire la perméance du mur extérieur à approximativement 2 L/s-m<sup>2</sup>.

### 3- ÉTUDE D'INFILTROMÉTRIE (SUITTE)

#### 3.8.1 Protocole de mesure des fuites d'air

Le protocole de mesure des fuites d'air dans les tours d'habitations ne permet pas de quantifier les fuites d'air parasites en provenance des colonnes de services pour la plomberie et l'évacuation d'air. Étant donné que ces fuites peuvent être importantes, le calcul de l'infiltration d'air par l'enveloppe devient inexact.



#### 4- PROBLÈME DE QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR - ÉVALUATION PRÉLIMINAIRE

D'après le guide, que la Société nous a remis intitulé:

"Indoor Air Quality Test Protocol for High-Rise Residential Building"

produit par Buchan, Lawton, Parent Ltd., l'analyse des problèmes de qualité de l'air intérieur en milieu résidentiel doit se faire en trois étapes:

- Évaluation préliminaire;
- Mesures simples;
- Mesures complexes.

La présente section se concentre uniquement sur la première étape, les autres étant traitées un plus plus loin.

L'évaluation préliminaire consiste en une visite des lieux afin d'évaluer les problèmes potentiels et les plaintes des occupants. Essentiellement, il s'agit d'utiliser son sens de l'observation afin d'identifier les sources probables.

#### 4- PROBLÈME DE QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR - ÉVALUATION PRÉLIMINAIRE (SUTTE)

##### 4.1 Questionnaire d'évaluation

La visite des lieux a été effectuée le 20 août 1991. L'annexe 7 présente les résultats de l'enquête au bâtiment # 1 et l'annexe 8, les résultats du bâtiment # 2.

##### 4.2 Résultat de l'évaluation préliminaire

###### 4.2.1 Résultat au bâtiment # 1

Suite à cette évaluation préliminaire, qui amène le releveur dans toutes les pièces techniques et dans un appartement déjà occupé, il a rédigé ses observations.

- Le bâtiment est neuf, et lors de cette visite, plusieurs logements sont en phase d'aménagement, il y a de fortes odeurs de peinture, de colle et de la poussière. Nous proposons de mesurer les volatiles organiques dans l'air car leurs concentrations doivent être très élevées.

#### 4- PROBLÈME DE QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR - ÉVALUATION PRÉLIMINAIRE (SUITE)

- Lors de notre visite, les filtres du système de pressurisation des corridors étaient de dimension inférieure à l'ouverture, laissant passer une grande partie de l'air sans filtration. Note: le filtre a été changé dans les jours qui ont suivi.
- Notre visite a coïncidé avec la mise à l'essai hebdomadaire de la génératrice d'urgence. Deux heures après cet essai, il se dégagait encore une très forte odeur d'essence. La ventilation de cette pièce est insuffisante. L'odeur pourrait peut-être se transmettre aux condos adjacents, nous proposons de faire une lecture.
- La porte donnant accès au toit a été remplacée par une porte avec persienne. La porte est très lourde et extrêmement difficile à ouvrir. Nous croyons que cet inconvénient pourrait restreindre l'entretien des appareils localisés sur le toit: ventilateur d'alimentation et évacuateurs. Aujourd'hui, tout est neuf et les appareils sont en bon état, mais dans quelques années en sera-t-il de même ?
- Le garage est très propre et bien éclairé et la ventilation est réglée à l'aide de plusieurs sondes de monoxyde de carbone. Nous devrions prendre un test de CO pour nous en assurer. Puisque le stationnement excède les dimensions de l'édifice à logements et que l'évacuation est située beaucoup plus loin, nous doutons que des gaz proviennent jusqu'aux logements (annexe 1, Ref. D,1).

#### 4 PROBLÈME DE QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR - ÉVALUATION PRÉLIMINAIRE (SUITE)

- L'entreposage des vidanges se fait dans un compacteur, la pièce est propre mais nous devons y mesurer les bactéries et les moisissures (annexe 1 Réf. C,1).
- La piscine est très humide et devrait être propice à la prolifération des micro-organismes, nous suggérons d'y faire des prélèvements.
- L'appartement que nous avons visité est très propre et ne devrait pas présenter de problème particulier quant à la présence de micro-organismes. Toutefois, nous suggérons d'y faire un prélèvement car la climatisation est assurée par un appareil indépendant qui ne doit pas être très bien entretenu.

#### 4.2.2 Résultats au Bâtiment # 2

Les paragraphes suivants présentent les commentaires du releveur suite à l'enquête préliminaire:

- L'évacuation de l'air du stationnement se fait sous un balcon. La très faible capacité du garage d'où la faible circulation peut ne pas occasionner de contamination du logement situé tout près, nous suggérons tout de même de faire une lecture de CO à cet endroit.

#### 4 PROBLÈME DE QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR - ÉVALUATION PRÉLIMINAIRE (SUITE)

- La prise d'air frais du système de pressurisation des corridors est située tout près du sol (annexe 2, Réf. D,2), de plus l'air n'y est pas filtré, nous croyons qu'il pourrait y avoir une plus grande concentration de poussière et de micro-organismes distribués dans le corridor. Nous proposons de prendre des échantillons pour mesurer les bactéries et les moisissures à l'extérieur et dans les corridors et de les comparer. La prise d'air devrait être relevée car elle doit même s'obstruer avec la neige.
  
- Les ordures ménagères des appartements sont jetées dans une chute (ancien incinérateur), elles tombent dans le fond, puis le concierge les enlève en les mettant dans un grand sac à ordures. Le sac reste ouvert jusqu'au moment où il est plein. Le fond de la chute à déchets est situé dans la chaufferie. Nous croyons que l'entreposage et la réception des ordures dans une pièce aussi chaude que la chaufferie peuvent être une source d'odeur ou d'amplification des micro-organismes. Nous proposons d'y prendre des prélèvements afin de déterminer si notre hypothèse est réelle.



#### 4- PROBLÈME DE QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR - ÉVALUATION PRÉLIMINAIRE (SUTTE)

##### 4.3 Commentaire général

La première étape suggérée par le guide, soit l'évaluation préliminaire est excellente, et doit être encouragée car il n'est pas nécessaire d'entreprendre des analyses dispendieuses avant même d'avoir identifié le problème; malheureusement, c'est souvent le cas lorsqu'un problème de qualité d'air se déclare. Un observateur averti avec des connaissances en mécanique du bâtiment et en qualité de l'air intérieur peut déterminer les endroits à problème et limiter les analyses de laboratoire. Dans bien des cas, l'analyse n'est pas vraiment nécessaire car il peut trouver la solution sur le champ.

Au bâtiment # 1, il fallait changer les filtres pour qu'ils s'ajustent à la dimension du cadrage, il faut améliorer la ventilation de la chambre de la génératrice. Au bâtiment # 2, il faut déplacer la prise d'air du système des corridors car elle peut être obstruée par les feuilles et la neige, le sac à ordures ménagères doit être couvert et les sacs de vidange déplacés dans un endroit plus frais.

#### 4- PROBLÈME DE QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR - ÉVALUATION PRÉLIMINAIRE (SUITTE)

##### 4.3.1 Questionnaire aux occupants

Le questionnaire aux occupants est souvent la première et la plus importante source d'information, car nous ne pouvons pas être présents en tout temps sur les lieux. Malheureusement, ce questionnaire est difficile à compléter car les occupants sont souvent absents de leurs logis et lorsqu'ils sont présents, ils sont souvent retissants à répondre à ces questions car ils ne connaissent pas l'implication de leur réponse sur leur loyer ou sur leur relation avec le propriétaire. Les répondants les plus volubiles sont souvent ceux qui sont en guerre ouverte avec le propriétaire et alors tout va mal. Heureusement, nous n'avons pas rencontré ce type de locataire.

Nous croyons aussi que les propriétaires seraient retissants à ce qu'un questionnaire comme celui-ci soit administré à tous les locataires, de peur de réveiller des fantômes qui souvent n'existent pas.

##### 4.3.2 Questionnaire pour les logements

Ce questionnaire permet d'enregistrer les observations d'un releveur dans un appartement. Certaines questions sont toutefois difficiles à compléter:

36- Y a-t-il un réfrigérateur ?

A- Est-ce qu'il y a des éléments avec moisissure ?

B- Est-ce que le drain est obstrué ?

C- Est-ce que le bassin est humide ?

D- Est-ce que les échangeurs sont sales ?

#### 4 PROBLÈME DE QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR - ÉVALUATION PRÉLIMINAIRE (SUITE)

Cette enquête est préliminaire et ne fait pas suite à une plainte de l'occupant, il nous semble donc déplacer de répondre aux questions 36A, 36C et 36D.

Quant à la question 39, elle est également prémature dans une enquête de cette nature.

39- Y a-t-il des fuites à l'évier, toilette, douche ou bain ?

#### 4.4 Résultats

Les questionnaires administrés aux locataires des deux bâtiments n'ont pas permis de déceler de problèmes particuliers quant aux conditions de confort et à la qualité de l'air intérieur. Toutes les conditions étaient satisfaisantes.

## 5- MESURE SIMPLE

Le guide propose comme seconde étape la prise de mesure simple. Dans ce cas, une pompe Gaztec et différents tubes ont été utilisés pour mesurer:

- Monoxyde de carbone, CO
- Formaldehyde, HCHO
- Ozone, O<sub>3</sub>
- Dioxyde d'azote, NO<sub>2</sub>
- Oxyde nitrique, NO
- Toluène, C<sub>6</sub> H<sub>5</sub> CH<sub>3</sub>
- Xylène, C<sub>6</sub> H<sub>5</sub> (CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>
- Gazoline

L'anhydride carbonique CO<sub>2</sub> a été relevé avec un appareil à lecture directe.

Ces mesures ont été effectuées au début septembre 91.

### 5.1 Emplacement

Suite à l'évaluation préliminaire, les sites qui ont fait l'objet de mesure pour ces polluants ont été déterminés.

#### Au bâtiment # 1

- Extérieur (pour fin de comparaison)
- Stationnement (risque plus élevé de contamination)
- Piscine (risque plus élevé de contamination par micro-organismes)
- Appartement 505 (appartement témoin)
- Salle de génératrice (à cause de l'odeur d'essence).

## 5- MESURE SIMPLE (SUITTE)

### Au bâtiment # 2

- Extérieur (pour les mêmes raisons)
- Stationnement (faible ventilation)
- Appartement 402 (appartement témoin)
- Corridor (à cause du problème avec la prise d'air).

### 5.2 Procédure de relevé

Pour mesurer les différentes substances dans l'air de ces espaces, différentes procédures de relevés ont été utilisées:

- Lecture directe du CO<sub>2</sub>;
- Tubes Gastec.

#### 5.2.1 Lecture directe de CO<sub>2</sub>

Pour les lectures de CO<sub>2</sub>, un appareil à lecture directe de marque ADC est utilisé. Les caractéristiques de l'appareil ont été placées à l'annexe 9.

La procédure est simple, l'appareil a été calibré avec un gaz à teneur certifié de CO<sub>2</sub> au mois de mai dernier par notre technicien. Avant chaque usage, le zéro est ajusté à l'aide d'un appareil qui absorbe 100% du CO<sub>2</sub> dans l'air. Enfin, après une période de rechauffement de trois minutes, les lectures peuvent être effectuées.

## 5- MESURE SIMPLE (SUIITE)

### 5.2.2 Tubes Gastec

Pour les autres gaz, c'est une pompe de marque Gastec et un tube approprié à chaque gaz qui est utilisé. La procédure énoncée par le manufacturier quant au nombre de coups de pompe et au temps d'attente entre chaque coup a été suivie.

L'annexe 10 présente la documentation du manufacturier.

### 5.3 Substance mesurée

#### 5.3.1 Anhydride carbonique CO<sub>2</sub>

L'anhydride carbonique est normalement présent dans l'air extérieur à des concentrations de l'ordre de 380 ppm (parties par million). Il est produit par la respiration humaine ainsi que par les procédés de combustion. En considérant que l'arrivée d'air extérieur diminue les concentrations du CO<sub>2</sub> produit à l'intérieur du bâtiment. Les concentrations de CO<sub>2</sub> sont un indice de l'apport d'air extérieur ainsi que du niveau d'infiltration de cet air dans le bâtiment.

Il y a une relation directe entre la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'air d'un local et la quantité d'air extérieur fournie à chaque personne. L'annexe 11 présente un tableau montrant ces correspondances.

## 5- MESURE SIMPLE (SUIITE)

Le règlement du Québec qui s'applique aux édifices publics mais pas spécifiquement aux logements, indique un maximum de 5 000 ppm de CO<sub>2</sub> sur une période de 8 heures/jour à raison de 5 jours/semaine, et un maximum de 15 000 ppm sur une période de 15 minutes.

La norme ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers) 62-81 qui s'applique aussi aux édifices publics, recommande un niveau maximal de 2 500 ppm, tandis que la version révisée ASHRAE 62-89 propose de réduire ce niveau à 1 000 ppm.

En général, les plaintes d'inconfort diminuent en maintenant un taux de ce gaz, en dessous des 1 000 ppm,. Rappelons que le taux de CO<sub>2</sub> est réduit en augmentant l'apport d'air extérieur au bâtiment. A cause de la très faible densité d'occupation des logements, l'air neuf ne constitue pas un réel problème. Les lectures de CO<sub>2</sub> ont été placées à l'annexe 12.

### 5.3.2 Monoxyde de carbone (CO)

Le monoxyde de carbone est produit principalement par des procédés de combustion incomplète. Les principales sources de CO dans l'air intérieur des édifices sont la fumée des cigarettes, les gaz d'échappement des véhicules automobiles ou camions, et des appareils de chauffage à combustion mal réglés, tels que fournaies, chauffe-eau, ou équipements de cuisine.

## 5- MESURE SIMPLE (SUITTE)

Le RQMT (Règlement sur la Qualité du Milieu de Travail) spécifie un maximum de 50 ppm de CO sur une période de 8 heures/jour à raison de 5 jours/semaine, et un maximum de 400 ppm sur une période de 15 minutes. Les deux normes ASHRAE 62-81 et 62-89 recommandent une concentration de 9 ppm sur une période de 8 heures, et un maximum de 36 ppm sur une période d'une heure. Malheureusement, il n'y a pas de normes spécifiques à l'habitation.

Ce gaz est très toxique, c'est pourquoi il a été inclus dans les mesures qui ont été effectuées. L'annexe 13 indique les résultats de ces relevés.

### 5.3.3 Formaldehyde HCHO

La formaldehyde est un produit que l'on retrouve dans les colles et les résines utilisées dans la fabrication des contre-plaqués, des meubles et la plupart des produits en simili bois, ce produit est aussi présent dans les colles de tapis.

L'annexe 14 montre les résultats de nos lectures.



## 5- MESURE SIMPLE (SUITE)

### 5.3.4 Ozone O<sub>3</sub>

L'ozone est un bactéricide puissant utilisé dans le traitement des eaux municipales et dans les hôpitaux pour détruire les micro-organismes. Malheureusement, en concentration plus élevée, il devient dommageable pour l'être humain.

L'ozone est produit par les décharges électriques, la foudre est le plus grand producteur d'ozone, dans un environnement de bureau, l'ozone est produit par les photocopieurs et les vieux moteurs à brosse; dans un environnement d'édifice à logements, il y a peu de producteur d'ozone. L'annexe 15 présente les résultats de ces relevés.

### 5.3.5 Dioxyde d'azote et oxyde nitrique NO<sub>2</sub> - NO

Ces deux éléments proviennent des produits de combustion, ils peuvent être produits par des appareils de chauffage, par les moteurs à essence.

Les annexe 16 et 17 montrent les résultats des relevés pour chacun de ces produits.

## 5- MESURE SIMPLE (SUITE)

### 5.3.6 Toluène et Xylène $C_6H_5CH_3$ et $C_6H_4(CH_3)_2$

Ces deux produits font partie des volatiles organiques utilisés comme solvant dans les peintures et finis de bureau. Environ 10% de la population sont allergiques à ces substances même en très faible quantité.

Les annexes 18 et 19 présentent les résultats.

### 5.3.7 Gazoline

Les vapeurs de gazoline peuvent se retrouver à l'intérieur des locaux surtout lorsqu'il y a entreposage à l'intérieur comme pour l'alimentation d'une génératrice.

C'est à l'annexe 20 que l'on retrouve les résultats des lectures.

## 5- MESURE SIMPLE (SUIITE)

### 5.4 Résultats

#### 5.4.1 Volume d'air extérieur

Les relevés de CO<sub>2</sub> montrent bien que le volume d'air extérieur par personne dépasse largement les exigences de la norme la plus sévère. Même au bâtiment # 1 où les appartements sont tous climatisés et que les fenêtres sont de bonne qualité, les relevés indiquent des valeurs similaires à l'extérieur. Au bâtiment # 2, les valeurs sont facilement compréhensibles car plusieurs fenêtres restent ouvertes durant les périodes clémentes. Cette grande quantité d'air extérieur enregistrée dans les pièces étaient à prévoir en lisant les résultats du test d'infiltrométrie.

Ces résultats peuvent, sans aucun doute, être généralisés dans l'ensemble des tours à logements, le volume d'air extérieur ne constitue pas un problème, sauf peut-être:

- dans les édifices scellés;
- dans les logements à très haute densité d'occupation.

Les édifices à logements complètement scellés sont extrêmement rares et ceux où les gens sont entassés aussi.

## 5- MESURE SIMPLE (SUIITE)

### 5.4.2 Polluant gazeux

Sauf pour le monoxyde de carbone (CO) où des valeurs ont été enregistrées, toutes les autres mesures: formaldéhyde, ozone, dioxyde d'azote, oxyde nitrique, toluène, xylène, et vapeur de gazoline, ont donné le même résultat: aucune présence de ces gaz dans l'air.

Les quantités de monoxyde de carbone enregistrées dans les stationnements sont inférieures aux valeurs acceptables et puisque les gens y séjournent très peu longtemps, elles ne constituent pas un problème. Par contre, les lectures de CO dans la piscine sont étonnantes. Bien que la concentration soit faible et que les gens ne séjournent pas longtemps dans la piscine, cette anomalie devrait être clarifiée. Est-ce qu'il y a contamination de l'air alimenté par le système ou est-ce que l'air du stationnement peut pénétrer l'enceinte de la piscine ?

Quant aux autres polluants, l'instrument utilisé ne permet pas de les détecter. Encore une fois, ces résultats étaient prévisibles à cause de la grande infiltration dans ces bâtiments. L'air extérieur dilue le polluant à un niveau inférieur à notre seuil de détection.

## 5- MESURE SIMPLE (SUIITE)

### 5.5 Commentaire

Lors de la première étape, on anticipait quelques problèmes qui ne se sont pas matérialisés dans les lectures qui ont été effectuées.

#### 5.5.1 Bâtiment # 1

Après la première visite, il semblait que les volatiles organiques seraient présents dans l'air à cause des nombreux travaux d'aménagement dans les nouveaux condos, mais les mesures de xylène, de toluène ou d'hydro-carbure léger ont été négatives. La raison peut être la suivante: pris individuellement, les gaz qui composent la famille de volatiles organiques ont des concentrations infimes souvent 100 ou 1000 fois inférieurs à la norme industrielle, c'est pourquoi lorsque chaque composante est mesurée individuellement, rien n'est enregistré. Certaines personnes sont allergiques aux volatiles organiques en tant que mélange et non pas à l'une de ses composantes, il faudrait un instrument beaucoup plus précis pour mesurer ce mélange. De toute façon, le problème est grandement amoindri dans les édifices à logements du fait de l'infiltration comparativement aux édifices à bureaux.

Un problème avec les vapeurs d'essence était anticipé suite à la première visite, mais à la seconde visite, il n'y en avait plus. Est-ce que lors de la première visite, on avait échappé de l'essence sur le plancher ou nettoyé une pièce de la génératrice avec de l'essence, nous ne le savons pas, mais l'odeur avait disparu, et nos mesures n'en indiquent aucune trace.



## 5- MESURE SIMPLE (SUIITE)

### 5.5.2 Bâtiment # 2

A cet endroit, un problème avec l'évacuation du garage situé sous l'un des balcons avait été prévu. Malheureusement, la grande activité du matin était terminée lors de la mesure de CO, et nous n'avons pas pu enregistrer de valeur dans l'air près du balcon. Ici, il s'agit plutôt d'un problème d'inconfort qu'un problème de santé car l'évacuateur est en marche tout au plus une demi heure au départ des occupants et à leur arrivée, et il se fait une certaine dilution dans l'air extérieur avant d'atteindre les occupants qui pourraient se trouver sur le balcon.




## 6- MESURES COMPLEXES

Le guide propose comme troisième étape, l'utilisation de mesures plus complexes pour caractériser un problème de qualité de l'air. L'analyse microbienne, qui a consisté à mesurer la quantité de bactéries et de moisissures dans l'air de plusieurs endroits, a été placée dans cette section.

### 6.1 Emplacement

L'analyse microbienne est assez dispendieuse, les prélèvements ont été limités aux endroits les plus susceptibles de représenter un foyer de contamination.

Pour fin de comparaison avec les résultats obtenus à l'intérieur du bâtiment, des prélèvements ont été effectués dans l'air extérieur de chaque bâtiment.

Au bâtiment # 1, des mesures ont été réalisés à la piscine, dans la salle des ordures, et dans l'appartement témoin.

Au bâtiment # 2, l'analyse a été faite à la chaufferie parce que c'est à cet endroit que l'on entrepose les ordures, dans le corridor parce que la prise d'air frais n'est pas filtrée, et aussi dans l'appartement témoin.



## 6- MESURES COMPLEXES (SUIITE)

### 6.2 Procédure

Pour les bactéries et les moisissures, l'air est aspiré par une pompe Burkard de 35 L/minute pendant 15 minutes. Pour les bactéries, l'air passe sur un milieu de culture du type TSA (Tryptic Soy Agar) et pour les moisissures, du type Sabouraud. Les milieux de culture sont incubés pendant une semaine à 25°C pour les moisissures, et à 37°C pour les bactéries à l'obscurité. Ces milieux permettent le dénombrement des particules viables (i.e. formant des colonies, ou "Colony Forming Units (CFU)) et assurent une identification précise de la plupart des colonies de moisissures.

Le dénombrement s'effectue à l'aide d'un microscope. La caractérisation des bactéries se fait par un test chimique et les moisissures par une analyse microscopique. Lorsque les colonies sont bien développées, elles sont dénombrées, puis chaque groupe de colonies d'aspect morphologique différent, après qu'un numéro d'identification lui ait été assigné, est repiqué sur un milieu malté à 2% dans un plat de pétri de 50 mm x 9 mm, et soumis à un rayonnement ultraviolet selon un cycle de 12 heures pour favoriser leur sporulation. Lorsque celle-ci est atteinte, l'appareil reproducteur est examiné au microscope pour l'identification à 400% ou 1000%. Les colonies que nous ne parvenons pas à faire sporuler, et qui demeurent donc indéterminées, sont regroupées sous le vocable "Mycélia stérilia".

## 6- MESURES COMPLEXES (SUIITE)

### **Bactéries:**

Lorsque les colonies sont bien développées, elles sont dénombrées et ensuite repiquées afin d'obtenir de jeunes cultures pour effectuer les différents tests de l'identification bactérienne comme la coloration de Gram, les tests d'oxydase, de catalase, le test de sensibilité à la bacitracine, etc.

L'analyse microbienne a été confiée au Docteur Paul Comptois, directeur du Groupe de Recherches Aérobiologiques de Montréal, Université de Montréal.

### 6.3 Résultats

Dans l'ensemble, les résultats de l'analyse des échantillons recueillis dans les deux bâtiments montrent des concentrations de bactéries et de moisissures faibles, ce qui ne devrait pas poser de problèmes. Les résultats comparés ont été placés à l'annexe 21 et les résultats émanant du laboratoire sont à l'annexe 22.

## 6- MESURES COMPLEXES (SUIITE)

### 6.3.1 Résultats particuliers au bâtiment # 1

On peut noter un phénomène assez particulier à l'appartement témoin, les échantillons sont dominés par deux espèces de *Penicillium* (*P. chrysogenum* et *P. brevicompactum*), même si ces concentrations ne sont pas exceptionnelles, elles indiquent la présence de contamination car les échantillons extérieurs sont dominés par le *Cladosporium*. Même les échantillons prélevés près du compacteur à vidange en montrent des quantités moindres.

Ce condo est neuf (une année d'occupation) et extrêmement propre, il est habité par deux personnes à leur retraite. La source de contamination ne semble pas évidente, il n'y avait pas d'accumulation d'eau par terre, ni moisissures apparentes sur les parois ou aux fenêtres, la seule explication que nous avons trouvée est le manque d'entretien des filtres et du bassin de captation du serpentin froid. En effet, ces condos sont équipés d'appareils de climatisation individuels possédant un ventilateur, un serpentin froid, un filtre et un système de distribution d'air.

Notre recommandation à cet égard est d'inclure les frais d'entretien de cet appareil de climatisation dans les frais de condo. De cette façon, tous les appareils pourraient être nettoyés complètement une fois l'an. Habituellement, il ne faut pas se fier aux occupants pour accomplir cet entretien.

## 6- MESURES COMPLEXES (SUTTE)

### 6.3.2 Résultats particuliers au bâtiment # 2

Au bâtiment # 2, les échantillons sont dominés par la Cladosporium présente en quantité dans l'air extérieur. Par contre, dans la salle de lavage, la présence de Fusarium (absent de l'air extérieur) même en très faible quantité peut représenter un problème puisque les conditions particulières d'humidité de cette pièce favorisent sa croissance et le développement de colonies. Le foyer d'infestation n'a pas été identifié, mais la présence de Fusarium suggère le nettoyage des filtres de laveuse et de sècheuse à intervalle plus fréquent et le nettoyage derrière les appareils.



## 7- RECHERCHE DANS LE DOMAINE

Avant de conclure sur cette analyse des polluants à l'intérieur des tours à logements, nous avons passé en revue la littérature scientifique sur le sujet. Il faut bien le dire les tours à logements n'ont pas fait l'objet de plusieurs recherches, contrairement aux édifices à bureaux.

Les raisons de ce faible intérêt provient de plusieurs facteurs:

- Peu ou pas d'édifices à logements ont fait l'objet de manchette dans les journaux à cause de la mauvaise qualité de l'air;
- Les gens sont plus tolérants dans leur appartement, car ils sont souvent la source du problème;
- Il est plus difficile d'organiser une grande enquête à cause des nombreuses personnes à contacter individuellement et de la difficulté à les rencontrer.

Malgré cela, quelques articles d'intérêt ont été dénichés.

## 7- RECHERCHE DANS LE DOMAINE (SUITE)

### 7.1 Airborne Bacteria and Fungi in Rural Houses in Finland

Al Pasauern, M. Triomainen, P. Kalliokaski, A. Nevalainen

Le texte de cette conférence a été placé à l'annexe 23. Ce texte fait ressortir les différences marquées entre les comptes de bactéries et de moisissures des maisons situées près des fermes et celles de la ville. Nos deux édifices à logements étaient en ville, les résultats auraient été quelque peu différents si ces édifices avaient été situés à la campagne.

Cette étude est intéressante du fait qu'elle indique que les bactéries et les moisissures se répandent facilement dans l'air puisque les maisons situées au village et celles situées sur la ferme présentent des comptes similaires.

### 7.2 Indoor Air bacteria in apartment homes before and after occupancy

A. Nevalainen, T. Ripanen, H. Heinomen-Tanski, T. Raunimaa

Cet article a été placé à l'annexe 24. Cette étude présente les résultats d'une analyse des bactéries sur 18 édifices à logements avant et après l'occupation. Avant l'occupation, on dénombre entre 170 à 500 CFU/M<sup>3</sup>. Après quelques années, ce compte monte à près de 1100 CFU/M<sup>3</sup> et se stabilisent.

## 7- RECHERCHE DANS LE DOMAINE (SUIITE)

### 7.3 A field study of indoor moisture problem and damage in New Pacific Northwest homes

G. Tsongas

Cet article a été placé à l'annexe 25. Il relate les nombreux problèmes associés à un mauvais contrôle de l'humidité relative dans un échantillon de 86 maisons. Ces problèmes peuvent sûrement se retrouver dans les édifices à logements, toutefois plusieurs anomalies indiquées dans cet article sont très bénignes et ne constituent pas, à proprement parler, un problème.

### 7.4 Performance comparison of six different air cleaners installed in a residential forced-air ventilation system

FJ. Offermann, S.A. Laiselle, RG. Sextro

Cet article a été placé à l'annexe 26. Bien qu'habituellement les appartements ne soient pas munis de système de filtration puisque seuls les corridors sont ventilés, le cas du bâtiment # 1 est assez singulier. En effet, à cet endroit, chaque condo est équipé d'un système de refroidissement unitaire (Free Standing Unit) avec ventilateur et système de distribution dans chaque pièce du condo. Cet appareil est muni d'un filtre. Cet article analyse l'efficacité de six types différents de filtres résidentiels.



## 7- RECHERCHE DANS LE DOMAINE (SUIITE)

Nous sommes d'avis que l'addition d'un système de filtration adéquat dans chaque logement réduirait encore davantage les risques de contamination dans les édifices à logements scellés en éliminant une grande partie de la poussière et des micro-organismes. Toutefois, ce filtre devra être changé régulièrement.

### 7.5 Building owners in house response to indoor air quality problems - four case studies

C.G. Briggs, M.L. Rodgers, J. Sharpe

Cet article a été placé à l'annexe 27. Il propose une nouvelle approche pour solutionner les problèmes de qualité de l'air, soit la formation d'une équipe de deux personnes qualifiées pour répondre de façon expéditive aux plaintes des occupants. Les auteurs ne semblent pas apprécier l'approche des consultants spécialisés.

Cette formule pourrait sûrement être adoptée par les grands propriétaires afin de régler rapidement les problèmes de qualité de l'air s'ils se développent dans leurs immeubles.

## 8- CONCLUSION

L'analyse que nous avons réalisée dans ces deux tours à logements montre que l'ensemble des occupants sont très satisfaits des conditions de confort et n'éprouvent pas de problème relié à la qualité d'air intérieur de leur logement. Il faut bien dire que ces deux édifices étaient très bien entretenus, les résultats auraient sûrement pu être différents si l'étude avait porté sur des bâtiments de moindre qualité, moins bien entretenus.

Nous croyons néanmoins que les résultats de cette analyse peuvent être généralisés pour l'ensemble du parc immobilier sauf pour une petite tranche que l'on appelle souvent les taudis.

Nos conclusions se divisent en deux parties:

- Respect des conditions de confort;
- Respect des conditions favorables au bien-être et à la santé des occupants.

### Conditions de confort

Bien que nous n'ayons pas enregistré de plaintes à cet effet dans les deux immeubles visités, nous avons fait des démarches auprès de M. Martineau qui dirige à la Ville de Montréal, un département qui enregistre les plaintes des locataires d'édifices de logements de moins de sept étages. Ses réponses sont assez significatives: 95% de plaintes de confort enregistrées à son service proviennent de maisons unifamiliales, et seulement 5% de la part des locataires d'édifices à logements.

## 8- CONCLUSION (SUTTE)

Lorsque nous lui avons demandé quelle était la nature des plaintes des locataires d'édifices à logements, il a répondu que la majorité provienne de personnes nouvellement arrivées au pays et qui désirent des conditions de température bien supérieures aux normes canadiennes. Une autre partie provient de personnes qui ne savent pas comment opérer les thermostats de leur appartement. Enfin, à quelques reprises, les plaintes étaient fondées et provenaient de propriétaires qui tardaient à mettre le chauffage en marche à l'automne ou l'arrêtaient trop rapidement au printemps, ou de locataires qui n'avaient aucun contrôle sur la température intérieure.

### Conditions relatives à la qualité de l'air intérieur

A ce chapitre, ni les réponses aux questionnaires, ni les lectures que nous avons effectuées ne peuvent déceler la moindre indice d'une détérioration des conditions favorables à la santé. Seules les analyses microbiennes présentent quelques anomalies qui ne sont pas sources d'ennuis pour les occupants sauf pour les occupants hypersensibles. Ces conditions s'expliquent par la haute qualité de l'entretien dans les deux bâtiments témoins.

Nos conversations avec M. Martineau de la Ville de Montréal ont confirmé ce point, il n'a jamais reçu de plaintes concernant la qualité de l'air intérieur des logements.

## **8- CONCLUSION (SUITE)**

Nous pouvons donc conclure qu'à Montréal, dans les édifices moyennement bien entretenus, les mouvements d'air n'incommodent pas de façon significative les occupants d'édifices à logements et que les problèmes de qualité de l'air intérieur sont quasi inexistantes ou non perçus par les occupants.



**CMA Chalifour, Marcotte  
et Associés Inc.**  
Conseillers en  
économies d'énergie

**ANNEXES**

**BATIMENT # 1****ANNEXE 1****REFERENCE A**

1 - 2 - 3 - 4 - architecture

1	2
3	4

**REFERENCE B**

- 1- Vue extérieure - Grande emprise pour le vent
- 2- Entrée principale
- 3- Fenêtre française
- 4- Mode de chauffage

**REFERENCE C**

- 1- Salle de vidange
- 2- Construction de la fenêtre
- 3- Hotte de cuisine
- 4- Prise de courant (isolée)

**REFERENCE D**

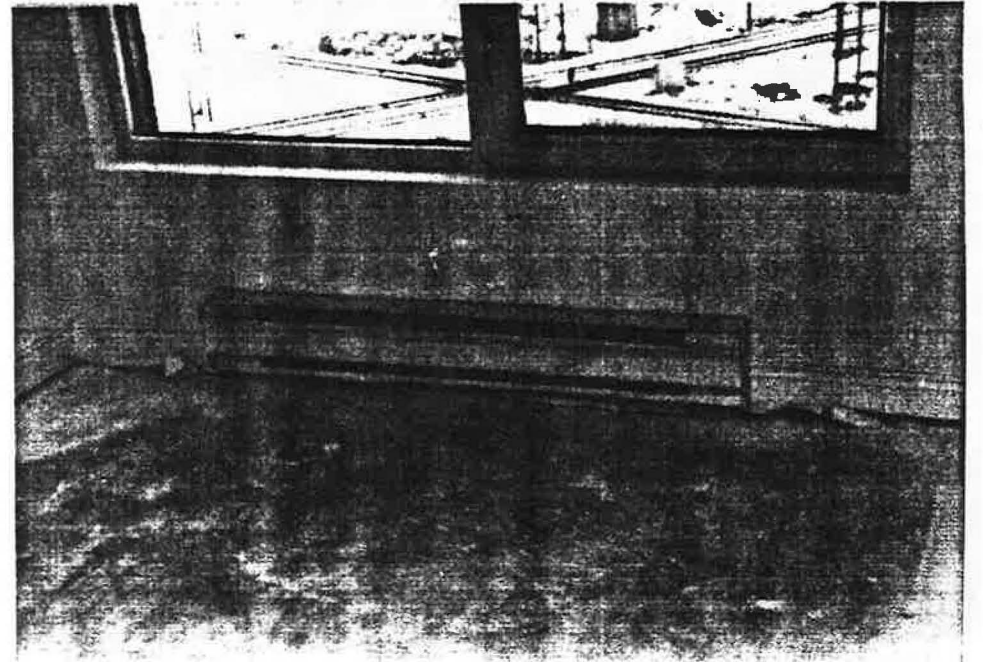
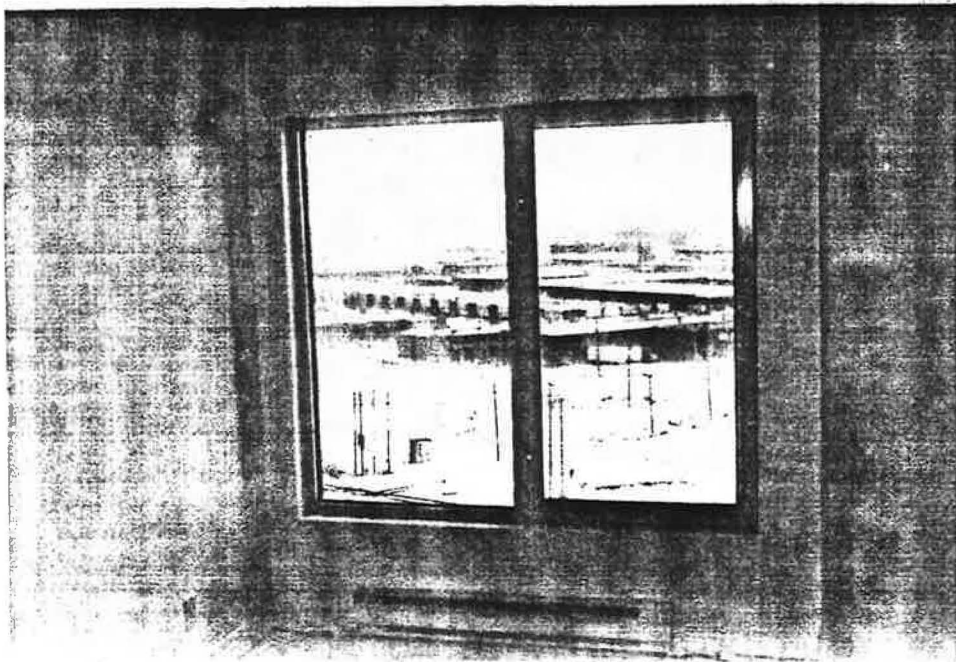
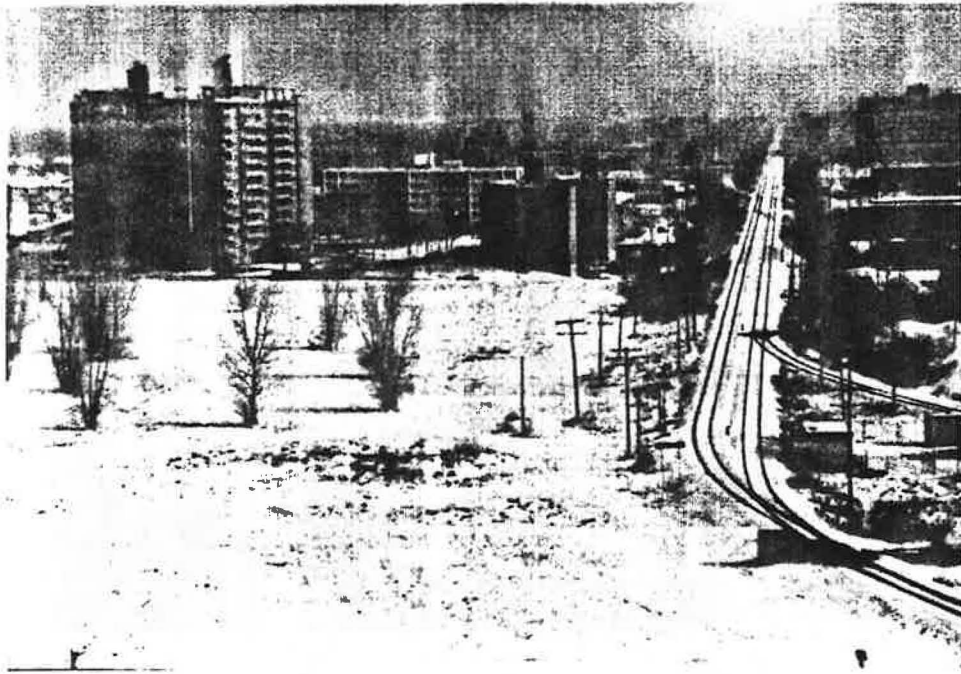
- 1- Evacuation du garage
- 2- Sonde de CO dans le garage
- 3- Génératrice d'urgence
- 4- Système d'alimentation des corridors et évacuation

**REFERENCE E**

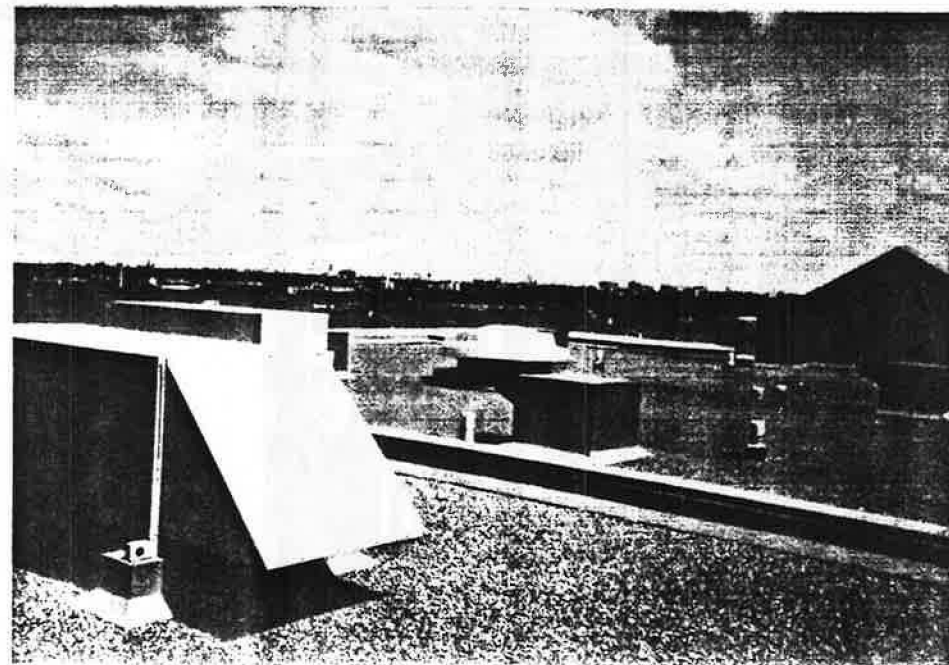
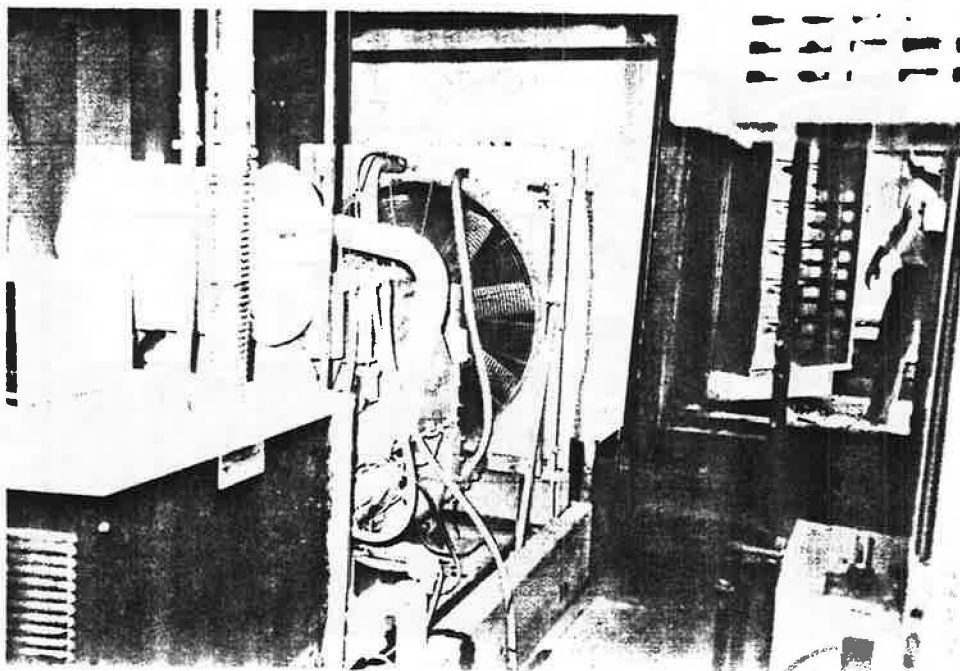
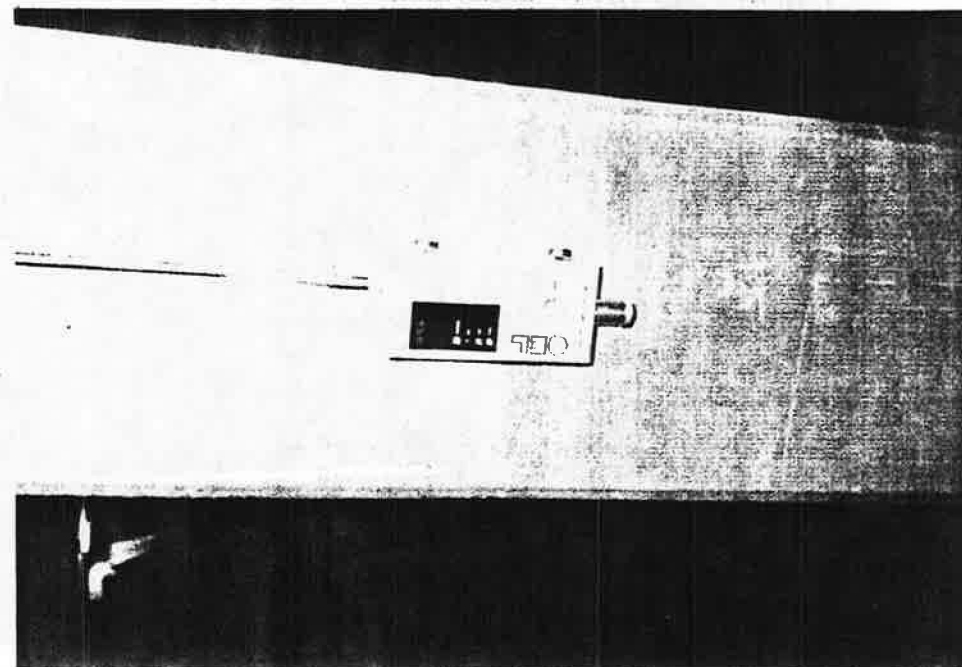
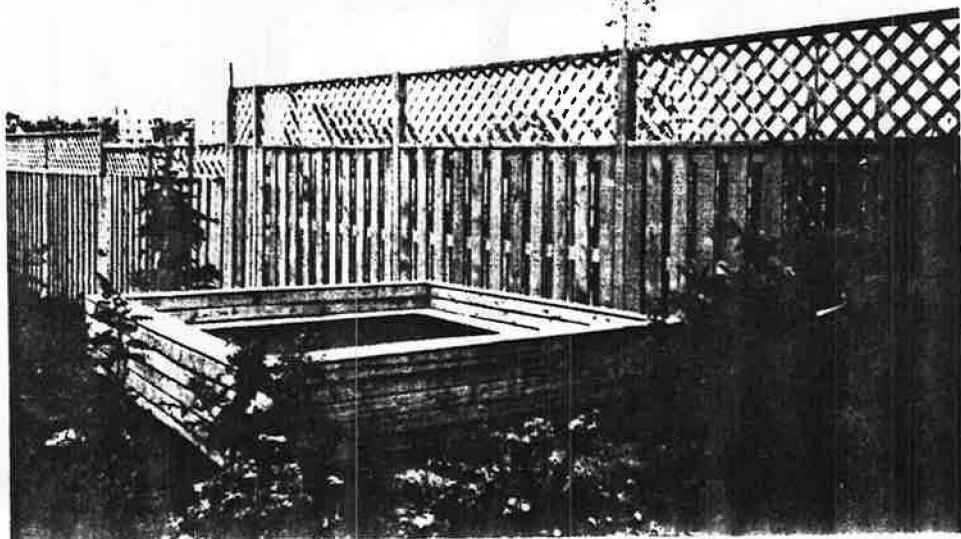
- 1- Schéma de l'appartement

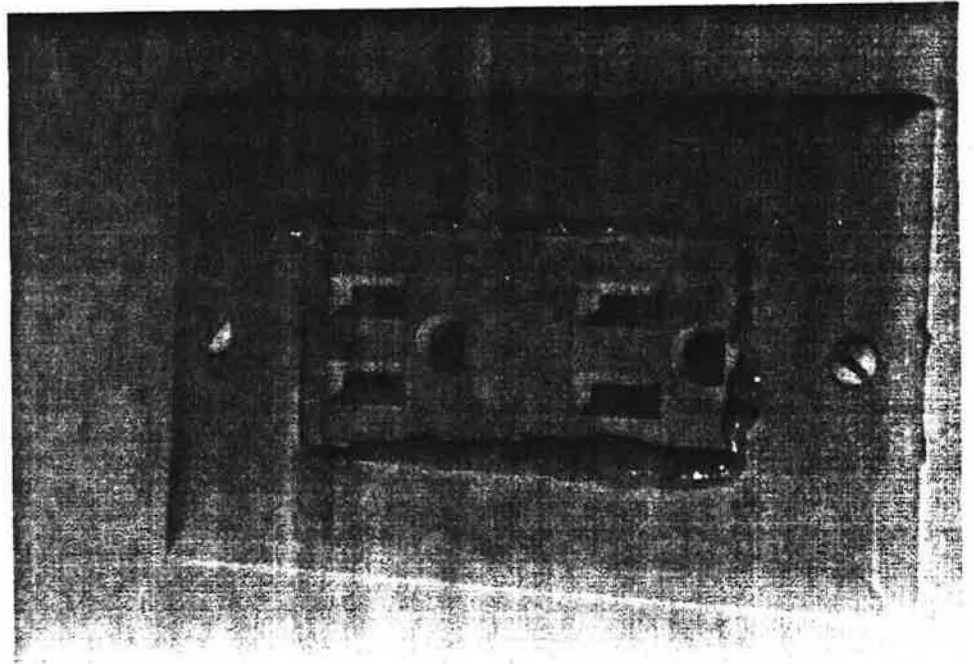
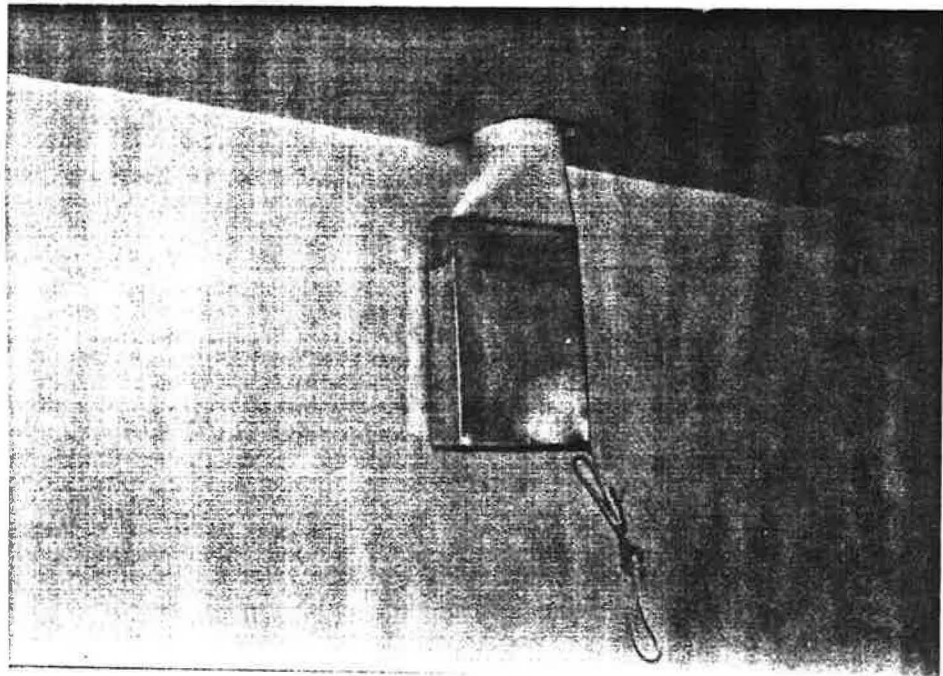
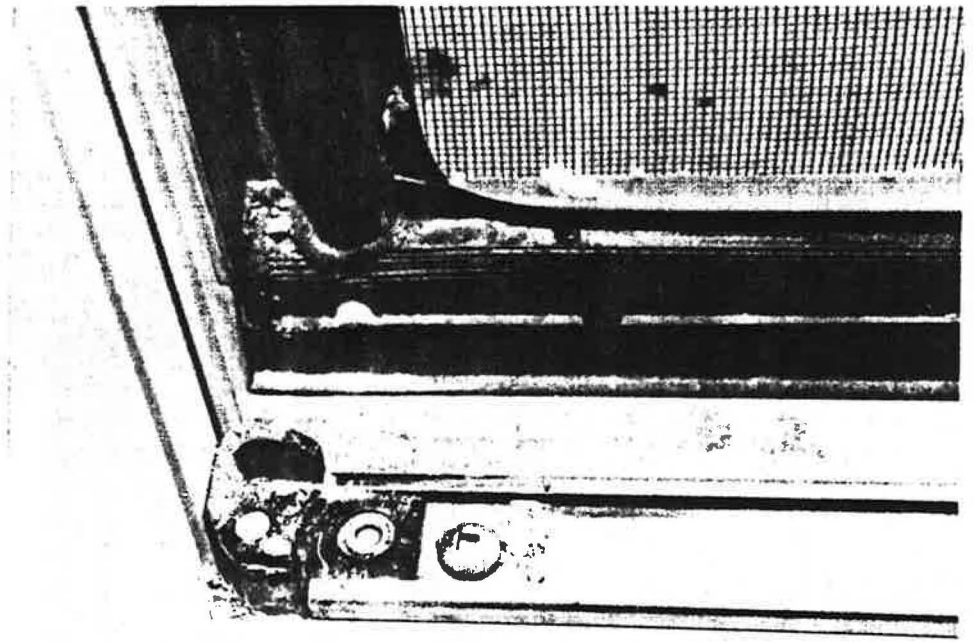
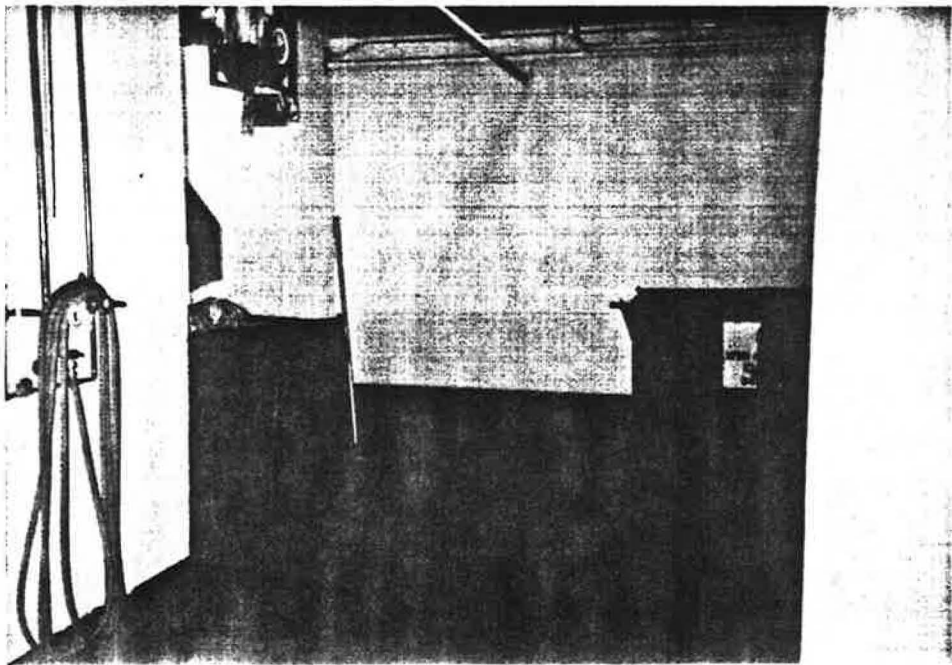


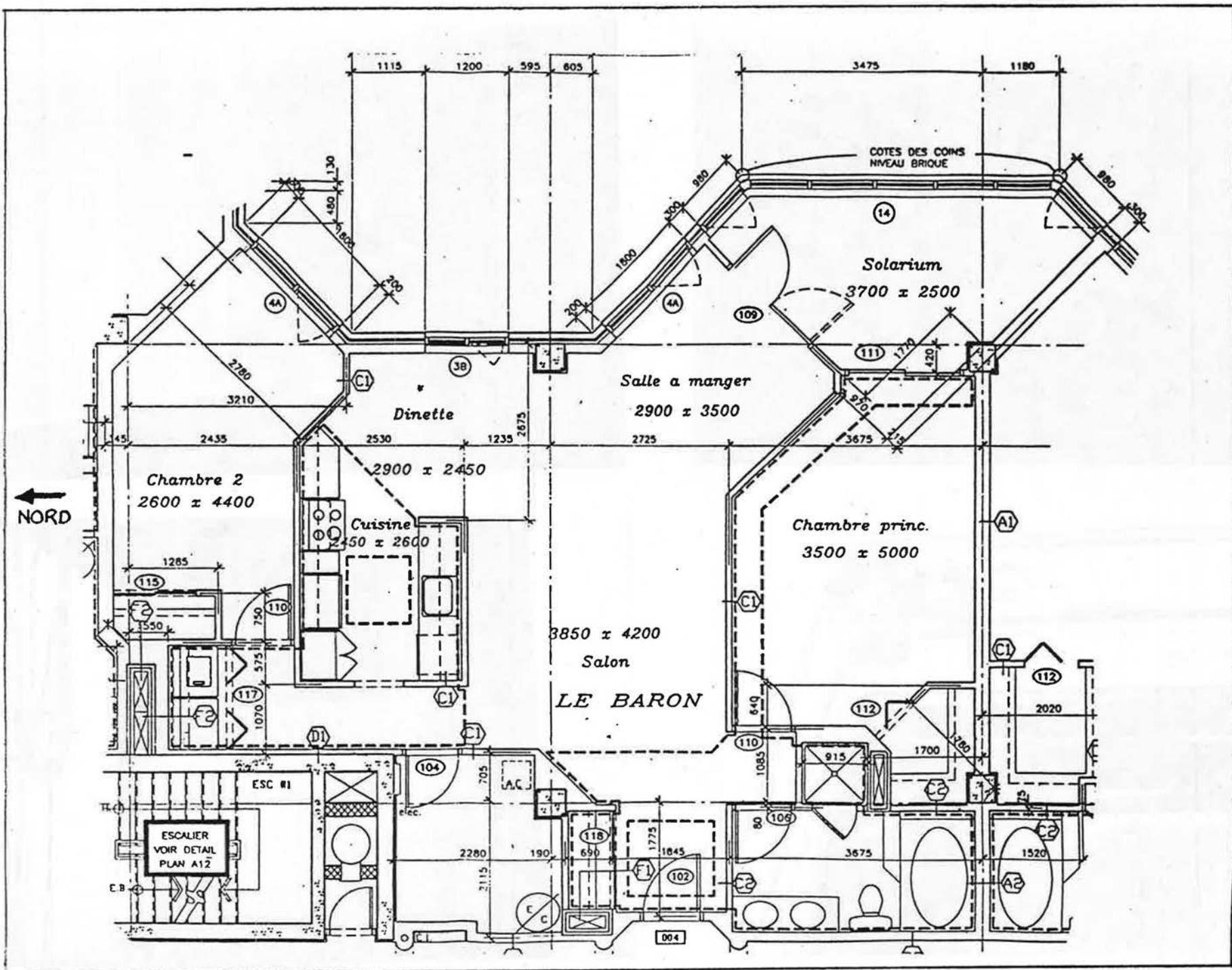












REFERENCE E

ANNEXE 1

**BATIMENT # 2****ANNEXE 2****RÉFÉRENCE A**

1 - 2 - 3 - 4 - architecture

1	2
3	4

**RÉFÉRENCE B**

- 1- Fenêtre du salon
- 2- Cuisine
- 3- Chambre
- 4- Porte menant au balcon

**RÉFÉRENCE C**

- 1- Prise de courant
- 2- Fenêtre à guillotine
- 3- Salle de bain
- 4- Tuyauterie d'évier

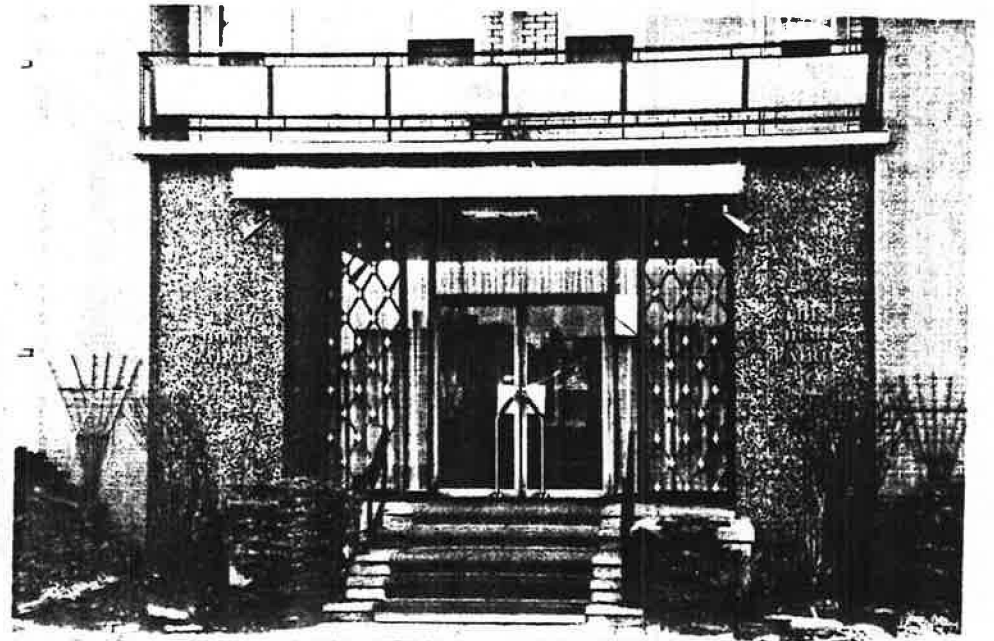
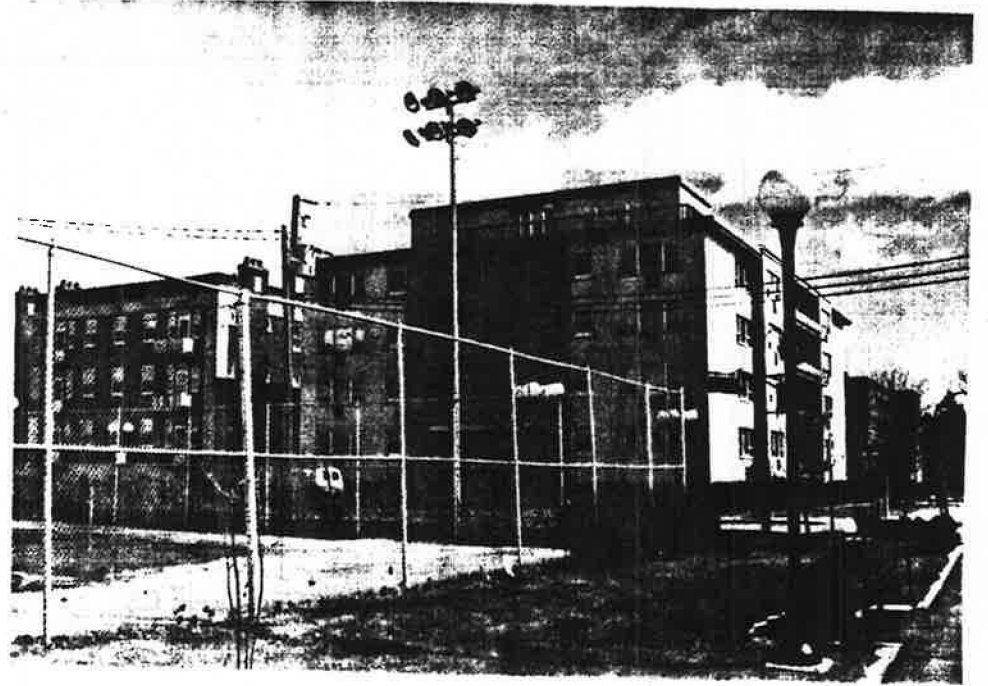
**RÉFÉRENCE D**

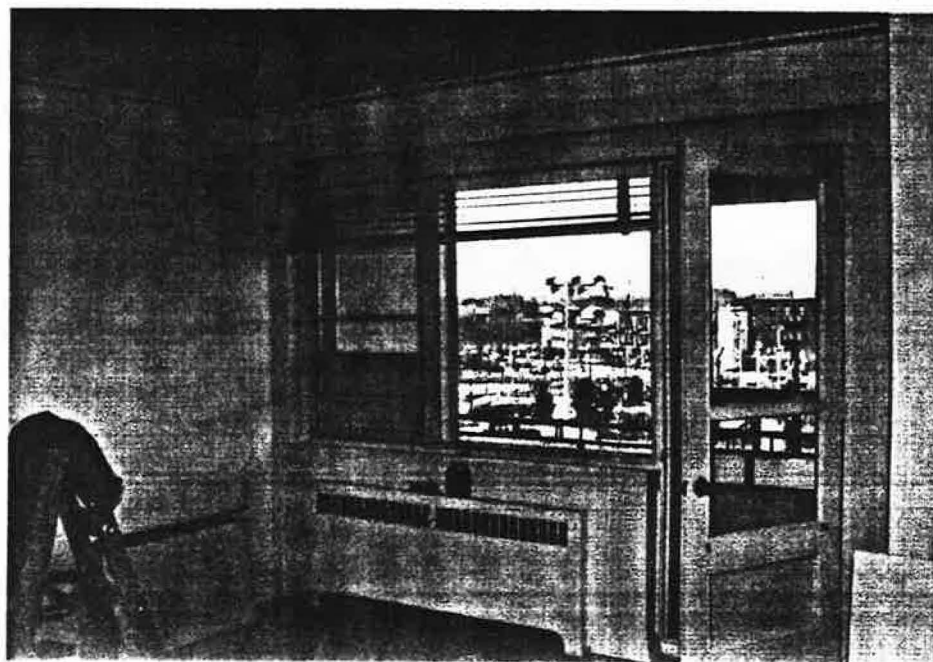
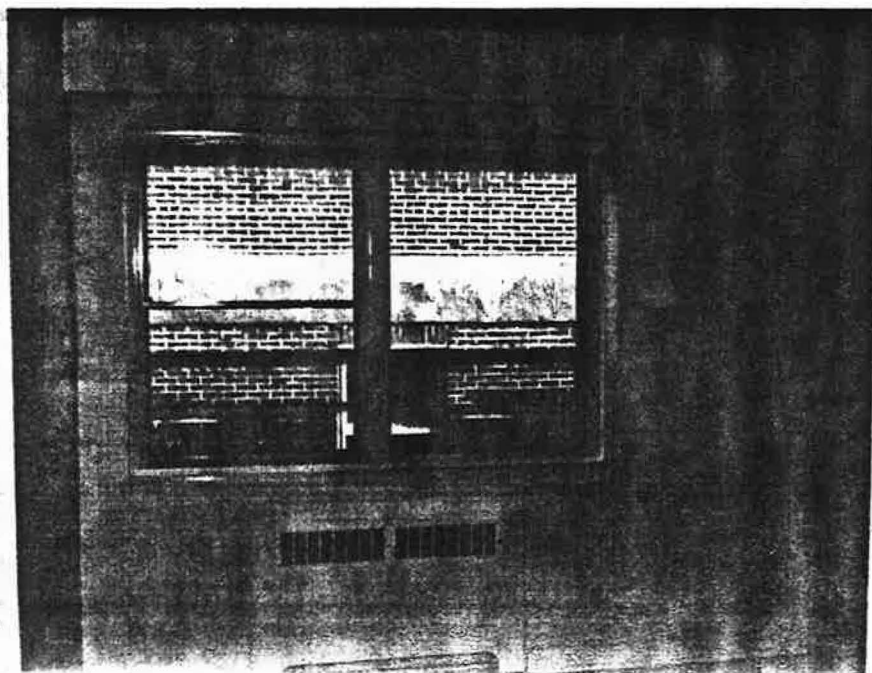
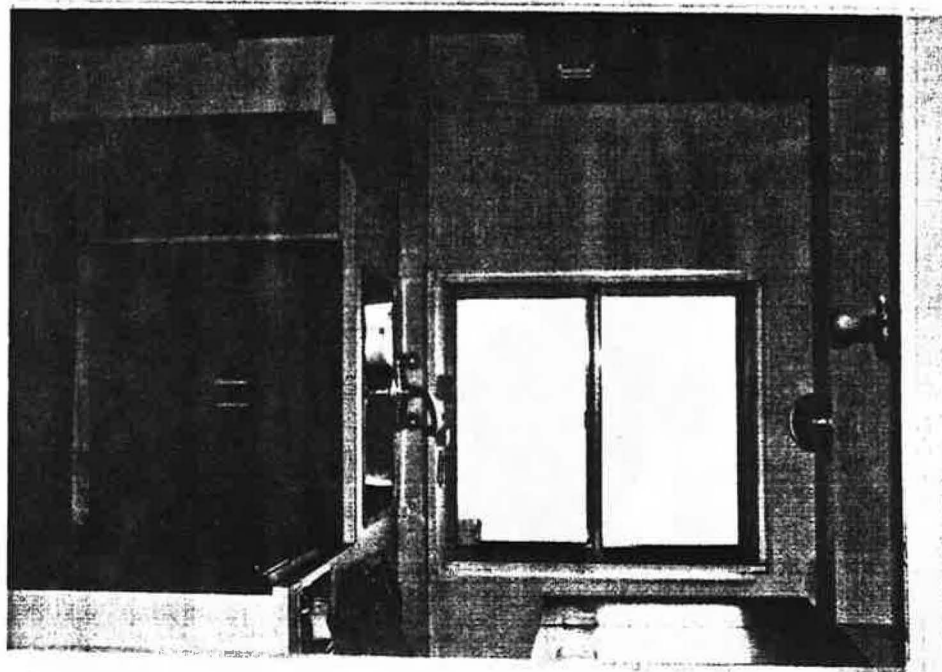
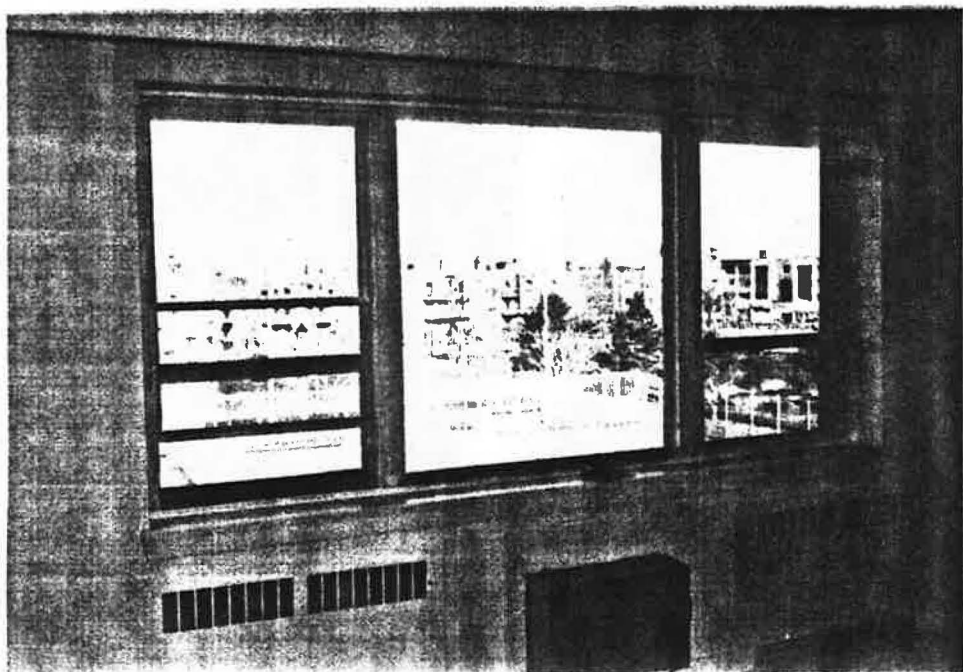
- 1- Climatiseur mural
- 2- Prise d'air système des corridors
- 3- Garage
- 4- Sonde de CO

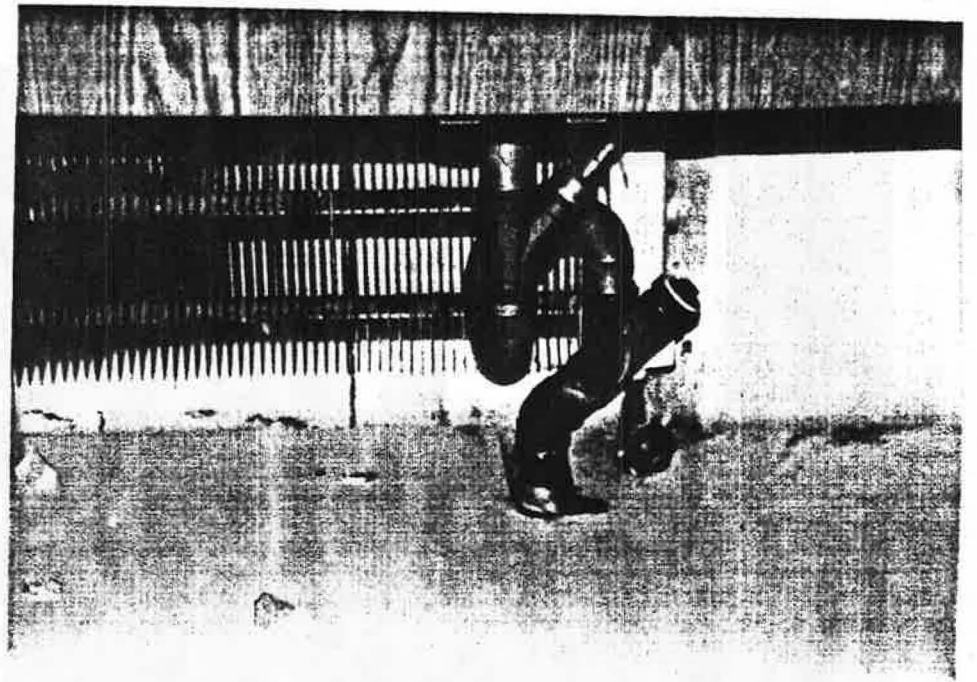
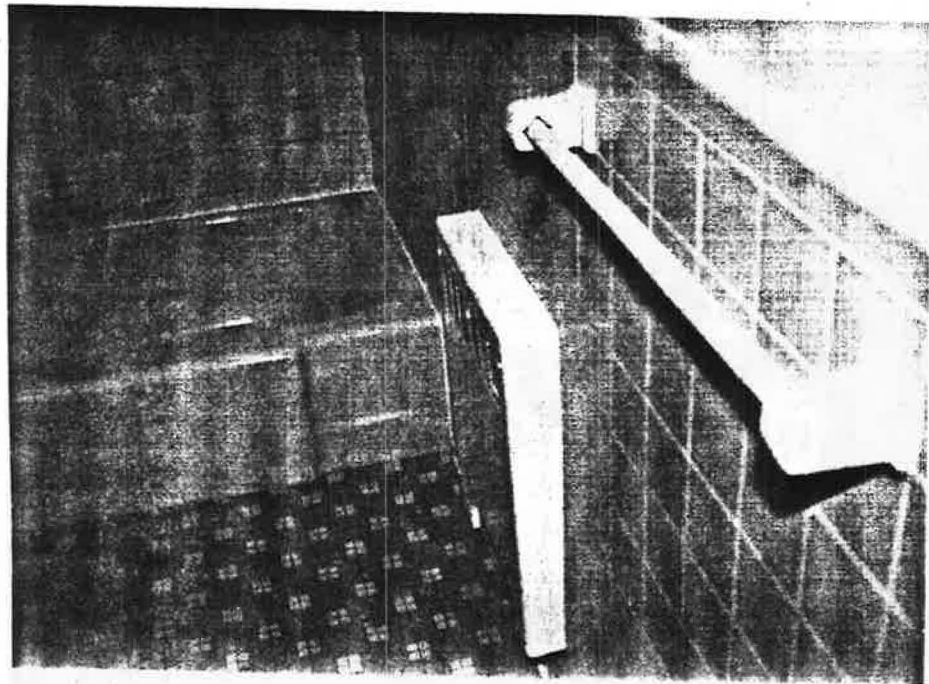
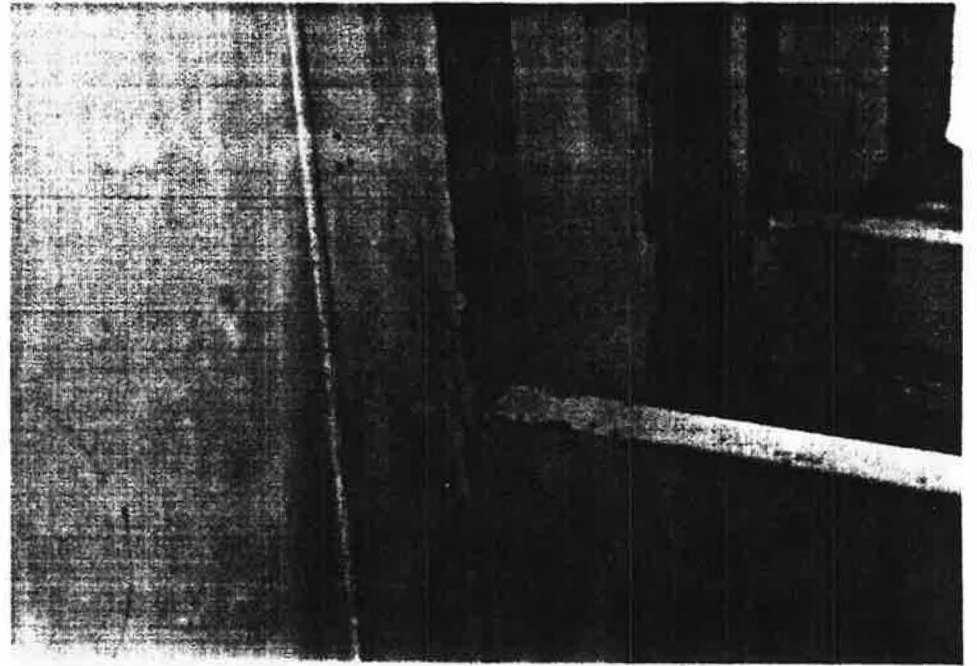
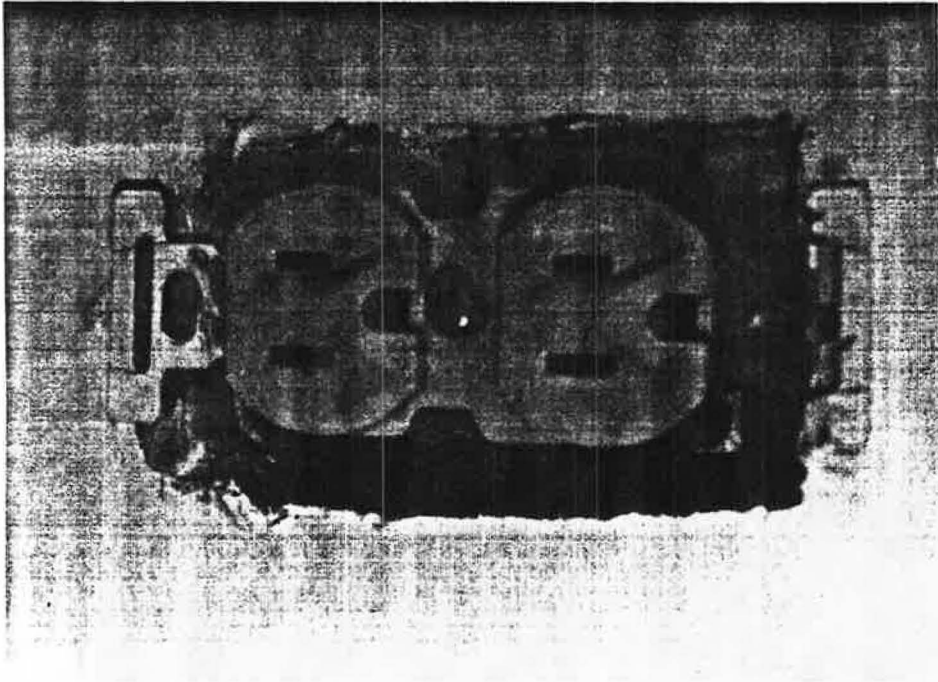
**RÉFÉRENCE E**

- 1- Schéma de l'appartement

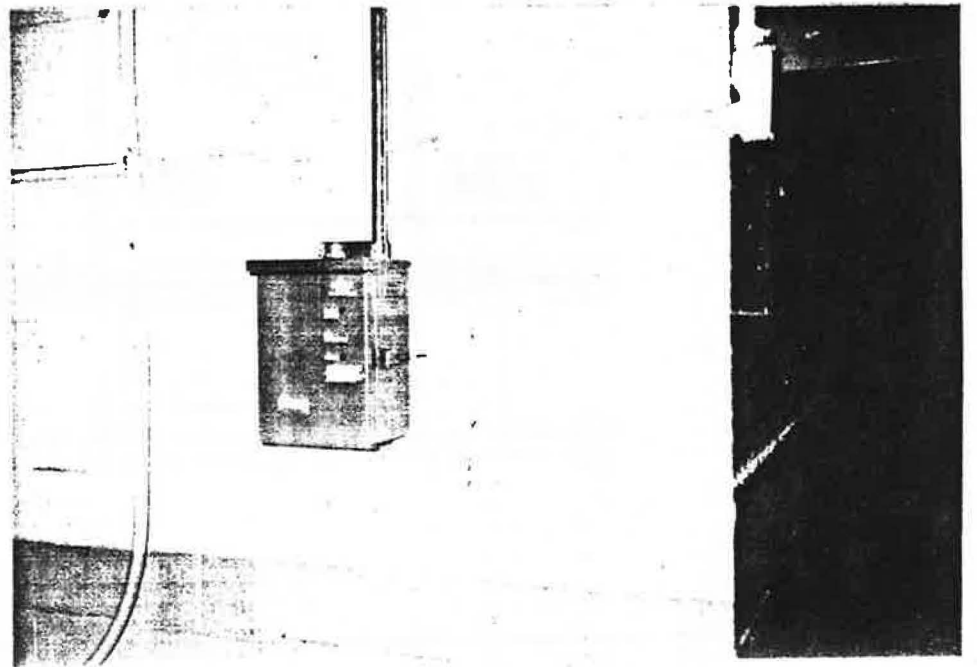
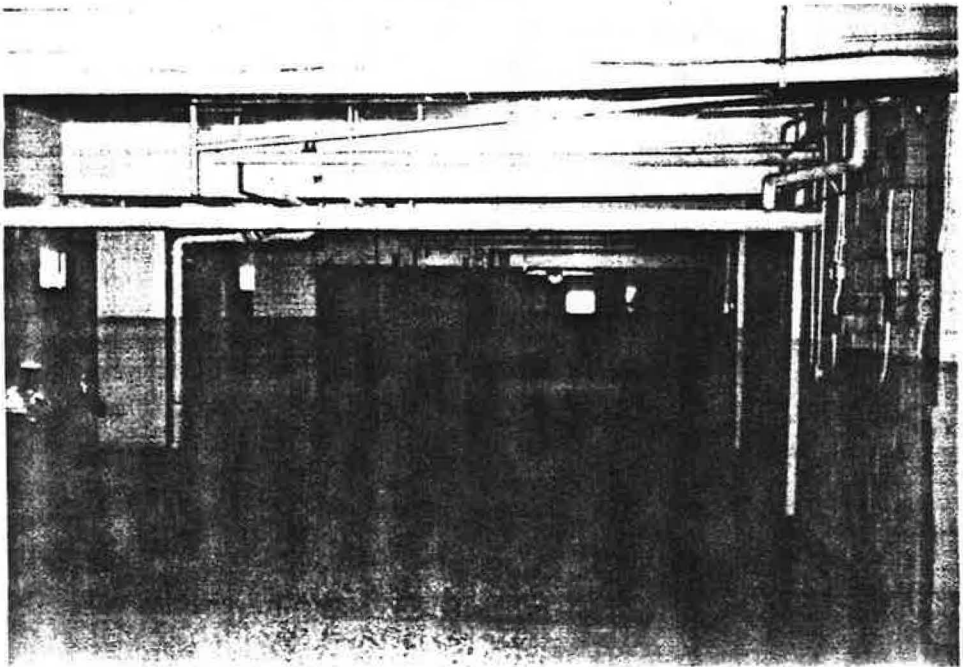
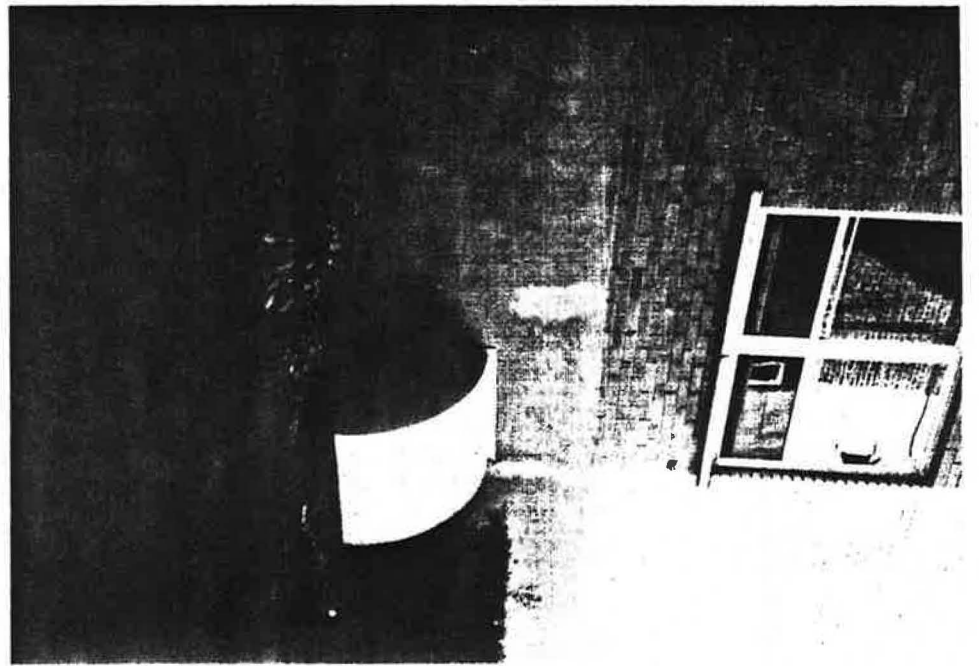
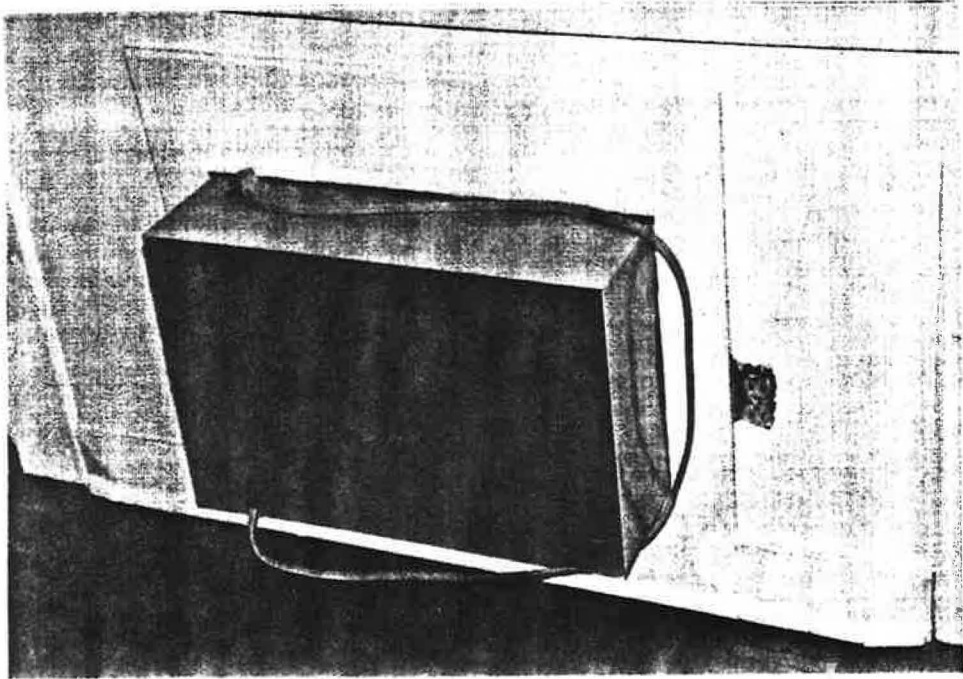














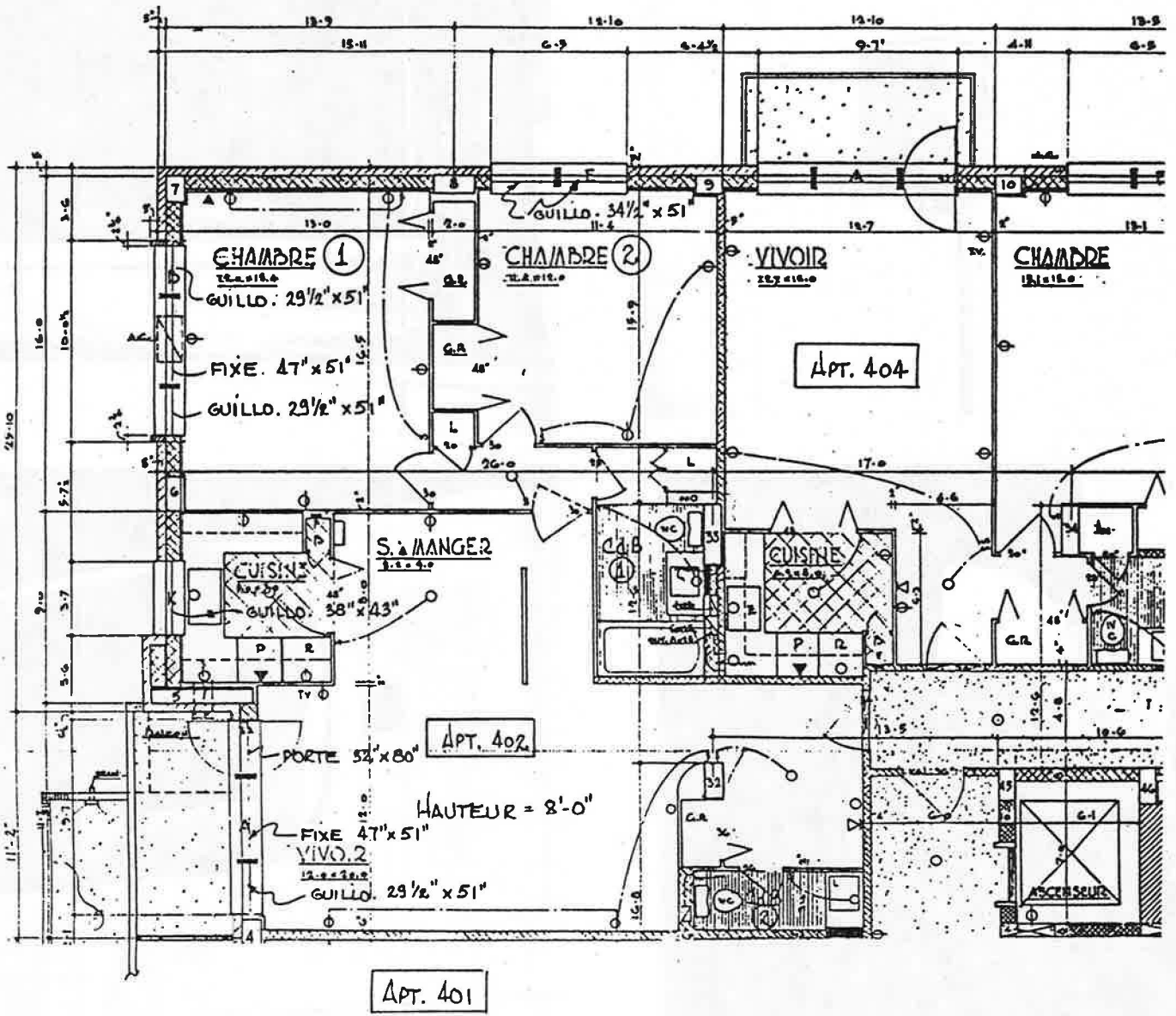


FIGURE 1 : INFILTROMETRIE-ESSAI DE DEPRESSURISATION

**Infiltrométrie - essai de dépressurisation**  
( $P_{ext.} > P_{int.}$ )

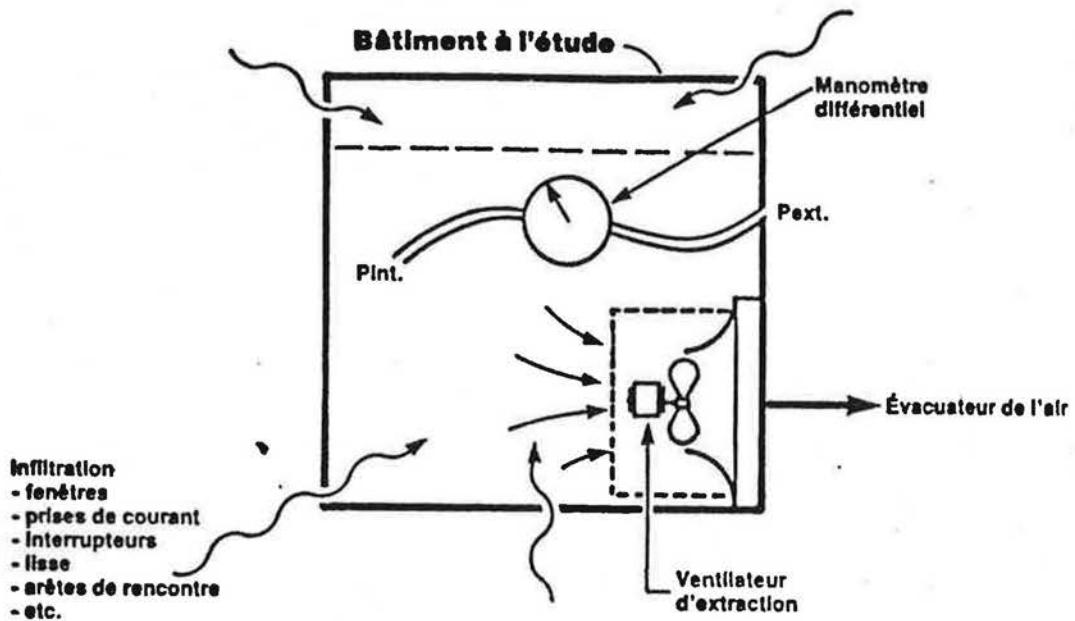


FIGURE 2 : INFILTROMETRIE - ESSAI DE PRESSURISATION

**Infiltrométrie - essai de pressurisation**  
( $P_{int.} > P_{ext.}$ )

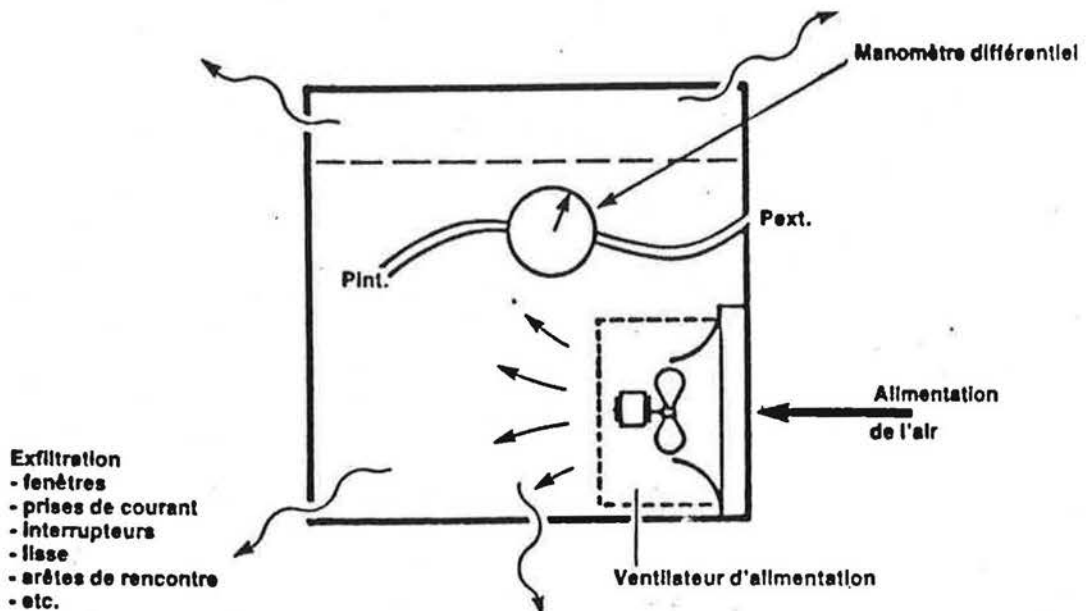


FIGURE 1 : INFILTROMETRE

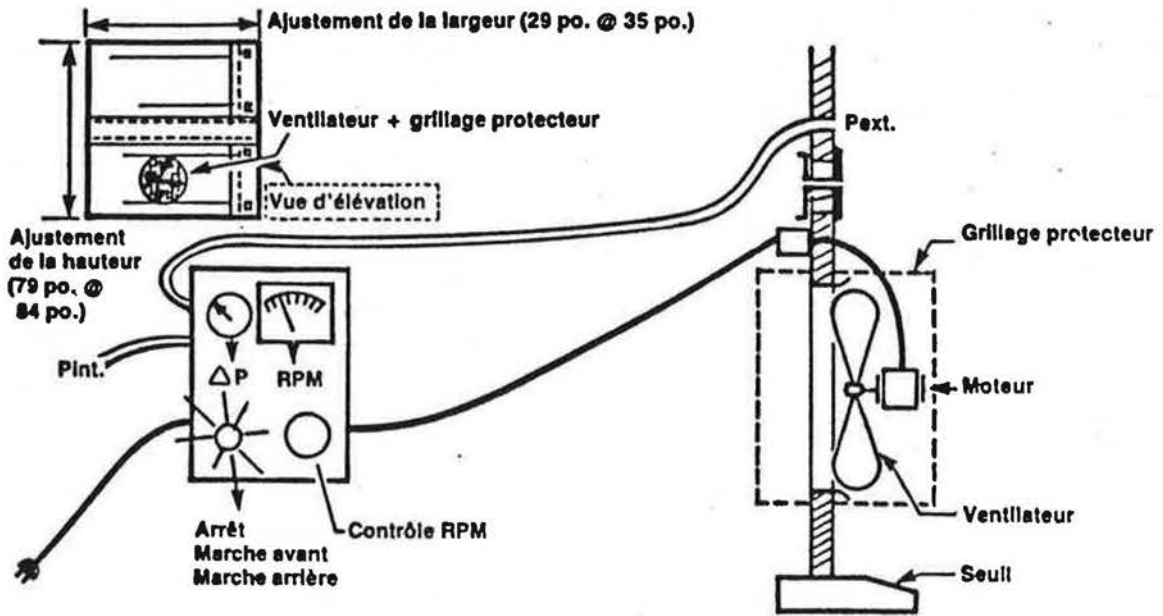
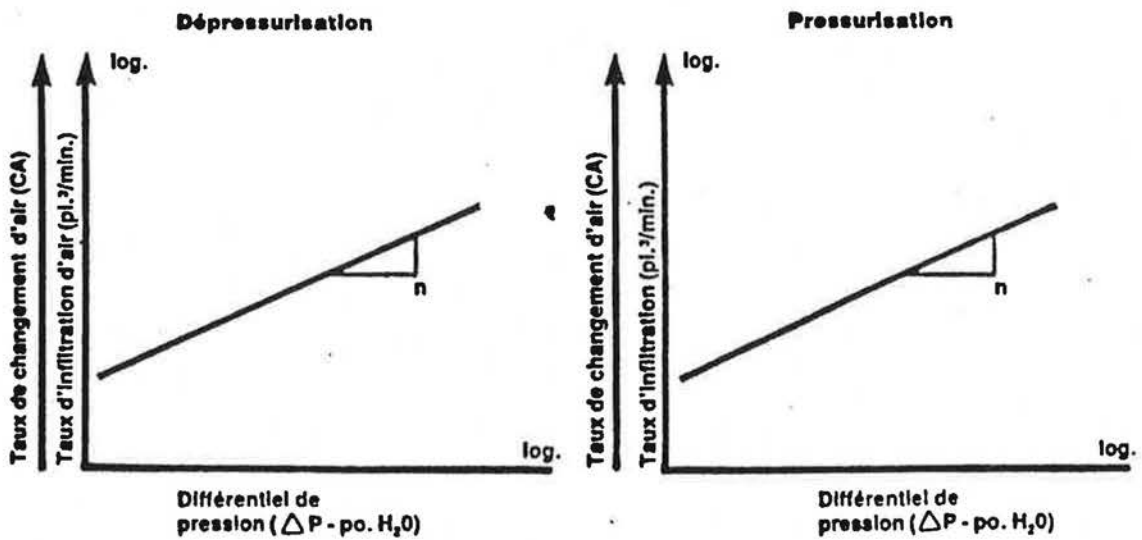
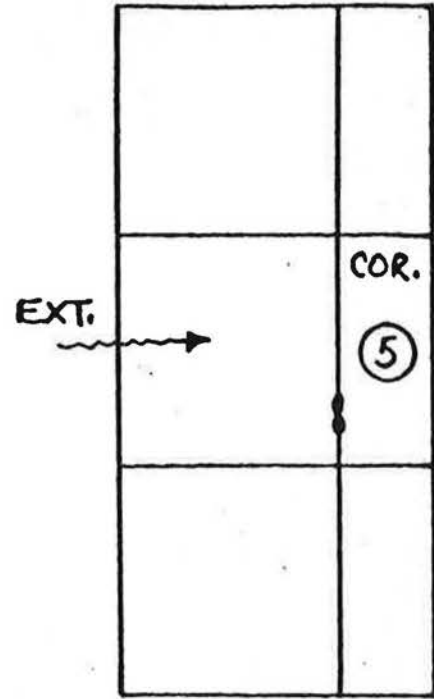
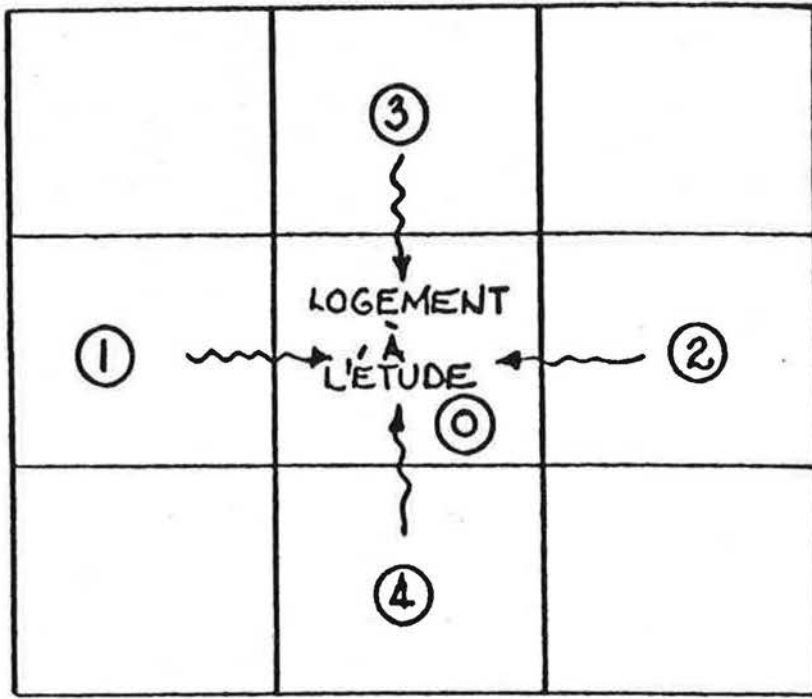


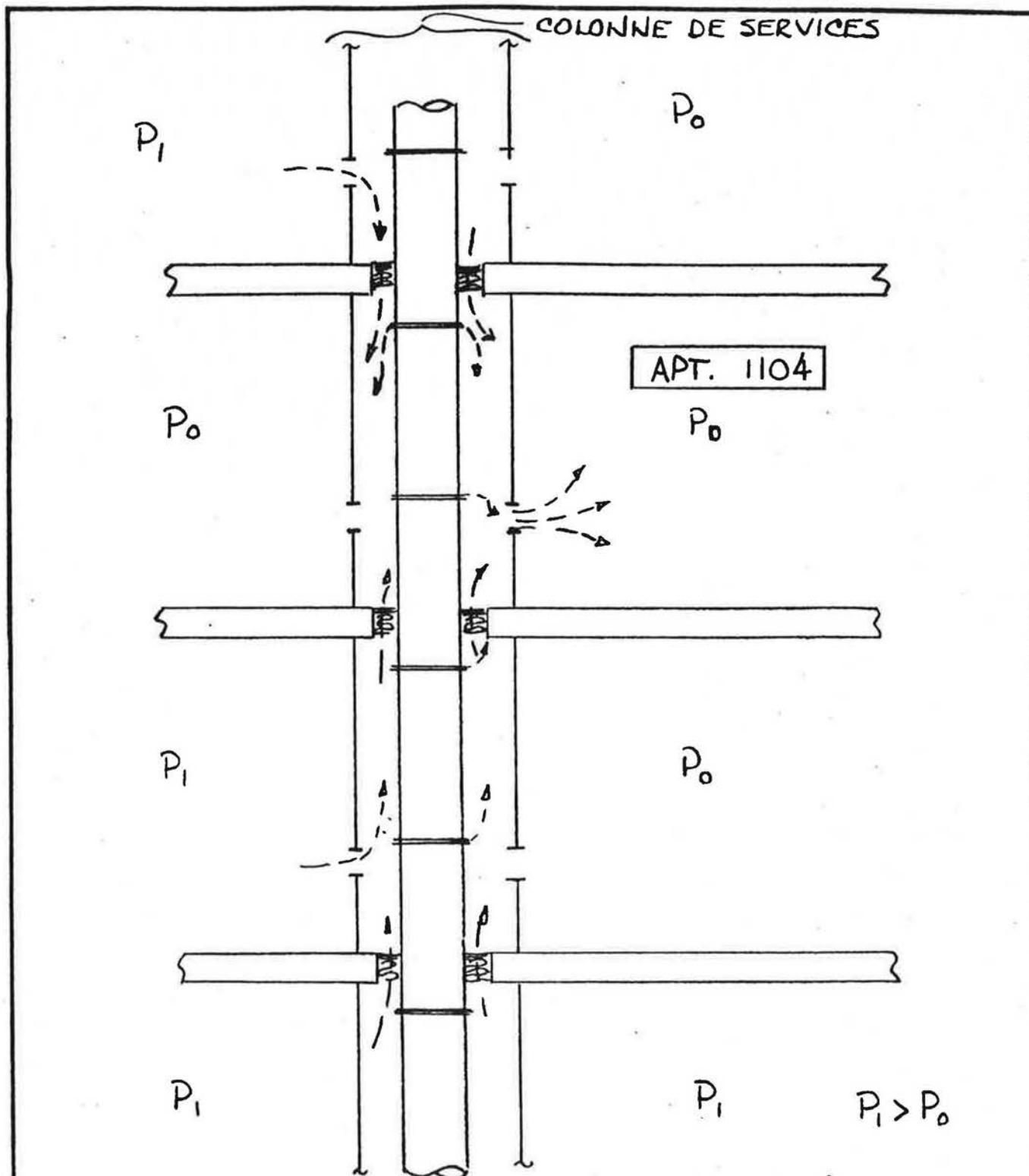
FIGURE 2 : RESULTATS EXPERIMENTAUX





1 - 2 - 3 - 4

Appartement adjacent - 5e, corridor



<b>AIR INS Inc.</b>		
titre FUITES D'AIR PARASITES		
titre		
dessiné par dwg. by	A.P.	feuille no. de sheet no. of
vérifié par chk. by		légende no. mtl. list no.
échelle scale	date 15/4/81	dessin no. dwg. no. 3

**QUESTIONNAIRE D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR**Édifice à logements *Bâtiment # 4***I Espaces communs**

	O/N
1. Année de construction <span style="float: right;">1989</span> Est-ce que les éléments suivants sont manquants:	
A Les plans tels que construits ?	2
B Les plans actuels ?	2
C Les procédures d'opération et d'entretien ?	0
D Les programmes d'entretien des systèmes ?	0
2. Y-a-t-il un endroit où du tapis a été installé récemment ?	0
A Si oui, est-ce que les odeurs ont persisté plus d'une semaine ?	2
B À quel endroit ?	
3. Y-a-t-il un endroit qui a été repeint récemment ?	0
A Si oui, est-ce que les odeurs ont persisté plus d'une semaine ?	2
B À quel endroit ?	
4. Y-a-t-il eu récemment ou régulièrement un procédé de nettoyage qui utilise une grande quantité de solvant ?	2
A Si oui, quels sont les produits ?	
5. Est-ce que le chauffage d'espace ou d'eau est produit par combustible ?	2
A Est-ce qu'il y a des signes de fuite des produits de combustion ? Où:	
B Est-ce qu'il y a des odeurs de produits de combustion ? Où: ?	
6. Y-a-t-il un stationnement intérieur ?	0
A Est-ce que le système de ventilation était inopérant ?	2
B Est-ce que le système de ventilation est arrêté par période ?	2
C Est-ce que le système est contrôlé ?	0
D Est-ce que le système est contrôlé par détecteur de CO ?	0
E Si oui, inscrire la date de la dernière calibration ? <i>6 mois /</i>	
F Est-ce qu'il y a des obstructions à l'entrée et la sortie d'air ?	2
G Est-ce que l'air du stationnement entre dans l'édifice ?	2

# QUESTIONNAIRE D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR

Édifice à logements     Bâtiment # 1

## I    Espaces communs (suite)

7.	Est-ce qu'il y a un système pour les vidanges ?				O/N
A	Est-ce que l'évacuateur est fermé ou inopérant ?				N
B	Est-ce que l'air de la salle des ordures peut entrer dans l'édifice ?				N
C	Est-ce qu'il y a une mauvaise odeur associée avec le système ?				N
8.	Est-ce qu'il y a une piscine <u>  </u> , sauna <u>  </u> , salle d'exercice <u>  </u>				
A	Est-ce mal nettoyé ?	<u>  N  </u>	<u>  N  </u>	<u>  N  </u>	
B	Y-a-t-il des moisissures ?	<u>  N  </u>	<u>  N  </u>	<u>  N  </u>	
C	Y-a-t-il de la condensation ?	<u>  N  </u>	<u>  N  </u>	<u>  N  </u>	
D	Est-ce que l'humidité est trop élevée ?	<u>  N  </u>	<u>  N  </u>	<u>  N  </u>	
E	Est-ce qu'il y a des produits biodégradables qui sont mouillés régulièrement ?	<u>  N  </u>	<u>  N  </u>	<u>  N  </u>	
9.	Y-a-t-il un sous-sol en terre ?				N
A	Y-a-t-il des locaux occupés tout près ?				
B	Si oui: indiquez.				
C	Est-ce que l'on y manque de ventilation ?				
D	Est-ce qu'il y a des odeurs ?				
10.	Y-a-t-il des endroits où les murs ou plancher sont percés ?				N
A	Si oui, indiquez.				
B	Est-ce que l'on y manque de ventilation ?				
C	Est-ce qu'il y a des odeurs ?				
11.	Y-a-t-il un isolant en mousse dans les murs ?				N
A	Polyuréthane, polystyrène, formaldéhyde, inconnu				
12.	Est-ce que les plans montrent de l'isolant à l'amiante tuyau structure ?				N
A	Si oui, est-ce qu'il y a des fibres qui se détachent ?				
13.	Est-ce qu'il y a eu inondation ou dégât important d'eau ?				N
14.	Est-ce qu'il y a des signes de moisissures ?				N
A	Tache sur les murs, le plancher ou le plafond				
B	Tache sur le tapis				
C	Odeur				



## QUESTIONNAIRE D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR

Édifice à logements      Bâtiment #1

### II- Système de ventilation

	O/N
<p>15. Décrire le système de ventilation</p> <p>Système à 100% d'air au l'air chassé (le) est fait est amené à leur chaque palier</p>	
<p>16. Est-ce que le volume d'air extérieur constant durant toute l'année ?</p>	0
<p>17. Est-ce que le système recircule seulement ?</p> <p>A Est-ce un système avec recirculation (H) ? B Quel est le % maximum utilisé ? C Quel est le % minimum utilisé ? D Quel est le % actuellement utilisé ?</p>	0
<p>18. L'air est alimenté aux étages par:</p> <p>Volume constant volume d'air variable, pompe à chaleur, autres _____ inconnu</p>	
<p>19. Est-ce que le corridor est pressurisé ?</p> <p>A Est-ce que les logements évacuent dans le corridors ?</p>	0 0



## QUESTIONNAIRE D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR

Édifice à logements      *Bâtiment #1*

### II- Système de ventilation

	O/N
20. Quelle est la température de l'eau chaude domestique ? <i>Produit dans chaque logement.</i>	
21. Y-a-t-il une entrée d'air distincte pour le système de ventilation ?	0
A    L'entrée d'air est-elle en dessous du 3e étage ?	N
B    L'entrée d'air est-elle à moins de 10 mètres de l'entrée du garage ?	N
C    L'entrée d'air est-elle à moins de 10 mètres d'une évacuation ?	N
D    L'entrée d'air est-elle près d'une pièce d'eau ou d'une tour d'eau ?	N
E    L'entrée d'air est-elle souillée par des débris organiques ?	N
F    Y-a-t-il d'autres sources de pollution près de l'entrée d'air ?	N
22. Est-ce que le système de ventilation est filtré ?	0
A    Est-ce que les filtres sont manquants ?	N
B    Est-ce que les filtres sont changés régulièrement ?	0
C    Est-ce que les filtres ont les bonnes dimensions ?	N
D    Est-ce que les filtres sont sales ?	N
E    Est-ce que les filtres sont humides ?	N
23. Est-ce qu'il y a un humidificateur à eau ?	N
A    Est-il supposé d'opérer aujourd'hui ?	
B    Est-ce qu'il opère présentement ?	
C    Si oui, est-ce qu'il se draine correctement ?	
D    Est-ce qu'il y a du limon dans le bassin ?	
E    Est-ce qu'il y a une odeur ?	
F    Est-ce qu'il y a des champignons dans la gaine ?	
G    Est-ce qu'il y a évidence de mousse ?	
H    Est-ce que l'eau est dure ?	
I    Si oui, Y-a-t-il des dépôts sur la vanne ?	
J    Est-ce que le volume est nettoyé et la poussière envoyée dans la gaine ?	

## QUESTIONNAIRE D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR

Édifice à logements      *Batiment # 1*

### II- Système de ventilation (suite)

24. Est-ce qu'un humidificateur à vapeur est utilisé ?	O/N N
A    Est-il supposé d'opérer aujourd'hui ?	
B    Est-ce qu'il est en opération maintenant ?	
C    Si oui, utilise-t-on des inhibiteurs de rouille ? Inscrire leur nom.	
25. Est-ce que le système est climatisé ?	N
A    Est-il supposé d'opérer aujourd'hui ?	
B    Est-ce qu'il est en opération maintenant ?	
C    Si oui, est-ce que le bassin est nettoyé chaque semaine ?	
D    Est-ce qu'il y a du limon ?	
E    Est-ce que le serpentín est sale ?	
F    Est-ce qu'il y a des odeurs ?	
26. Est-ce que les gaines sont isolées ?	N
A    Isolation intérieure ?	
B    Est-ce que les gaines ont été nettoyées depuis plus de 5 ans ?	
27. Y-a-t-il évidence de condensation dans la gaine ?	N

**QUESTIONNAIRE D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR**

Édifice à logements      *Batiment #1*

III- Formulaire d'observation

Emplacement

	O/N
28. Observation générale	
A Y-a-t-il des endroits de trempés (murs, plafonds) ?	2
B Est-ce que les tapis et rideaux sont humides ?	2
C Y-a-t-il des plantes ?	0
D Y-a-t-il des moisissures sur les plantes ou sur le sol ?	2
E Y-a-t-il des mites sur les plantes ?	2
F Y-a-t-il des animaux domestiques ?	2
G Y-a-t-il des odeurs ?	2
H Qualifier si possible, l'odeur Echappement d'auto, diesel, fournaise, système de chauffage, animaux, corporelle, moisissure, chimique, solvant, ciment ou plâtre poussièreux, crayeux.	
I Y-a-t-il des ventilateurs pour améliorer la circulation d'air ?	0
J Y-a-t-il de la poussière visible ?	2
K Y-a-t-il évidence de condensation sur les fenêtres et murs. <i>très bonne qualité</i>	2
29. Y-a-t-il des diffuseurs d'air ?	
A Peut-on observer des moisissures, de la poussière autour ?	2
B Sont-ils obstrués ?	
30. Y-a-t-il un extracteur d'air ?	0
A L'évacuation est-elle insuffisante ?	0
B Est-ce que la grille est sale ?	2
C Est-elle obstruée ?	2
31. Est-ce qu'il y a eu du tapis ou des meubles d'installés dans les trois derniers mois ? <i>aucun des deux</i>	0
32. Est-ce qu'il y a beaucoup de contreplaqué ?	0

## QUESTIONNAIRE D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR

Édifice à logements *Batiment # 1*

### III- Formulaire d'observation (suite)

#### Emplacement

33. Y-a-t-il une cuisinière au gaz ?	O/N ✓
A Y-a-t-il un évacuateur pour les gaz de combustion ?	
B Est-ce que la cuisinière est utilisée sans évacuation ?	N
34. Y-a-t-il un poêle à bois ou une fournaise au gaz ?	
A Est-ce qu'ils sont mal ventilés ?	
B Est-ce qu'il semble manquer d'air d'appoint ?	N
35. Y-a-t-il un chauffage indépendant (gaz ou kérosène) ?	
A Sont-ils dans un espace mal ventilé ?	
B Y-a-t-il des odeurs de combustion ?	
C L'air est-il recirculé plutôt qu'évacué ?	O
36. Y-a-t-il un réfrigérateur ?	N
A Est-ce qu'il y a des aliments avec moisissure ?	
B Est-ce que le drain est obstrué ?	
C Est-ce que le bassin est humide ?	
D Est-ce que les échangeurs sont sales ?	
<i>} non observé</i>	
37. Y-a-t-il des moisissures sur les tuiles, murs et plafonds de la salle de bain ?	N
38. Y-a-t-il un humidificateur ou déshumidificateur ?	N
A Sont-ils sales ?	
39. Y-a-t-il des fuites à l'évier, toilette, douche ou bain ?	N
40. Y-a-t-il des ouvertures sur l'extérieur où pourraient être introduits des contaminants ?	N



## COMMENTAIRES DES OCCUPANTS

Emplacement *Bâtiment # 2*

	O/N
<p>1. Décrivez les conditions habituelles de la température.</p> <p><i>Bien</i> trop chaud, trop froid, quelques fois chaud, quelques fois froid.</p>	
<p>2. Décrivez les conditions habituelles de l'air.</p> <p><i>Bien</i> venteux, inerte, suffoquant, sec.</p>	
<p>3. Est-ce que des odeurs vous agressent ?</p> <p>Si oui, indiquez la fréquence.</p> <p>Rarement, occasionnellement, fréquemment, toujours.</p> <p>Qu'est-ce qui décrit le mieux le type d'odeur ?</p> <p>Echappement d'auto, diesel, fournaise, système de chauffage, animaux corporels, moisissure, chimique, solvant, ciment au plâtre poussiéreux, crayeux.</p> <p>À quoi attribuez-vous cette odeur ?</p>	<i>✓</i>
<p>4. Pourriez-vous corriger les problèmes décrits avant ?</p> <p>Comment ?</p>	
<p>5. Y-a-t-il déjà eu des dégâts d'eau ?</p>	<i>✓</i>
<p>6. Etes-vous allergique ?</p> <p>Si oui, quel type ?</p> <p>- Respiratoire, peau, nourriture, autre.</p> <p>Est-ce que vos allergies sont pires dans l'immeuble ?</p>	<i>✓</i>

COMMENTAIRES DES OCCUPANTS (SUIITE)

Emplacement *Bâtiment # 1*

<p>7. Quels malaises pensez-vous sont dus au bâtiment ? - <i>Aucun</i></p> <p>Maux de tête, fatigue, faiblesse, étourdissement, nausée, maux d'estomac, irritation de la peau, yeux secs, yeux picotants, yeux pleurants, vision embrouillée, nez bloqué, nez qui coule, éternuement, mal de gorge, gorge sèche, bronchite, toux, asthme.</p> <p>8. A quel moment, est-ce que les symptômes sont les pires ?</p> <p>Matin, après-midi, soirée, nuit, toujours ? Sur semaine, fins de semaine, toujours ?</p> <p>9. Est-ce que les symptômes coïncident avec ou après les travaux d'entretien ?</p> <p>Si oui, décrivez.</p> <p>10. Autres commentaires</p>	<p>O/N</p>
--	------------

QUESTIONNAIRE D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEURÉdifice à logements *Batiment # 2*

## I Espaces communs

1. Année de construction	<i>1959</i>	O/N
Est-ce que les éléments suivants sont manquants:		
A Les plans tels que construits ?	<i>e</i>	0
B Les plans actuels ?		0
C Les procédures d'opération et d'entretien ?		0
D Les programmes d'entretien des systèmes ?		0
2. Y-a-t-il un endroit où du tapis a été installé récemment ?		0
A Si oui, est-ce que les odeurs ont persisté plus d'une semaine ?		N
B À quel endroit ?		
3. Y-a-t-il un endroit qui a été repeint récemment ?		0
A Si oui, est-ce que les odeurs ont persisté plus d'une semaine ?		N
B À quel endroit ?		
4. Y-a-t-il eu récemment ou régulièrement un procédé de nettoyage qui utilise une grande quantité de solvant ?		N
A Si oui, quels sont les produits ?		
5. Est-ce que le chauffage d'espace ou d'eau est produit par combustible ?		0
A Est-ce qu'il y a des signes de fuite des produits de combustion ?		N
Où:		
B Est-ce qu'il y a des odeurs de produits de combustion ?		N
Où: ?		
6. Y-a-t-il un stationnement intérieur ?		0
A Est-ce que le système de ventilation était inopérant ?		N
B Est-ce que le système de ventilation est arrêté par période ?		N
C Est-ce que le système est contrôlé ?		0
D Est-ce que le système est contrôlé par détecteur de CO ?		
E Si oui, inscrire la date de la dernière calibration ? <i>juille / 90/</i>		N
F Est-ce qu'il y a des obstructions à l'entrée et la sortie d'air ?		N
G Est-ce que l'air du stationnement entre dans l'édifice ?		N
	<i>du 120 sur pas à l'ascenseur et à l'escalier</i>	

## QUESTIONNAIRE D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR

Édifice à logements    *Batiment # 2*

### I    Espaces communs (suite)

	O/N
7. Est-ce qu'il y a un système pour les vidanges ?	0
A    Est-ce que l'évacuateur est fermé ou inopérant ? <i>merci tant</i>	
B    Est-ce que l'air de la salle des ordures peut entrer dans l'édifice ?	
C    Est-ce qu'il y a une mauvaise odeur associée avec le système ? <i>ou bien un certain type de sacs de plastique</i>	
8. Est-ce qu'il y a une piscine <u>N</u> , sauna <u>N</u> , salle d'exercice <u>N</u>	
A    Est-ce mal nettoyé ?	—
B    Y-a-t-il des moisissures ?	—
C    Y-a-t-il de la condensation ?	—
D    Est-ce que l'humidité est trop élevée ?	—
E    Est-ce qu'il y a des produits biodégradables qui sont mouillés régulièrement ?	—
9. Y-a-t-il un sous-sol en terre ?	N
A    Y-a-t-il des locaux occupés tout près ?	
B    Si oui: indiquez.	
C    Est-ce que l'on y manque de ventilation ?	
D    Est-ce qu'il y a des odeurs ?	
10. Y-a-t-il des endroits où les murs ou plancher sont percés ?	N
A    Si oui, indiquez.	
B    Est-ce que l'on y manque de ventilation ?	
C    Est-ce qu'il y a des odeurs ?	
11. Y-a-t-il un isolant en mousse dans les murs ?	N
A    Polyuréthane, polystyrène, formaldéhyde, inconnu	
12. Est-ce que les plans montrent de l'isolant à l'amiante tuyau structure ?	N
A    Si oui, est-ce qu'il y a des fibres qui se détachent ?	
13. Est-ce qu'il y a eu inondation ou dégât important d'eau ?	N
14. Est-ce qu'il y a des signes de moisissures ?	
A    Tache sur les murs, le plancher ou le plafond	
B    Tache sur le tapis	
C    Odeur	



**QUESTIONNAIRE D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR**

Édifice à logements Bâtiment # 2

**II- Système de ventilation**

<p>15. Décrire le système de ventilation</p> <p><i>Système de 100% d'air ayant sa prise d'air frais au niveau des sols, l'air est chauffé et distribué dans les corridors.</i></p>	<p>O/N</p>
<p>16. Est-ce que le volume d'air extérieur constant durant toute l'année ?</p>	<p>O</p>
<p>17. Est-ce que le système recircule seulement ?</p>	<p>N</p>
<p>A Est-ce un système avec recirculation (H) ?</p>	<p>N</p>
<p>B Quel est le % maximum utilisé ? 100%</p>	<p>1</p>
<p>C Quel est le % minimum utilisé ?</p>	<p>1</p>
<p>D Quel est le % actuellement utilisé ?</p>	<p>1</p>
<p>18. L'air est alimenté aux étages par:  <u>Volume constant</u>, volume d'air variable, pompe à chaleur,  autres _____ inconnu</p>	<p>O</p>
<p>19. Est-ce que le corridor est pressurisé ?</p>	<p>O</p>
<p>A. Est-ce que les logements évacuent dans les corridors ?</p>	<p>N</p>

## QUESTIONNAIRE D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR

Édifice à logements *Batiment # 2*

### II- Système de ventilation

	O/N
20. Quelle est la température de l'eau chaude domestique ?	150°C
21. Y-a-t-il une entrée d'air distincte pour le système de ventilation ? <i>1 seul</i>	<del>10/11</del>
A L'entrée d'air est-elle en dessous du 3e étage ?	0
B L'entrée d'air est-elle à moins de 10 mètres de l'entrée du garage ?	
C L'entrée d'air est-elle à moins de 10 mètres d'une évacuation ?	
D L'entrée d'air est-elle près d'une pièce d'eau ou d'une tour d'eau ?	
E L'entrée d'air est-elle souillée par des débris organiques ?	
F Y-a-t-il d'autres sources de pollution près de l'entrée d'air ?	
22. Est-ce que le système de ventilation est filtré ?	
A Est-ce que les filtres sont manquants ?	
B Est-ce que les filtres sont changés régulièrement ?	
C Est-ce que les filtres ont les bonnes dimensions ?	
D Est-ce que les filtres sont sales ?	
E Est-ce que les filtres sont humides ?	
23. Est-ce qu'il y a un humidificateur à eau ?	✓
A Est-il supposé d'opérer aujourd'hui ?	
B Est-ce qu'il opère présentement ?	
C Si oui, est-ce qu'il se draine correctement ?	
D Est-ce qu'il y a du limon dans le bassin ?	
E Est-ce qu'il y a une odeur ?	
F Est-ce qu'il y a des champignons dans la gaine ?	
G Est-ce qu'il y a évidence de mousse ?	
H Est-ce que l'eau est dure ?	
I Si oui, Y-a-t-il des dépôts sur la vanne ?	
J Est-ce que le volume est nettoyé et la poussière envoyée dans la gaine ?	

## QUESTIONNAIRE D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR

Édifice à logements Bâtiment # 2

### II- Système de ventilation (suite)

	O/N
24. Est-ce qu'un humidificateur à vapeur est utilisé ?	✓
A Est-il supposé d'opérer aujourd'hui ?	
B Est-ce qu'il est en opération maintenant ?	
C Si oui, utilise-t-on des inhibiteurs de rouille ? Inscrire leur nom.	
25. Est-ce que le système est climatisé ?	✓
A Est-il supposé d'opérer aujourd'hui ?	
B Est-ce qu'il est en opération maintenant ?	
C Si oui, est-ce que le bassin est nettoyé chaque semaine ?	
D Est-ce qu'il y a du limon ?	
E Est-ce que le serpentin est sale ?	
F Est-ce qu'il y a des odeurs ?	
26. Est-ce que les gaines sont isolées ?	✓
A Isolation intérieure ?	
B Est-ce que les gaines ont été nettoyées depuis plus de 5 ans ?	
27. Y-a-t-il évidence de condensation dans la gaine ?	✓

## QUESTIONNAIRE D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR

Édifice à logements      *Batiment # 2*

### III- Formulaire d'observation

#### Emplacement

	O/N
<b>28. Observation générale</b>	
A    Y-a-t-il des endroits de trempés (murs, plafonds) ?	2
B    Est-ce que les tapis et rideaux sont humides ?	2
C    Y-a-t-il des plantes ?	2
D    Y-a-t-il des moisissures sur les plantes ou sur le sol ?	2
E    Y-a-t-il des mites sur les plantes ?	2
F    Y-a-t-il des animaux domestiques ?	2
G    Y-a-t-il des odeurs ?	2
H    Qualifier si possible, l'odeur Echappement d'auto, diesel, fournaise, système de chauffage, animaux, corporelle, moisissure, chimique, solvant, ciment ou plâtre poussiéreux, crayeux.	2
I    Y-a-t-il des ventilateurs pour améliorer la circulation d'air ?	2
J    Y-a-t-il de la poussière visible ?	2
K    Y-a-t-il évidence de condensation sur les fenêtres et murs.	2
<b>29. Y-a-t-il des diffuseurs d'air ?</b>	2
A    Peut-on observer des moisissures, de la poussière autour ?	
B    Sont-ils obstrués ?	
<b>30. Y-a-t-il un extracteur d'air ?</b>	0
A    L'évacuation est-elle insuffisante ?	2
B    Est-ce que la grille est sale ?	2
C    Est-elle obstruée ?	2
<b>31. Est-ce qu'il y a eu du tapis ou des meubles d'installés dans les trois derniers mois ?</b>	2
<b>32. Est-ce qu'il y a beaucoup de contreplaqué ?</b>	2

**QUESTIONNAIRE D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR**

Édifice à logements *Bâtiment # 2*

III- Formulaire d'observation (suite)

Emplacement

33. Y-a-t-il une cuisinière au gaz ?	O/N N
A Y-a-t-il un évacuateur pour les gaz de combustion ?	
B Est-ce que la cuisinière est utilisée sans évacuation ?	
34. Y-a-t-il un poêle à bois ou une fournaise au gaz ?	N
A Est-ce qu'ils sont mal ventilés ?	
B Est-ce qu'il semble manquer d'air d'appoint ?	
35. Y-a-t-il un chauffage indépendant (gaz ou kérosène) ?	N
A Sont-ils dans un espace mal ventilé ?	
B Y-a-t-il des odeurs de combustion ?	
C L'air est-il recirculé plutôt qu'évacué ?	
36. Y-a-t-il un réfrigérateur ?	O
A Est-ce qu'il y a des aliments avec moisissure ?	
B Est-ce que le drain est obstrué ?	
C Est-ce que le bassin est humide ?	
D Est-ce que les échangeurs sont sales ?	
37. Y-a-t-il des moisissures sur les tuiles, murs et plafonds de la salle de bain ?	N
38. Y-a-t-il un humidificateur ou déshumidificateur ?	N
A Sont-ils sales ?	
39. Y-a-t-il des fuites à l'évier, toilette, douche ou bain ?	N
40. Y-a-t-il des ouvertures sur l'extérieur où pourraient être introduits des contaminants ?	N



## COMMENTAIRES DES OCCUPANTS

Emplacement *Batiment # 2*

<p>1. Décrivez les conditions habituelles de la température.</p> <p><u>Bien</u> trop chaud, trop froid, quelques fois chaud, quelques fois froid.</p> <p>2. Décrivez les conditions habituelles de l'air.</p> <p><u>Bien</u> venteux, inerte, suffoquant, sec.</p> <p>3. Est-ce que des odeurs vous agressent ?</p> <p>Si oui, indiquez la fréquence.</p> <p>Rarement, occasionnellement, fréquemment, toujours.</p> <p>Qu'est-ce qui décrit le mieux le type d'odeur ?</p> <p>Echappement d'auto, diesel, fournaise, système de chauffage, animaux corporels, moisissure, chimique, solvant, ciment au plâtre poussiéreux, crayeux.</p> <p>À quoi attribuez-vous cette odeur ?</p> <p>4. Pourriez-vous corriger les problèmes décrits avant ?</p> <p>Comment ?</p> <p>5. Y-a-t-il déjà eu des dégâts d'eau ?</p> <p>6. Etes-vous allergique ?</p> <p>Si oui, quel type ?</p> <p>- Respiratoire, peau, nourriture, autre.</p> <p>Est-ce que vos allergies sont pires dans l'immeuble ?</p>	<p>O/N</p> <p>N</p> <p>N</p> <p>N</p>
--	---------------------------------------

COMMENTAIRES DES OCCUPANTS (SUTTE)

Emplacement *Bâtiment # 2*

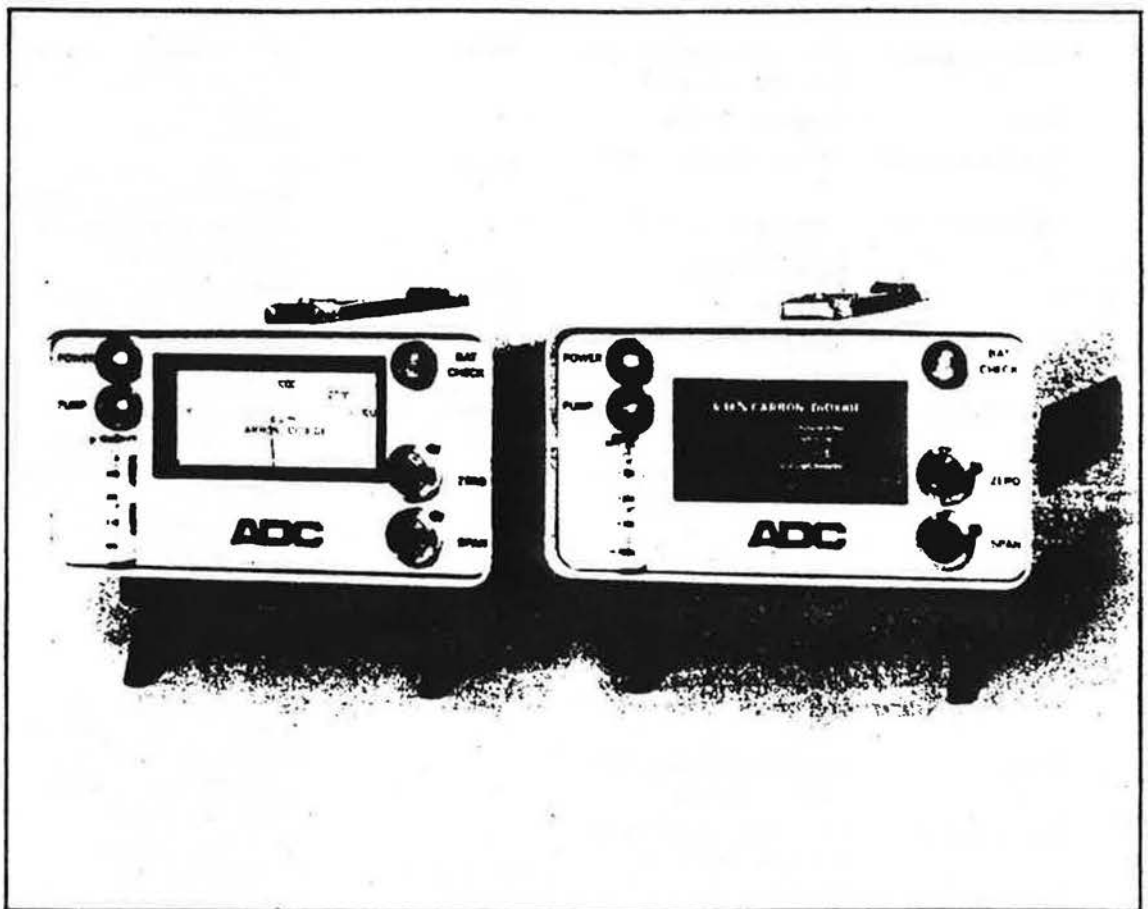
<p>7. Quels malaises pensez-vous sont dus au bâtiment ? <i>suave</i></p> <p>Maux de tête, fatigue, faiblesse, étourdissement, nausée, maux d'estomac, irritation de la peau, yeux secs, yeux picotants, yeux pleurants, vision embrouillée, nez bloqué, nez qui coule, éternuement, mal de gorge, gorge sèche, bronchite, toux, asthme.</p> <p>8. A quel moment, est-ce que les symptômes sont les pires ? <i>N/A</i></p> <p>Matin, après-midi, soirée, nuit, toujours ? Sur semaine, fins de semaine, toujours ?</p> <p>9. Est-ce que les symptômes coïncident avec ou après les travaux d'entretien ? <i>N/A</i></p> <p>Si oui, décrivez.</p> <p>10. Autres commentaires</p>	<p>O/N</p>
--	------------

# THE PM 2 SERIES



## Infrared Gas Analysis

A range of lightweight, portable  
battery-powered infrared gas analysers



- ★ Warm-up less than 3 minutes
- ★ No moving parts in optical system
- ★ Sample pump incorporated
- ★ No consumable chemicals
- ★ 8 hours operation between charges
- ★ Automatic battery protection

The 'PM 2' range of infrared gas analysers has been developed for applications requiring a tough, easily transportable battery-powered gas analyser for routine sampling. With the use of probes and filters it provides a low cost analyser for the measurement of furnace atmospheres, stacks, internal combustion engine exhaust gases, controlled atmosphere chambers etc.



The 'PM 2' range is available for the measurement of a single gas such as carbon dioxide, carbon monoxide, hydrocarbons and other gases at percentage levels. The unit incorporates a rechargeable battery with sufficient capacity to drive the analyser and pump for a period in excess of eight hours. A battery check facility and a 'low battery' warning indicator are provided on the front panel. A stand alone mains driven battery charger is supplied as standard, which when connected to the analyser, in addition to charging the battery also enables the analyser and pump to be run continuously. Gas and electrical connections are at the rear of the instrument, with the user option of the pump being in or out of the gas circuit.

A nylon-pvc padded hold-all designed to carry the analyser, charger, sample tubing and instruction manual is available as an option.

<b>Specification:</b>		<b>Read out</b>	: Analogue taut band moving coil meter with 80 mm (nominal) directly calibrated gas law scale Linearly calibrated scale } options Digital panel meter }
<b>Optical system</b>	: Double beam in space infrared unit with wavelength isolation by optical interference filter Solid state detector		
<b>Gases measured</b>	: CO, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> and other heteroatomic gases	<b>Output</b>	: 0-1V non-linear, standard 0-10mV, 100mV, 1V, 10V linear } options 4-20mA linear }
<b>Range</b>	: Single range only		
<b>Maximum range</b>	: 0-100% for all measurable gases	<b>Battery</b>	: Sealed lead acid 12V Battery capacity 8-10 hours with continuous use of analyser and pump
<b>Minimum range</b>	: Dependent upon gas, examples: 0-0.3% for CO <sub>2</sub> 0-5% for CO	<b>Electrical connections</b>	: Battery charger mains and instrument leads supplied
<b>Precision</b>	: 2% of full scale deflection (f.s.d.)	<b>Front panel controls and indicators</b>	: Instrument on-off illuminated switch Pump on-off illuminated switch. Battery check switch with low battery warning Directly calibrated meter Multiturn zero and span controls Flowmeter
<b>Zero stability</b>	: Better than 2% f.s.d. per 24 hours		
<b>Response time</b>	: Typically 10 seconds to 90% of final reading	<b>Rear panel fittings</b>	: Cell and pump gas connections. Fuses Recorder output jack socket. Pump flow control Internal-external power switch. Charger/external 12V supply socket
<b>Ambient temperature effect (5-35°C)</b>	: < 0.2% f.s.d. per 1°C	<b>Power requirements</b>	: 12V external supply or 200-250V 50Hz <50VA for charger 100-120V 50Hz ) 100-120V 60Hz ) to order
<b>Operational temperature range</b>	: 5-35°C	<b>Dimensions (H x W x D)</b>	: Analyser 120x200x300mm Charger 80x100x220mm
<b>Flow rate</b>	: Not critical. Typically 0.4 l min <sup>-1</sup>	<b>Weight</b>	: Analyser(with battery)4.5 kg Charger 2.25 kg
<b>Pump</b>	: Mounted internally. 0.5 l min <sup>-1</sup> free flow	<b>Packed for export dimensions &amp; weight</b>	: 64 x 34 x 24cm 8.5 kg
<b>Flow indicator</b>	: Calibrated 100-400 ml min <sup>-1</sup> free flow, adjustable		
<b>Warm-up time</b>	: < 3 min		
<b>Gas connections</b>	: Pump and cell connectors on rear panel. 'Push on' connectors for 3-4 mm bore flexible tubing		
<b>Case material</b>	: Mild steel		
<b>Protection rating</b>	: IP 53		



The Analytical Development Co. Ltd.,  
Pindar Road, Hoddesdon,  
Herts. EN11 0AQ, England.

Tel: National (0992) 469638  
International + 44 992 469638  
Fax: National (0992) 444567  
International + 44 992 444567  
Telex: 266952 ADC G

SPECIFICATION AND TEST CERTIFICATE.

INFRARED GAS ANALYSER TYPE PM 3 SERIAL NO.....13,406.....

BATTERY CHARGER SUPPLY VOLTAGE.....120V/60Hz

MEASUREMENT GAS....carbon dioxide.....RANGE.....0 - 500 %

PM2 - ANALOGUE METER SCALE + LINEAR/GAS LAW.

PM3 - DIGITAL LCD.

OUTPUT SIGNAL.....0 - 1 volt.....LINEAR/~~NON~~ LINEAR

ALARM CIRCUIT FITTED YES/NO PRE-SET AT .....

RECOMMENDED STANDARDISING MIXTURE.....400%...CO2.....IN NITROGEN.

DISCRIMINATION.

.....20mb.....OF water vapour.....READS MAXIMUM OF .....Negligible.

.....5%.....OF carbon monoxide.....READS MAXIMUM OF .....Negligible.

.....OF.....READS MAXIMUM OF.....

.....OF.....READS MAXIMUM OF.....

SPECIAL FEATURES.....

.....

.....

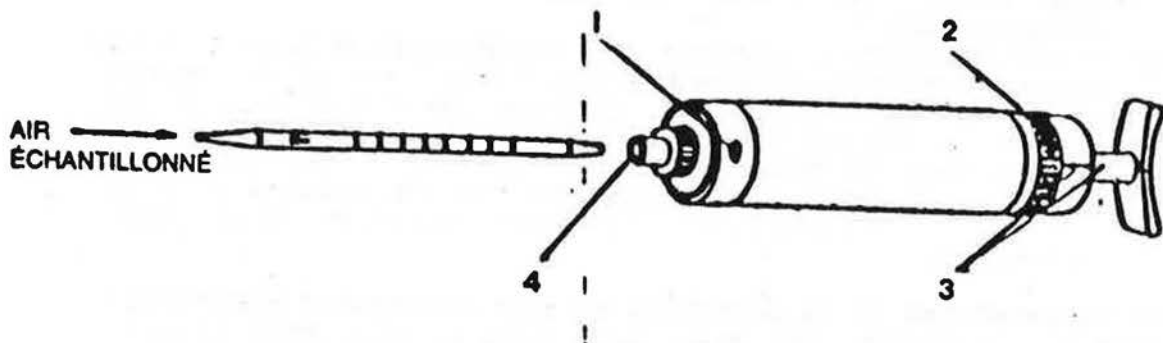
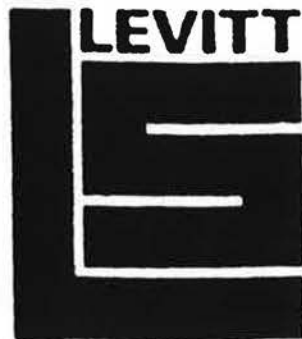
.....

We certify that this instrument has been inspected, tested and calibrated in our factory and has been found to comply with the applicable standards. The accuracy of calibration, after standardisation with a known gas mixture is within ± 2% of full scale deflection over the whole scale.

Certified by .....(final test department)

Month.....SEPTEMBER.....Year.....1988.....

The Analytical Development Company Limited.



#### Certification des tubes détecteurs colorimétriques "Gastec"

L'institut américain "N.I.O.S.H." a établi un programme d'essai et de certification pour garantir que les instruments utilisés pour évaluer l'environnement et pour fournir une protection adéquate, rencontrent des normes acceptables de fonctionnement.

Le décret "O.S.H.A." de 1970 requiert l'utilisation d'instruments certifiés si un tel appareillage n'existe pas:

Présentement, les tubes détecteurs et les appareils à mesurer l'intensité sonore sont les seuls instruments qui sont présentement évalués dans ce programme.

Voici les détails du standard d'essai publiés dans le Registre Fédéral du 8 mai, 1973:

1. Chaque manufacturier doit soumettre les documents pertinents en rapport avec le contrôle de qualité de la production et le système de contrôle de la compagnie, le programme de contrôle de la qualité et le plan de contrôle attachant de l'instrument de mesure, à la Section de Contrôle de la Qualité du "T.C.L." aux fins d'essais pour certification. Le demandeur se verra accorder sa pré-qualification après l'examen de ses documents.



2. En accord avec le Registre Fédéral, le demandeur doit soumettre les documents du contrôle de la qualité du tube détecteur colorimétrique mis à l'essai avec, à l'appui, les résultats des tests 'stipulant' que le tube rencontre les normes requises, et avec un nombre approprié de tubes. Après avoir passé cette étape, le demandeur peut aborder la deuxième étape.
3. Le demandeur soumet ses tubes détecteurs colorimétriques à l'inspection, qui est divisée en deux parties:
  - 1) inspection des paramètres physiques tels l'axe longitudinal des tubes, la couche de détection et l'échelle de l'étalonnage
  - 2) tests de réaction chimique pour en déterminer la précision selon un mélange standard de gaz. Les tests d'inspection physique sont effectués pendant la vérification de l'échantillonnage selon l'"Inspection Level II" tel que décrit dans le "MIL-STD-105D". Les tubes qui ont passé avec succès cette inspection sont dirigés ensuite vers la section "Air Sampling" et sont vérifiés pour leur précision.
4. La vérification de la précision se fait sur quatre concentrations: la moitié, une fois, deux fois et cinq fois la V.L. (T.L.V.) en accord avec l'"Inspection Level IV" tel que décrit dans le "MIL-STD-104".

La méthode standard de production de gaz et la méthode standard d'analyse pour l'essai sont vérifiées dans le Laboratoire de Micro-analyse du "National Bureau of Standards"; ensuite, la concentration de gaz est confirmée par la section "Gas Detector Tube Standard Committee". Le relevé des résultats sur le tube détecteur colorimétrique, soumis au gaz standard, est effectué par trois (3) agents indépendants. (Ils font la lecture des résultats en quatre points de la circonférence, sur l'axe longitudinal.) Les résultats de ces lectures sont introduits dans l'ordinateur et les pourcentages standard de déviation sont calculés.
5. Afin d'obtenir le certificat du "N.I.O.S.H.", le tube détecteur colorimétrique doit se conformer aux normes suivantes:
  - 1) aux fins d'évaluation de la précision, les tubes détecteurs colorimétriques doivent procurer des relevés de concentration de contaminants d'au moins  $\pm 35\%$  de la valeur réelle, dans le cas de la demi-concentration, et d'au moins  $\pm 25\%$  de la valeur réelle, dans le cas de la concentration à une, deux et cinq fois.
  - 2) l'écart standard des lectures sur chaque tube, selon les trois agents, ne doit pas dépasser 10%.
  - 3) lors de l'écoulement de l'air dans le tube détecteur colorimétrique, la variation maximale dans la longueur du décolorant, sur la circonférence du tube, et à la démarcation entre la partie colorée et la partie intacte, ne doit pas dépasser 20%.

6. La liste des tubes détecteurs colorimétriques certifiés selon ce programme sera publiée par le Registre Fédéral à ce moment, le numéro de certification sera émis, et le gouvernement placera l'item sur sa liste approuvée. A partir de ce moment, "N.I.O.S.H." peut acheter au hasard des tubes sur le marché et les vérifier afin de s'assurer qu'ils continuent toujours de rencontrer les normes strictes établies. Les tubes colorimétriques qui ne rencontrent pas ces normes se verront enlever leur certification jusqu'à ce que leurs normes soient rétablies. Les tubes détecteurs colorimétriques "Gastec" qui suivent ont été approuvés par "N.I.O.S.H." et ont leur numéro de certification:

Note: le programme de certification de "N.I.O.S.H." a été discontinué.

Tube no. 1La	Monoxyde de carbone	TC-84-014
Tube no. 5La	Anhydride sulfureux	TC-84-017
Tube no. 9L	Dioxyde d'azote	TC-84-018
Tube no. 4LL	Sulfure d'hydrogène	TC-84-020
Tube no. 2L	Dioxyde de carbone	TC-84-021
Tube no. 3M	Ammoniac	TC-84-023
Tube no. 134	Tétrachlorure de carbone	TC-84-036
Tube no. 132H	Trichloroéthylène	TC-84-038
Tube no. 8La	Chlore	TC-84-041
Tube no. 121	Benzène	TC-84-043
Tube no. 10	Oxyde nitrique	TC-84-049
Tube no. 122	Toluène	TC-84-053
Tube no. 131La	Chlorure de vinyle	TC-84-060
Tube no. 12L	Cyanure d'hydrogène	TC-84-068

##### 5. Rendement de la pompe "Gastec"

###### Description de la pompe

Les composantes de la pompe "Gastec" sont illustrées dans les croquis ci-bas. La pompe procure la plus haute succion sous vide dans sa catégorie (8.1" de mercure). Il n'y a pas d'orifices à coefficient d'écoulement qui peuvent occasionner une défaillance de la pompe par obstruction ou par fuite. Le joint d'étanchéité du piston (burrage servant de lubrifiant) est sans friction et procure un échantillonnage sans fuites en tout temps.

**Tableau de correspondance  
taux de CO<sub>2</sub> vs PCM par personne**

CO2 ppm	PCM /pers.	CO2 ppm	PCM /pers.	CO2 ppm	PCM /pers.	CO2 ppm	PCM /pers.
400	150	925	18	1450	9	1975	6
425	111	950	17	1475	9	2000	6
450	88	975	16	1500	9	2025	6
475	72	1000	16	1525	9	2050	6
500	62	1025	15	1550	9	2075	6
525	54	1050	15	1575	8	2100	6
550	48	1075	14	1600	8	2125	6
575	43	1100	14	1625	8	2150	6
600	39	1125	13	1650	8	2175	6
625	36	1150	13	1675	8	2200	6
650	33	1175	12	1700	8	2225	6
675	30	1200	12	1725	8	2250	5
700	28	1225	12	1750	7	2275	5
725	27	1250	11	1775	7	2300	5
750	25	1275	11	1800	7	2325	5
775	24	1300	11	1825	7	2350	5
800	22	1325	11	1850	7	2375	5
825	21	1350	10	1875	7	2400	5
850	20	1375	10	1900	7	2425	5
875	19	1400	10	1925	7	2450	5
900	18	1425	10	1950	6	2475	5

**Tableau de correspondance  
PCM par personne vs taux de CO<sub>2</sub>**

PCM pers.	CO2 ppm	PCM /pers.	CO2 ppm	PCM /pers.	CO2 ppm	PCM /pers.	CO2 ppm
1	10830	22	807	43	574	64	494
2	5580	23	787	44	569	65	492
3	3830	24	768	45	563	66	489
4	2955	25	750	46	558	67	487
5	2430	26	734	47	553	68	484
6	2080	27	719	48	549	69	482
7	1830	28	705	49	544	70	480
8	1643	29	692	50	540	71	478
9	1497	30	680	51	536	72	476
10	1380	31	669	52	532	73	474
11	1285	32	658	53	528	74	472
12	1205	33	648	54	524	75	470
13	1138	34	639	55	521	76	468
14	1080	35	630	56	518	77	466
15	1030	36	622	57	514	78	465
16	986	37	614	58	511	79	463
17	948	38	606	59	508	80	461
18	913	39	599	60	505	81	460
19	883	40	593	61	502	82	458
20	855	41	586	62	499	83	457
21	830	42	580	63	497	84	455

**CONCENTRATION D'ANHYDRIDE CARBONIQUE [CO<sub>2</sub>] EN PPM**

<b>Bâtiment # 1</b>	<b>CONCENTRATION D'ANHYDRIDE CARBONIQUE CO<sub>2</sub> EN PPM</b>
Pièce	
Extérieur	380
Piscine	400
Garage	380
Appartement 505	400
Génératrice	400

<b>Bâtiment # 2</b>	<b>CONCENTRATION D'ANHYDRIDE CARBONIQUE CO<sub>2</sub> EN PPM</b>
Pièce	
Extérieur	380
Garage	380
Chambre des fournaies	380
Appartement 501	380
Corridor	390

Relevé par: Pierre Marcotte

Bâtiment: \_\_\_\_\_

Date: 18/09/91



## MONOXYDE DE CARBONE

<b>Caractéristique du tube de mesure</b>	1 L A		
Plage de calibration	25-500 ppm	n = 1	Limite de détection: 1 PPM (n=3) Temps 4 minutes/coup 3 minutes/demi-coup N = Nombre de coups de pompe
Plage de mesure	8-25 ppm	n = 3	
	25-500	n = 1	
	500-1 000	n = 0,5	

<b>Donnée physique</b>		
Symbole chimique:	CO	Point d'ébullition: - 192° C
Poids spécifique:	28,01	Temp. auto ignition: 609° C
Point de fusion:	- 207	Pression de vapeur: --
Densité spécifique à 20° C et 1 atm:	0,97	

<b>Nature du danger</b>	Concentration	Effet sur la santé
Valeur moyenne (TLV): 50 mm	300 ppm/hre	aucun effet
	600	effet appréciable
Valeur maximale (STEL): 400 mm	1 000	nausée, mal de tête
	1 500	dangereux pour la vie
	4 000	mort

Provenance  
 Le monoxyde de carbone est produit par la combustion, moteur ou chaudière. Sa production augmente lorsque la combustion est incomplète.

## RELEVÉ

Pièce	Calibration ppm	Lecture	Erreur min. ppm	Erreur max.	Note
<b>Bâtiment # 1</b>					
Extérieur	8 - 25	0	1		
Garage	8 - 25	3,5	1		
Piscine	8 - 25	2,5	1		
Appartement	8 - 25	0	1		
<b>Bâtiment # 2</b>					
Extérieur	8 - 25	0	1		
Garage	8 - 25	6,25	1		Tout près du garage
Fournaise	8 - 25	2,50	1		
Appartement	8 - 25	0	1		

Relevé par: Pierre Marcotte

Bâtiment: \_\_\_\_\_

Date: 18/09/91



## FORMALDEHYDE

<b>Caractéristique du tube de mesure</b> 91 L	
Plage de calibration 0,1 - 5 ppm n = 5	Limite de détection: 0,05 PPM (n= 1)
Plage de mesure 0,1 - 5 ppm n = 5 5 - 32,5 ppm n = 1	Temps: 1 minute/coup
	N: Nombre de coups de pompe

<b>Donnée physique</b>			
Symbole chimique:	HCHO	Point d'ébullition:	- 21°C
Poids spécifique:	30,03	Temp. auto ignition:	430°C
Point de fusion:	- 92°C	Pression de vapeur:	--
Densité spécifique à -20°C et 1 atm:	0,819		

<b>Nature du danger</b>	Concentration	Effet sur la santé
Valeur moyenne (TLV): 2 ppm	0,2 ppm	Odeur perceptible
Valeur maximale (STEL): --	1-2 ppm	Irritation de yeux
	5-10 ppm	Conséquence grave pour une exposition de quelques heures

<b>Provenance</b>
La formaldehyde est utilisée dans les colles à bois et à tapis et aussi dans les finis des meubles.

## RELEVÉ

Pièce	Calibration ppm	Lecture	Erreur min. ppm	Erreur max.	Note
<b>Bâtiment # 1</b>					
Extérieur	0,1 - 5	0	0,05		
Piscine	0,1 - 5	0	0,05		
Appartement	0,1 - 5	0	0,05		
<b>Bâtiment # 2</b>					
Extérieur	0,1 - 5	0	0,05		
Appartement	0,1 - 5	0	0,05		

Relevé par: Pierre Marcotte

Bâtiment: \_\_\_\_\_

Date: 18/09/91

## OZONE

<b>Caractéristique du tube de mesure</b> 18 L			
Plage de calibration	0,05-0,06 ppm	n = 5	Limite de détection: 0,01 PPM (n=10) Temps: 30 secondes/coup N: Nombre de coups de pompe
Plage de mesure	0,025-0,05 ppm	n = 10	
	0,05-0,06 ppm	n = 5	
	0,06-3 ppm	n = 1	

<b>Donnée physique</b>			
Symbole chimique:	O <sub>3</sub>	Point d'ébullition:	- 112°C
Poids spécifique:	48,0	Temp. auto ignition:	--
Point de fusion:	- 193°C	Pression de vapeur:	--
Densité spécifique à 0°C et 1 atm:	2,14		

<b>Nature du danger</b>	Concentration	Effet sur la santé
Valeur moyenne (TLV): 0,1 ppm	2 ppm	Aucun effet pendant plusieurs minutes
Valeur maximale (STEL): 0,3 ppm	50 ppm	Mort après 30 minutes

<b>Provenance</b>
L'ozone est produit lors des décharges électriques dans les bureaux, ce sont les photocopieurs et les moteurs à brosse qui sont les plus grands producteurs.

## RELEVÉ

Pièce	Calibration ppm	Lecture	Erreur min.	Erreur max. ppm	Note
<b>Bâtiment # 1</b>					
Extérieur	0,5-0,06	0		0,01	
Piscine	0,5-0,06	0		0,01	
Appartement	0,5-0,06	0		0,01	
<b>Bâtiment # 2</b>					
Extérieur	0,5-0,06	0		0,01	
Appartement	0,5-0,06	0		0,01	

Relevé par: Pierre Marcotte

Bâtiment: \_\_\_\_\_

Date: 18/09/91

## DIOXYDE D'AZOTE

<b>Caractéristique du tube de mesure</b> 9 L			
Plage de calibration	0,5 - 30 ppm	n = 2	Limite de détection: 0,1 PPM (n = 2)
Plage de mesure	0,5 - 30 ppm	n = 2	Temps: 1 minute/coup
	30 - 125 ppm	n = 1	
N:			Nombre de coups de pompe

<b>Donnée physique</b>		Point d'ébullition:	21,3°C
Symbole chimique:	NO <sub>2</sub>	Temp. auto ignition:	--
Poids spécifique:	46,01	Pression de vapeur:	--
Point de fusion:	- 9,3°C		
Densité spécifique à 0°C et 1 atm:	1,49		

<b>Nature du danger</b>	Concentration	Effet sur la santé
Valeur moyenne (TLV): 3 ppm	1 ppm	Odeur perceptible
Valeur maximale (STEL): 5 ppm	10-25 ppm	Irritation sévère de la gorge, nez et système respiratoire
	100-150 ppm	Très dangereux

<b>Provenance</b>
Le dioxyde d'azote est produit par la combustion, soit les moteurs à combustion interne, soit les chaudières.

## RELEVÉ

Pièce	Calibration ppm	Lecture	Erreur min.	Erreur max. ppm	Note
<b>Bâtiment # 1</b>					
Extérieur	0,5 - 30	0		0,1	
Garage	0,5 - 30	0		0,1	
Piscine	0,5 - 30	0		0,1	
Appartement	0,5 - 30	0		0,1	
<b>Bâtiment # 2</b>					
Extérieur	0,5 - 30	0		0,1	
Fournaise	0,5 - 30	0		0,1	
Appartement	0,5 - 35	0		0,1	

Relevé par: Pierre Marcotte

Bâtiment: \_\_\_\_\_

Date: 18/09/91

## OXYDE NITRIQUE

Caractéristique du tube de mesure (10)			
Plage de calibration	5 - 200 ppm	n = 1	Limite de détection: 1 PPM (n = 2) Temps: 1 minute/coup N: Nombre de coups de pompe
Plage de mesure	2,5 - 5 ppm	n = 2	
	5 - 200 ppm	n = 1	

Donnée physique			
Symbole chimique:	NO	Point d'ébullition:	- 151,7°C
Poids spécifique:	30,01	Temp. auto ignition:	---
Point de fusion:	- 161°C	Pression de vapeur:	---
Densité spécifique à 20°C et 1 atm:	134		

Nature du danger	Concentration	Effet sur la santé
Valeur moyenne (TLV): 25 ppm	60-150 ppm	Irritation du nez et de la gorge
Valeur maximale (STEL): 35 ppm	100-150 ppm	Très dangereux
	200-700 ppm	Mort à court terme

Provenance
L'oxyde nitrique est produit par la combustion des produits pétroliers: essence, mazout.

## RELEVÉ

Pièce	Calibration ppm	Lecture	Erreur min.	Erreur max. ppm	Note
<b>Bâtiment # 1</b>					
Extérieur	2,5 - 5	0		1	
Garage	2,5 - 5	0		1	
Piscine	2,5 - 5	0		1	
Appartement	2,5 - 5	0		1	
<b>Bâtiment # 2</b>					
Extérieur	2,5 - 5	0		1	
Garage	2,5 - 5	0		1	
Appartement	2,5 - 5	0		1	

Relevé par: Pierre Marcotte

Bâtiment: \_\_\_\_\_

Date: 18/09/91

## TOLUÈNE

Caractéristique du tube de mesure (122)			
Plage de calibration	10 - 300 ppm	n = 1	Limite de détection: 1 PPM (n = 2)
Plage de mesure	5 - 10 ppm	n = 2	
	10 - 300 ppm	n = 1	
	300 - 600 ppm	n = 5	
			Temps: 2 minutes/coup
			N: Nombre de coups de pompe

Donnée physique			
Symbole chimique:	$C_6H_5CH_3$	Point d'ébullition:	110,8°C
Poids spécifique:	92,14	Temp. auto ignition:	536°C
Point de fusion:	- 95°C	Pression de vapeur:	24 mm Hg
Densité spécifique à 15°C et 1 atm:	0,87		

Nature du danger	Concentration	Effet sur la santé
Valeur moyenne (TLV): 100 ppm	20 ppm	Odeur perceptible
Valeur maximale (STEL): 150 ppm	100 ppm	Irritation bénigne des yeux et du système respiratoire
	200-500 ppm	Fatigue, mal de tête, nausée

Provenance
Le toluène est un solvant utilisé dans les peintures et résine.

## RELEVÉ

Pièce	Calibration ppm	Lecture	Erreur min.	Erreur max. ppm	Note
<b>Bâtiment # 1</b>					
Extérieur	10-300	0		1	
Piscine	10-300	0		1	
Appartement	10-300	0		1	
<b>Bâtiment # 2</b>					
Extérieur	10-300	0		1	
Appartement	10-300	0		1	

Relevé par: Pierre Marcotte

Bâtiment: \_\_\_\_\_

Date: 18/09/91

## XYLÈNE

<b>Caractéristique du tube de mesure</b> (123)			
Plage de calibration	10 - 250 ppm	n = 1	Limite de détection: 1 PPM (n = 2)
Plage de mesure	5 - 10 ppm	n = 2	Temps: 2 minutes/coup
	10 - 250 ppm	n = 1	
	250 - 500 ppm	n = 5	
			N: Nombre de coups de pompe

<b>Donnée physique</b>			
Symbole chimique:	$C_6H_4(CH_3)_2$	Point d'ébullition:	142°C
Poids spécifique:	106,17	Temp. auto ignition:	464°C
Point de fusion:	- 27,95°C	Pression de vapeur:	4,9 mm Hg
Densité spécifique à 20°C et 1 atm:	0,88		

<b>Nature du danger</b>	Concentration	Effet sur la santé
Valeur moyenne (TLV): 100 ppm	10 ppm	Odeur perceptible
Valeur maximale (STEL): 150 ppm	50 ppm	Irritation bénigne du système respiratoire supérieur

Provenance
Le xylène est un solvant utilisé dans les peintures et produits de nettoyage.

## RELEVÉ

Pièce	Calibration ppm	Lecture	Erreur min.	Erreur max. ppm	Note
<b>Bâtiment # 1</b>					
Extérieur	10-250	0		2	
Piscine	10-250	0		2	
Appartement	10-250	0		2	
				2	
<b>Bâtiment # 2</b>					
Extérieur	10-250	0		2	
Appartement	10-250	0		2	

Relevé par: Pierre Marcotte

Bâtiment: \_\_\_\_\_

Date: 18/09/91

## GASOLINE

<b>Caractéristique du tube de mesure</b> (101 L)	
Plage de calibration 30 - 1000 ppm      n = 2	Limite de détection: 5 PPM      (n = 2)
Plage de mesure                                  ppm	Temps:                      2 minutes/coup
	N:                              Nombre de coups de pompe

<b>Donnée physique</b>	
Symbole chimique:                      C <sub>n</sub> C <sub>m</sub>	Point d'ébullition:
Poids spécifique:                              ---	Temp. auto ignition:                      250°C
Point de fusion:                                ---	Pression de vapeur:                        —
Densité spécifique à 20°C et 1 atm:      3,5	

<b>Nature du danger</b>	Concentration                      Effet sur la santé
Valeur moyenne (TLV): 300 ppm *	* La composition de la gasoline varie grandement, ainsi la valeur moyenne doit être déterminée par le contenu d'hydrocarbure aromatique.
Valeur maximale (STEL): 500 ppm *	

Provenance
Les vapeurs de gasoline proviennent des réservoirs d'entreposage des produits.

## RELEVÉ

Pièce	Calibration ppm	Lecture	Erreur min.	Erreur max. ppm	Note
<b>Bâtiment # 1</b>					
Extérieur	30-1000	0		5	
Garage	30-1000	0		5	
Génératrice	30-1000	0		5	
<b>Bâtiment # 2</b>				5	
Extérieur	30-1000	0		5	
Garage	30-1000	0		5	

Relevé par:     Pierre Marcotte    

Bâtiment: \_\_\_\_\_

Date:   18/09/91



Tableau résumé Sabouraud

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
MOISSISSURES									
<i>Alternaria alternata</i>			14				60	11	6
<i>Aspergillus flavipes</i>									
<i>Aspergillus flavus</i>									
<i>Aspergillus fumigatus</i>				6					
<i>Aspergillus niger</i>								3	
<i>Cladosporium cladosporioides</i>		60	20	143	106	86	83	86	171
<i>Epicoccum</i> sp.				37					29
<i>Fusarium</i> sp.				1	3	9			
<i>Monilia sitophila</i> (env.)	1					1			1
<i>Mucor</i> sp.					1				
<i>Mucélia stérilia</i>		1							
<i>Penicillium brevicompactum</i>		29					29	6	
<i>Penicillium chrysogenum</i>			183						
<i>Penicillium cyclopium</i>						3			
<i>Penicillium fellutanum</i>									14
<i>Penicillium glabrum</i>	3		3	74			6		29
<i>Penicillium simplicissimum</i>		3							
<i>Penicillium thomii</i>			14	20		17	23	6	
<i>Pithomyces chartarum</i>	3		3						14
<i>Rhizopus</i> sp.						1			
<i>Trichoderma harzianum</i>					14				
TOTAL	7	93	237	281	124	117	201	112	264
<b>Bâtiment # 1</b>									
1-Piscine									
2-Salle des vidanges									
3-Apt. #505									
4-air extérieur									
<b>Bâtiment # 2</b>									
5-Salle des fournaies									
6-Corridor du 5 <sup>e</sup> étage									
7-Apt. #501									
8-Salle de lavage									
9-air extérieur									



	1	2	3	4	5	6	7	8	9
MOISSISSURES									
Alternaria alternata									
Aspergillus flavipes	9								
Aspergillus flavus	6								
Aspergillus fumigatus									
Aspergillus niger									
Cladosporium cladosporioides									
Epicoccum sp.									
Fusarium sp.								3	
Monilia sitophila (env.)	1	1							
Mucor sp.									
Mucélie stérilia									
Penicillium brevicompactum		77	205			11			
Penicillium chrysogenum									
Penicillium cyclopium									
Penicillium fellutanum									
Penicillium glabrum	3								
Penicillium simplicissimum									
Penicillium thomii									
Pithomyces chartarum									
Rhizopus sp.						1			
Trichoderma harzianum									
TOTAL	19	78	205	0	0	12	0	3	0
BACTERIES									
Groupe Bacillus				11	43	29	9	3	12
Groupe Enterobacter	3								
Groupe Pseudomonas						3	20		
Groupe Staphylococcus non-aureus	3	23	34		15	14	14	20	
TOTAL	6	23	34	11	58	46	43	23	12
Bâtiment # 1									
1-Piscine									
2-Salle des vidanges									
3-Apt. #505									
4-air extérieur									
Bâtiment # 2									
5-Salle des fournaies									
6-Corridor du 5 e étage									
7-Apt. #501									
8-Salle de lavage									
9-air extérieur									



GRAM

Université de Montréal

ANNEXE 22

## Résultats d'analyse

---

**No. Laboratoire** 91-0356  
**No. de l'échantillon soumis** 01a  
**Site** Bâtiment # 1 - Piscine  
**Date d'échantillonnage** Sep 19, 1991

Taxons	Viables (CFU/m3)
<u>Moisissures (SAB)</u>	
Pithomyces chartarum	3
Penicillium glabrum	3
Monilia sitophila (env.)	1
<b>Total</b>	<b>7</b>

---

**No. Laboratoire** 91-0360  
**No. de l'échantillon soumis** 01b  
**Site** Bâtiment # 1 - Piscine  
**Date d'échantillonnage** Sep 19, 1991

Taxons	Viables (CFU/m3)
<u>Moisissures (TSA)</u>	
Aspergillus flavipes	9
Aspergillus flavus	6
Penicillium glabrum	3
Monilia sitophila (env.)	1
<u>Bactéries (TSA)</u>	
Groupe Enterobacter	3
Groupe Staphylococcus	3
<b>Total</b>	<b>19</b>

---

---

**No. Laboratoire** 91-0357  
**No. de l'échantillon soumis** 02a  
**Site** Bâtiment # 1 - Salle des vidanges  
**Date d'échantillonnage** Sep 19, 1991

Taxons	Viables (CFU/m3)
<u>Moisissures (SAB)</u>	
Cladosporium cladosporioides	60
Penicillium brevicompactum	29
Penicillium simplicissimum	3
Mycélia stérilia (env.)	1
<b>Total</b>	<b>93</b>

---

**No. Laboratoire** 91-0361  
**No. de l'échantillon soumis** 02b  
**Site** Bâtiment # 1 - Salle des vidanges  
**Date d'échantillonnage** Sep 19, 1991

Taxons	Viables (CFU/m3)
<u>Moisissures (TSA)</u>	
Penicillium brevicompactum	77
Monilia sitophila (env.)	1
<u>Bactéries (TSA)</u>	
Groupe Staphylococcus non-aureus	23
<b>Total</b>	<b>78</b>
	<b>23</b>

---

---

**No. Laboratoire** 91-0358  
**No. de l'échantillon soumis** 03a  
**Site** Bâtiment # 1 - Appartement témoin  
**Date d'échantillonnage** Sep 19, 1991

Taxons	Viables (CFU/m3)
<u>Moisissures (SAB)</u>	
Penicillium chrysogenum	183
Cladosporium cladosporioides	20
Alternaria alternata	14
Penicillium thomii	14
Penicillium glabrum	3
Pithomyces chartarum	3
<b>Total</b>	<b>237</b>

---

**No. Laboratoire** 91-0362  
**No. de l'échantillon soumis** 03b  
**Site** Bâtiment # 1 - Appartement témoin  
**Date d'échantillonnage** Sep 19, 1991

Taxons	Viables (CFU/m3)
<u>Moisissures (TSA)</u>	
Penicillium brevicompactum	205
<u>Bactéries (TSA)</u>	
Groupe Staphylococcus non-aureus	34
<b>Total</b>	<b>205</b> <b>34</b>

---



**No. Laboratoire** 91-0359  
**No. de l'échantillon soumis** 04a  
**Site** Bâtiment # 1 - Extérieur  
**Date d'échantillonnage** Sep 19, 1991

Taxons	Viables (CFU/m3)
<u>Moisissures (SAB)</u>	
Cladosporium cladosporioides	143
Penicillium glabrum	74
Epicoccum sp.	37
Penicillium thomii	20
Aspergillus fumigatus	6
Fusarium sp. (env.)	1
<b>Total</b>	<b>281</b>

**No. Laboratoire** 91-0363  
**No. de l'échantillon soumis** 04b  
**Site** Bâtiment # 1 - Extérieur  
**Date d'échantillonnage** Sep 19, 1991

Taxons	Viables (CFU/m3)
<u>Bactéries (TSA)</u>	
Groupe Bacillus	11
<b>Total</b>	<b>11</b>

**No. Laboratoire** 91-0364  
**No. de l'échantillon soumis** 05a  
**Site** Bâtiment # 2 - Salle des bouilloires  
**Date d'échantillonnage** Sep 19, 1991

Taxons	Viables (CFU/m3)
<u>Moisissures (SAB)</u>	
Cladosporium cladosporioides	106
Trichoderma harzianum	14
Fusarium sp.	3
Mucor sp. (env.)	1
<b>Total</b>	<b>124</b>

**No. Laboratoire** 91-0369  
**No. de l'échantillon soumis** 05b  
**Site** Bâtiment # 2 - Salle des bouilloires  
**Date d'échantillonnage** Sep 19, 1991

<b>Taxons</b>	<b>Viables (CFU/m3)</b>
<u>Bactéries (TSA)</u>	
Groupe Bacillus	43
Groupe Staphylococcus non-aureus	15
<b>Total</b>	<b>58</b>

**No. Laboratoire** 91-0365  
**No. de l'échantillon soumis** 06a  
**Site** Bâtiment # 2 - Corridor 5e  
**Date d'échantillonnage** Sep 19, 1991

<b>Taxons</b>	<b>Viables (CFU/m3)</b>
<u>Moisissures (SAB)</u>	
Cladosporium cladosporioides	86
Penicillium thomii	17
Fusarium sp.	9
Penicillium cyclopium	3
Monilia sitophila (env.)	1
Rhizopus sp. (env.)	1
<b>Total</b>	<b>117</b>

---

**No. Laboratoire** 91-0370  
**No. de l'échantillon soumis** 06b  
**Site** Bâtiment # 2 - Corridor 5e  
**Date d'échantillonnage** Sep 19, 1991

Taxons	Viables (CFU/m3)	
<u>Moisissures (TSA)</u>		
Penicillium brevicompactum	11	
Rhizopus sp. (env.)	1	
<u>Bactéries (TSA)</u>		
Groupe Bacillus		29
Groupe Staphylococcus non-aureus		14
Groupe Pseudomonas		3
<b>Total</b>	<b>12</b>	<b>46</b>

---

**No. Laboratoire** 91-0366  
**No. de l'échantillon soumis** 07a  
**Site** Bâtiment # 2 - Appartement témoin  
**Date d'échantillonnage** Sep 19, 1991

Taxons	Viables (CFU/m3)	
<u>Moisissures (SAB)</u>		
Cladosporium cladosporioides	83	
Alternaria alternata	60	
Penicillium brevicompactum	29	
Penicillium thomii	23	
Penicillium glabrum	6	
<b>Total</b>	<b>201</b>	

---



**No. Laboratoire** 91-0371  
**No. de l'échantillon soumis** 07b  
**Site** Bâtiment # 2 - Appartement témoin  
**Date d'échantillonnage** Sep 19, 1991

Taxons	Viables (CFU/m3)
<u>Bactéries (TSA)</u>	
Groupe Pseudomonas	20
Groupe Staphylococcus non-aureus	14
Groupe Bacillus	9
<b>Total</b>	<b>43</b>

**No. Laboratoire** 91-0367  
**No. de l'échantillon soumis** 08a  
**Site** Bâtiment # 2 - Salle de lavage  
**Date d'échantillonnage** Sep 19, 1991

Taxons	Viables (CFU/m3)
<u>Moisissures (SAB)</u>	
Cladosporium cladosporioides	86
Alternaria alternata	11
Penicillium brevicompactum	6
Penicillium thomii	6
Aspergillus niger	3
<b>Total</b>	<b>112</b>

**No. Laboratoire** 91-0372  
**No. de l'échantillon soumis** 08b  
**Site** Bâtiment # 2 - Salle de lavage  
**Date d'échantillonnage** Sep 19, 1991

Taxons	Viables (CFU/m3)
<u>Moisissures (TSA)</u>	
Fusarium sp.	3
<u>Bactéries (TSA)</u>	
Groupe Staphylococcus non-aureus	20
Groupe Bacillus	3

**Total**                      **3**                      **23**

---

**No. Laboratoire**                      91-0368  
**No. de l'échantillon soumis** 09a  
**Site**                                      Bâtiment # 2 - Extérieur  
**Date d'échantillonnage**            Sep 19, 1991

<b>Taxons</b>	<b>Viables (CFU/m3)</b>
<u>Moisissures (SAB)</u>	
Cladosporium cladosporioides	171
Epicoccum sp.	29
Penicillium glabrum	29
Pithomyces chartarum	14
Penicillium fellutanum	14
Alternaria alternata	6
Monilia sitophila (env.)	1
<b>Total</b>	<b>264</b>

---

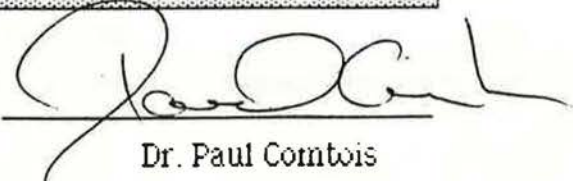
**No. Laboratoire**                      91-0373  
**No. de l'échantillon soumis** 09b  
**Site**                                      Bâtiment # 2 - Extérieur  
**Date d'échantillonnage**            Sep 19, 1991

<b>Taxons</b>	<b>Viables (CFU/m3)</b>
<u>Bactéries (TSA)</u>	
Groupe Bacillus	12
<b>Total</b>	<b>12</b>

---

Imprimé le: October 8, 1991

Vérifié par: \_\_\_\_\_

  
 Dr. Paul Comtois

Rapport terminé le:                      Oct 8, 1991

Les échantillons seront détruits le:      Nov 8, 1991

# Airborne Bacteria and Fungi in Rural Houses in Finland

A.-L. Pasanen

M. Tuomainen

P. Kalliokoski, Ph.D.

A. Nevalainen, Ph.D.

## ABSTRACT

*Indoor air bacteria and fungal spore counts and flora were studied in six farmhouses and seven other rural houses of different ages. The lowest total microbial counts were detected in the new houses. Unlike in urban homes, spores of actinomycetes and thermophilic fungi were found to belong to normal indoor air microbial flora in all rural houses. The highest normal count for mesophilic fungal spores of urban homes in the winter was often exceeded in the old rural houses and less frequently in the new ones. This study indicates that, due to different sources, the criteria for indoor air microbes in urban homes do not apply to the rural environment.*

## INTRODUCTION

We previously developed the criteria for the normal range of indoor air microbial counts in urban homes in a subarctic climate (Reponen et al. 1990). The highest normal count for bacteria is 4500 cfu/m<sup>3</sup> during the whole year and for fungal spores, 500 cfu/m<sup>3</sup> in the winter. These levels are used as indicators of abnormal indoor microbial sources or insufficient ventilation. We have also noticed that the occurrence of mesophilic actinomycetes in the indoor air of urban homes in the winter may indicate exceptional microbial growth inside a building (Nevalainen et al. 1990). All these criteria have been limited to urban or suburban environments, where only minor sources are present in addition to outdoor air. However, airborne microbial counts and flora in farmhouses are different from urban homes because agriculture is a significant source of airborne microbes in rural environments (Gravesen 1972; Roby and Sneller 1979; Sneller and Roby 1979; Pasanen et al. 1989).

In this work, we studied airborne bacteria and fungal spore counts and flora both in farmhouses and in other rural houses, the occupants of which have no connection with agriculture, to find out possible differences between the rural and urban environment. The second aim was to clarify if the aging of rural houses affects the microbial quality of indoor air.

## MATERIALS AND METHODS

Airborne microbes were sampled in the winter in 13 rural houses, six of which were farmhouses and the others were located in villages. In both groups, there was a mechanical ventilation system in only two houses. Three farmhouses and four other rural houses were built before the 1973 energy crisis (old houses) and the remaining ones were built in the 1980s (new

houses). Moisture damage or building-related health problems were not identified in any of the houses.

The samples were collected with six-stage cascade impactors on tryptone-glucose-yeast extract agar for mesophilic bacteria, half-strength nutrient agar for thermotolerant bacteria, and malt extract agar for fungi. Samples were taken in two or three rooms (kitchen, bedroom, living room) in each house and outdoors. The samples for mesophilic microbes were incubated at 20°C-25°C for five or seven days and those for thermophilic fungi at 40°C and those for thermotolerant bacteria at 55°C for two or four days. Microbial concentrations were counted as colony-forming units (cfu) per m<sup>3</sup> by the positive hole correction method (Andersen 1958). Fungi were identified up to genus level and actinomycetes were recorded separately.

## RESULTS AND DISCUSSION

The results of airborne bacteria counts are presented in Table 1. In all rural houses, mesophilic bacteria counts were below 4500 cfu/m<sup>3</sup>, which we considered the highest normal bacteria count in Finnish urban homes (Reponen et al. 1990). Bacteria counts were of the same order of magnitude in the farmhouses and the other rural houses. Within both groups, the counts were higher in the old houses than in the new ones. Mesophilic actinomycetes were common in the old rural houses, and they were also occasionally found in the new farmhouses. The counts of mesophilic actinomycetes were below 100 cfu/m<sup>3</sup> in all cases. Thermotolerant bacteria, mostly actinomycetes, were sometimes detected in all rural houses. Unlike in urban homes (Nevalainen et al. 1990), actinomycetes seem to belong to the normal indoor air bacterial flora in the rural environment in the winter. Thus, the occurrence of actinomycetes does not indicate exceptional microbial growth in any rural houses.

Airborne fungal spore counts in the rural environment are presented in Table 2. Spore counts in the farmhouses were quite similar to those in our previous study (Pasanen et al. 1989). Both mesophilic and thermophilic fungal spore counts were usually higher in the farmhouses than in the other rural houses, indicating that fungal spores are carried from cow barns to farmers' homes (Pasanen et al. 1989). In addition, spore counts were usually higher in the old rural houses than in the new ones. The highest normal mesophilic fungal spore count of urban homes in the winter, 500 cfu/m<sup>3</sup> (Reponen et al. 1990), was exceeded in all houses other than the new nonagricultural rural houses. These results agree with the previously reported finding that

A.-L. Pasanen is a Researcher, M. Tuomainen is an Associate Researcher, and P. Kalliokoski is a Professor at the University of Kuopio, Department of Environmental Sciences, Kuopio, Finland. A. Nevalainen is a Senior Researcher, National Public Health Institute, Department of Environmental Hygiene and Toxicology, Kuopio, Finland.



TABLE 1  
The Geometric Means (GM) and Ranges of Airborne Bacteria Counts in Rural Houses

Sampling Site	N	Mesophilic		Thermotolerant	
		Bacteria (cfu/m <sup>3</sup> )			
		GM	Range	GM	Range
<b>Farm Houses</b>					
Old ones	20	1930	490-4530	10	<4-40
New ones	12	730	320-1850	4	<2-10
<b>Other Rural Houses</b>					
Old ones	16	1270	240-4290	3	<2-10
New ones	12	510	240-1480	3	<3-10
Outdoor Air	14	20	2-80	*	*

Note: The old houses were built before 1973 and the new ones in the 1980s.

N = Number of air samples

\* = No sample was taken

TABLE 2  
The Geometric Means (GM) and Ranges of Airborne Fungal Spore Counts in Rural Houses

Sampling Site	n	Mesophilic		Thermotolerant	
		Fungal Spores (cfu/m <sup>3</sup> )			
		GM	Range	GM	Range
<b>Farm Houses</b>					
Old ones	20	1010	160-5730	80	10-490
New ones	12	340	140-1920	10	<4-30
<b>Other Rural Houses</b>					
Old ones	16	1020	100-4970	10	<3-250
New ones	12	80	20-410	5	<3-10
Outdoor Air	14	70	<2-370	*	*

Note: The old houses were built before 1973 and the new ones in the 1980s.

N = Number of air samples

\* = No sample was taken

spore counts are usually higher in the rural than in the urban environment (Gravesen 1972). In addition, thermophilic fungal spores were common in all rural houses, whereas they have not been detected in the Finnish urban environment in the winter. The differences between rural and urban microbial counts and flora may be explained by the vicinity of agricultural sources and different life-styles and architecture in countryside.

Numerous fungal genera were identified from the indoor air of the rural houses, but the main genera, *Penicillium*, *Cladosporium*, and *Aspergillus*, were the same as in the urban environment (Pasanen et al. 1989; Pasanen et al. 1990). Other fungal genera detected in this study have been found previously in farmhouses (Gravesen 1972; Roby and Sneller 1979; Sneller and Roby 1979; Pasanen et al. 1989).

#### CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

Airborne fungal spore counts were remarkably higher in rural houses than in urban ones. Microbes, such as actinomycetes and thermophilic fungi, which are not normally detected in the urban environment in the winter, are common in the indoor air of all rural houses. Indoor air microbial counts and flora are quite similar in farmhouses and in other rural houses, indicating that microbes spread widely from agricultural

sources. Thus, the criteria for indoor air microbes in urban homes as an indicator of abnormal microbial indoor sources do not apply for any rural building. The age of a building should also be considered when indoor microbial counts are evaluated because the counts seem to increase with time.

#### REFERENCES

- Gravesen, S. 1972. "Identification and quantitation of indoor airborne micro-fungi during 12 months from 44 Danish homes." *Acta Allergologica*. Vol. 27, pp. 337-354.
- Nevalainen, A., M. Kotimaa, A.-L. Pasanen, M. Pellikka, M. Niinen, T. Reponen, and P. Kalliokoski. 1990. "Mesophilic actinomycetes—the real indoor air problem? *Proceedings of the 5th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, Vol. 1, pp. 203-206. Ottawa: Canada Mortgage and Housing Corporation.
- Pasanen, A.-L., P. Kalliokoski, P. Pasanen, T. Salmi, and A. Tossavainen. 1989. "Fungi carried from farmers' work into farm homes." *American Industrial Hygiene Association Journal*, Vol. 50, pp. 631-633.
- Pasanen, A.-L., T. Reponen, P. Kalliokoski, and A. Nevalainen. 1990. "Seasonal variation of fungal spore levels in indoor and outdoor air in the subarctic climate" *Proceedings of the 5th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, Vol. 2, pp. 39-44. Ottawa: Canada Mortgage and Housing Corporation.

# Indoor Air Bacteria in Apartment Homes Before and After Occupancy

A. Nevalainen, Ph.D.

T. Reponen

H. Heinonen-Tanski, Ph.D.

T. Raunemaa, Ph.D.

## ABSTRACT

A study of indoor air bacteria was carried out in 18 apartments with either a natural or mechanical exhaust or with mechanical exhaust and supply ventilation. Air samples were taken before the apartments were occupied and during three years after the occupation with six-stage impactors on tryptone-glucose-yeast agar. The bacteria levels increased significantly, from GM 170 to 520 cfu/m<sup>3</sup> during the first year of occupation and to 1,150 cfu/m<sup>3</sup> after two years. After three years, the levels remained at 1,070 cfu/m<sup>3</sup>. The levels increased irrespective of the ventilation system. The main group of indoor air bacteria were gram positive cocci (60%); gram positive rods and gram negative rods were also frequent.

## INTRODUCTION

Airborne bacteria are found everywhere in indoor and outdoor air. Outdoors, bacteria become aerosolized from soil, water, and vegetation. Indoors, the main source of bacteria is humans. Bacteria become airborne by the desquamation of human skin and by sneezing and coughing, which are the main sources of airborne infectious agents.

The role and importance of bacteria as contaminants of indoor air are not well known. There are suggestions about their association with certain diseases, such as humidifier fever (Kohler et al. 1976), or known connections, such as legionellosis (Keleti and Shapiro 1987), but the evidence is mainly epidemiological and from occupational exposure situations.

From the indoor air quality point of view, it is important to know the normal behavior of pollutants to be able to detect harmful levels or otherwise to characterize an unusual exposure situation. Furthermore, the possible value of airborne bacteria as an indicator of indoor air quality should be evaluated. Therefore, information is needed about the normal sources, the range of the typical concentrations, and the main factors that affect their levels. Such information on airborne bacteria has been practically nonexistent.

In this study, the normal indoor air bacteria were monitored in a residential environment in order to provide basic information about their sources, levels, and behavior. To observe the importance of occupancy, the study was carried out in new apartment homes before and during the first three years of occupancy.

## MATERIAL AND METHODS

The homes studied were new concrete element townhouses located in Kuopio, eastern Finland, where the climate is subarctic. The houses, six apartments in each, were identical except for the ventilation system, which was either natural ventilation, mechanical exhaust ventilation, or mechanical exhaust and supply ventilation.

Airborne bacteria samples were taken in the fall, when the houses were completed but not yet occupied; in the winter, when the apartments had been occupied for four months; in the spring, after eight months of occupancy; and in the fall during three consecutive years. Samples were taken in the daytime during the weekdays when some of the occupants were staying at home, e.g., mothers with young children, and some were not present, either at work or school. The samples were taken twice a day in the bedroom or in the living room at a height of 1.5 m. Two outdoor air samples were taken daily, first in the morning and then in the afternoon, in the yard of the sampled house.

The bacteria samples were taken with six-stage impactors with a sampling flow rate of 28 L/min on tryptone-glucose-yeast agar with 0.5 mg/mL cycloheximide as a fungicide. The sampling times were 10 to 20 minutes indoors and 20 to 30 minutes outdoors. The Petri plates were incubated at room temperature for three to five days and the colony counts were corrected according to Andersen (1958). The concentrations of bacteria are reported in units of cfu/m<sup>3</sup> (colony-forming units per cubic meter of air).

Eight six-stage samples were chosen for further characterization of bacterial colonies. All the colonies, about 1,500 in all, were isolated from these samples. All strains were gram stained, and oxidase and catalase tests were made. Gram positive rods were tested for sporulation, and the motility, growth at different temperatures, and ability to hemolyze blood and utilize casein were screened. Appropriate types of API kits were used to confirm the identification.

## RESULTS

The concentrations of bacteria in indoor air varied from 170 cfu/m<sup>3</sup> to 12,000 cfu/m<sup>3</sup>. The distributions of the counts were close to lognormal and, therefore, the levels are expressed as geometric means (GM) in Table 1. The geometric mean of the bacteria levels in newly completed, unoccupied apartments was

Aino Nevalainen is a Senior Research Scientist in the National Public Health Institute of Finland, Department of Environmental Health, Kuopio, Finland. Tiina Reponen is an Assistant and Taisto Raunemaa an Associate Professor of Environmental Health in the Department of Environmental Sciences, University of Kuopio, Kuopio, Finland. Helvi Heinonen-Tanski is a Senior Lecturer in Environmental Biology at the University of Kuopio.



TABLE 1  
Levels of Airborne Bacteria  
(Geometric Mean, GM; Geometric Standard Deviation, GSD)  
In New Townhouses before Occupancy  
and During the First Three Years of Occupancy

Group of Samples	Bacteria Levels cfu/m <sup>3</sup>	
	GM	GSD
Fall Before occupancy	170	0.47
Winter After occupancy	140	1.45
Spring	680	0.91
Fall After 1 yr of occupancy	520	0.90
Fall After 2 yrs of occupancy	1,200	0.80
Fall After 3 yrs of occupancy	1,100	1.12
Outdoors	110	1.38

170 cfu/m<sup>3</sup> and increased statistically significantly ( $p < 0.0005$ ) during the first year of occupancy to GM 520 cfu/m<sup>3</sup>, as seen in Figure 1. After two years of occupancy, the levels had risen further to GM 1,150 cfu/m<sup>3</sup>, which again was significantly ( $p < 0.0005$ ) higher than a year before. This increase occurred in all three townhouses with six apartments each, regardless of ventilation system. After three years, the bacteria levels had stabilized to GM of 1,070 cfu/m<sup>3</sup>. During all these sampling periods, the outdoor bacteria levels were of the same order of magnitude, GM 110 to 150 cfu/m<sup>3</sup> (Figure 1).

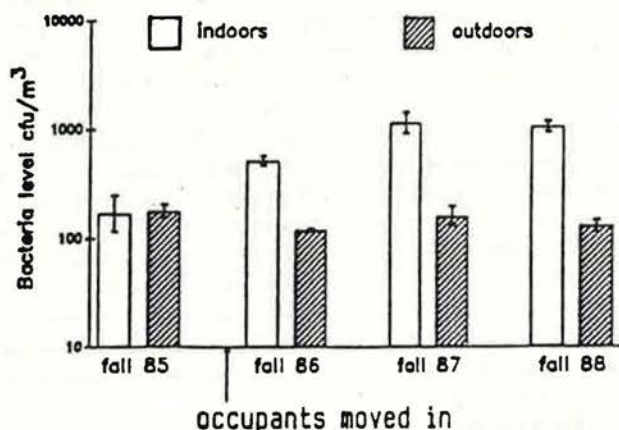


Figure 1 Bacteria levels in new townhouse apartments before occupancy and after one, two, and three years of occupancy

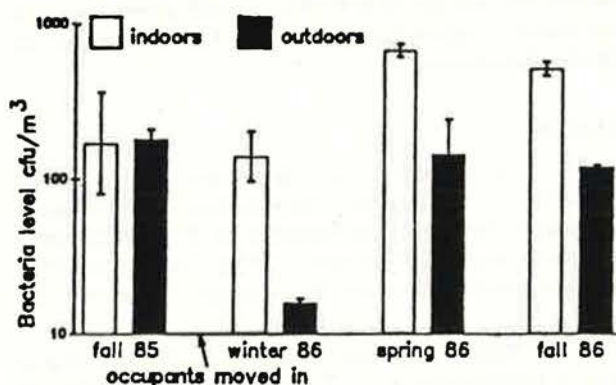


Figure 2 Bacteria levels in new townhouse apartments before and during the first year of occupancy

The bacteria levels during the first year of occupancy are presented in Figure 2. The geometric means of the bacteria levels were 140 cfu/m<sup>3</sup> in the winter, 680 cfu/m<sup>3</sup> in the spring, and 520 cfu/m<sup>3</sup> in the fall.

Of the bacterial strains identified, 60% were gram positive cocci, 23% gram positive rods, and 14% gram negative rods. In outdoor air, the percentages were 3%, 19%, and 78%, respectively. The most common genera in indoor air were *Micrococcus* and *Staphylococcus*, while that of the outdoor air was *Pseudomonas*.

## DISCUSSION

The variation of the levels of airborne bacteria was wide—three orders of magnitude—even if the sampled rooms were normal residential environments with no other evident sources than the occupants and their everyday activities. Hence, bacteria levels in residential indoor air do not necessarily indicate either the absence or the presence of any unusual source of bioaerosols. The levels in this study were remarkably higher than those reported recently by Macher et al. (1991), who reported median concentrations of 98 cfu/m<sup>3</sup> in a new apartment. The differences between the absolute levels may partly be due to different sampling procedures (single-stage sampling simultaneously for bacteria and fungi vs. six-stage sampling on bacteria medium only in our study) and partly due to the fact that the apartment studied by Macher et al. was only occupied by one person who was absent daily. In our study, at least two persons were living in each apartment.

The results show that occupancy of an apartment brings along a population of airborne bacteria. Apparently it takes two years before the bacterial accumulation from the occupants and their activities becomes stabilized. Although it is known that humans are an important source of airborne bacteria (Lidwell 1948), this accumulation of bacteria in indoor air in up to two years of occupation is a new finding. The reasons for this accumulation are not obvious. The number of persons living in the apartments did not increase during the study period. There was no marked decrease in ventilation rates either, which would have explained the accumulation of bacteria.

During the first year of occupancy, the bacteria levels were monitored in different seasons (Figure 2). The total number of bacteria was almost the same in the unoccupied apartments and after four months of occupation. However, there was a significant difference in the bacterial flora. In the unoccupied apartments, the bacteria were mostly those of the outdoor air, while in the winter samples, the indoor air bacteria were of human origin and, in parallel, outdoor levels were very low due to the snow cover. In the results of this winter sampling, the indoor levels are clearly higher than those outdoors, which shows the importance of the intramural sources to the indoor air bacteria levels. This can also be seen in the spring and fall samples of the first year of occupation. Even if the outdoor levels were higher after the snow cover had melted, the indoor levels were clearly higher than those outdoors.

The dominating group of indoor air bacteria were the closely related genera *Staphylococcus* and *Micrococcus*. They are typical bacteria of the human skin, which evidently is the main bacterial source in residential environments. The indoor air bacterial flora differed from that outdoors, where *Pseudomonas* was the dominating genus.

## CONCLUSIONS

The conclusions of this study are:

1. The bacteria levels in indoor air in homes have a wide range, 10<sup>2</sup> to 10<sup>4</sup> cfu/m<sup>3</sup>. The absolute numbers of bioaerosol con-

centrations are, however, strongly dependent on the sampling and analytical method used.

2. Outdoor levels of bacteria are low,  $\leq 10^2$  cfu/m<sup>3</sup>, in the winter of a subarctic climate when the ground is frozen and covered with snow. From spring to fall, the levels are more variable,  $< 10\text{-}10^3$  cfu/m<sup>3</sup>.
3. In new homes, levels of airborne bacteria increase due to the occupants and their activities. Bacteria are accumulated for as long as two years after occupancy, after which they stabilize to the final level.
4. The *Staphylococcus/Micrococcus* group includes the dominating bacterial genera in indoor air but is a minor group in outdoor air.
5. Data bases are needed about the normal bacteria levels in indoor air in order to determine an unusual exposure situation.

#### REFERENCES

- Andersen, A.A. 1958. "New sampler for the collection, sizing and enumeration of viable airborne particles." *J. Bacteriol.*, Vol. 76, pp. 471-484.
- Keleti, G., and M.A. Shapiro. 1987. "Legionella and the environment." *CRC Crit. Rev. in Environmental Control*, Vol. 17, pp. 133-185.
- Kohler, P.F., G. Gross, J. Salvaggio, and J. Hawkins. 1976. "Humidifier lung: Hypersensitivity pneumonitis related to thermotolerant bacterial aerosols." *Chest*, Vol. 69 (suppl.), pp. 294-296.
- Lidwell, O.M. 1948. "Bacterial content of air in a dwelling house." *Med. Res. Council Spec. Rep. Ser. No. 262*, HMSO London, pp. 253-257.
- Macher, J.M., F.Y. Huang, and M. Flores. 1991. "A two-year study of microbiological indoor air quality in a new apartment." *Arch. Environ. Health*, Vol. 46, No. 1 (Jan./Feb.), pp. 25-29.
- Nevalainen, A. 1989. *Bacterial aerosols in indoor air*. Publications of the National Public Health Institute, A3/1989, Kuopio, Finland.



# A Field Study of Indoor Moisture Problems and Damage in New Pacific Northwest Homes

G. Tsongas, Ph.D., P.E.  
Member ASHRAE

## ABSTRACT

*The interior living spaces and the ventilation systems of 86 newly constructed houses in the Pacific Northwest were inspected to determine if building them to energy-efficient standards with more insulation (at least R-19 [R-3.3] in walls) and relatively airtight with an air-vapor retarder causes indoor moisture problems or damage. The test houses were located in three climatic regions: 50 in the metropolitan Seattle-Olympia area, 16 on the rainy Washington coast, and 20 in the cold Montana region.*

*Numerous moisture-related problems were observed within the homes, primarily because of inadequate moisture control and consequent high indoor relative humidities. One-third of these new homes had mold and mildew on indoor surfaces such as walls, one-third had mold and mildew on window frames and/or sills, almost three-quarters had condensation on window glass and frames, and one-quarter had window sill damage as a result of the window condensation.*

*A majority of the ventilation systems, including spot exhaust fans and air-to-air heat exchangers (AAHX), were not working as well as expected or were not being used by the occupants. Overall, for a variety of reasons, there was no AAHX ventilation in about one-third of the homes, no kitchen ventilation in almost two-thirds of the homes, and no bathroom ventilation in about half of the homes. Of the bathroom exhaust fans that did work, the actual exhaust flow of the systems, including ducts, that was measured was only about half of the rated capacity of the fans. All of these ventilation system problems resulted in inadequate removal of excess moisture.*

*The findings of the study dramatically point out the need for better indoor moisture control in these and probably other new homes. For future tightly built homes, moisture control must have a much higher priority in their design, construction, inspection, and ongoing operation. Specific recommendations are made to improve indoor moisture control through better ventilation, including automatic control, and dehumidification.*

## INTRODUCTION

Indoor moisture-related problems, such as dampness and mustiness, window condensation, window sill damage, and mold and mildew, are known to occur in older homes. For example, in Portland, Oregon (4732 DD) and Spokane, Washington (6835 DD), 93 and 103 older homes, respectively, were carefully

inspected for indoor moisture problems (Tsongas 1980, 1986). Condensation on windows (almost all had storm windows) was noted in about two-thirds of the homes, and mold and mildew was observed on window frames and on interior surfaces such as walls and ceilings in about one-third of the homes. About one-quarter of the homes had the clothes dryer vented inside the house, and almost half of the homes with a crawl space had no ground cover. The average indoor relative humidity measured during the winter was 56% for the Portland homes and 47% for the Spokane homes, with many homes having relative humidities in the seventies. During the fall and spring, the indoor relative humidities would be even higher. Thus, the homes clearly had interior moisture problems, in large part due to lack of satisfactory indoor moisture control. It is generally believed that the lack of moisture control is tied to the lack of adequate ventilation.

In newer, more heavily insulated homes it might be anticipated that the additional insulation levels would warm surfaces and reduce the incidence of interior surface mold and mildew. Furthermore, the use of better windows (often triple glazed) ought to reduce window condensation. Because the newer homes are more tightly built, indoor relative humidity should increase and with it the incidence of indoor moisture problems (Tsongas 1987). However, that ought to be offset by the inclusion of better indoor ventilation systems, such as spot exhaust fans with air-to-air heat exchangers (AAHX). Thus it has been felt that indoor moisture problems should not be as prevalent in newer homes as in older homes. Unfortunately, there have been few field data to verify that belief.

As a result, the Northwest Wall Moisture Study (Tsongas 1990) was undertaken in 1986 with one major goal—to document any moisture-related problems that exist inside heavily insulated, relatively tightly constructed new homes built in the Pacific Northwest. The extent of indoor moisture problems was of concern because of the surprisingly large number of complaints about moisture problems in these new homes. This paper describes the indoor moisture problem portion of the field study. The results and findings reported here are presented in considerably more detail in Tsongas (1990), which has not been widely circulated.

## STUDY PLAN AND FIELD TEST METHODOLOGY

The goal of the part of the Northwest Wall Moisture Study (Tsongas 1990) described in this paper was to carefully inspect

George Tsongas is a Professor of Mechanical Engineering at Portland State University in Oregon and a private consulting engineer.

new heavily insulated and relatively airtight Pacific Northwest homes and document any moisture-related problems that might exist inside the homes. Houses were selected from two regions that experience climatic extremes (the Washington coast and Montana) as well as a major population center (Seattle-Olympia, Washington). The 86 homes selected were chosen from 257 randomly selected candidate single-family homes, almost half of which had moisture problems. The homes were visited during the winter of 1987; the occupants were interviewed to determine pertinent life-style characteristics, and the homes were carefully inspected to assess indoor moisture-related problems.

The homes were checked inside and outside in detail for leaks, moisture, or moisture damage. Indoor relative humidities and temperatures were measured in many rooms of each house using a highly accurate digital humidity and temperature meter. In addition, the ventilation and dehumidification systems were identified, inspected, and tested to see if they were working. The volumetric flow rates of the bathroom exhaust fan systems were measured using an unbalanced flow hood developed for the project's sponsoring agency. The results were loaded into a microcomputer data base. A detailed statistical analysis of the data was undertaken to try to determine the "causes" of the moisture problems that were found.

#### TEST HOME AND OCCUPANT LIFE-STYLE CHARACTERISTICS

Selected house characteristics are presented in Table 1. A detailed description is presented in Tsongas (1990). All the test houses were electrically heated. They ranged in age from a few

months to a few years old. Note that 73 of the 86 test houses had an air-to-air heat exchanger and the others used a dehumidifier to remove indoor moisture. At the time of the study, whole-house exhaust-only ventilation was not in use in the region.

The test homes were relatively tightly constructed, especially relative to older homes in the region. All had some type of air-vapor retarder system in place and had at least R-19 [R-3.3] wall insulation. Heating season natural infiltration air change per hour (ach) values for 34 of the homes were obtained from previous blower door tests using standard methodology (ASHRAE 1989). The mean ach values for the homes in each of the regions are: coastal, 0.22; cold, 0.30; metro, 0.27; all, 0.28. Air change rate results were available for only one coastal house, 16 of the 50 metro houses, and 17 of the 20 cold region homes. Thus, the mean values may not be representative of all the houses in the metro and coastal regions. In part, given the lack of polyethylene in half the coastal houses, they are probably leakier than the one 0.22 ach value would suggest.

## RESULTS AND FINDINGS

### Indoor Relative Humidities

The living room temperatures and relative humidities measured during the winter are presented in Table 2. Overall, the RH values are fairly high, although the high values in all three regions are not unexpected given the tightness of the homes and the climatic conditions (Tsongas 1987). Many of the high indoor RH values may be associated with relatively low indoor temperatures. Indoor relative humidities should be even higher during the milder fall and spring weather when the outdoor air is con-

TABLE 1  
Selected Test House Characteristics

	<u>Cold</u> 20	<u>Coastal</u> 16	<u>Metro</u> 50	<u>All</u> 86
No. of Test Homes				
Wall Air-Vapor Retarder Types				
Interior Noncontinuous	0	8	9	17
Interior Poly, Walls Only	0	3	1	4
Interior Poly Wrap	19	2	29	50
Interior Foam Sheathing	1	1	10	12
Exterior Foam Sheathing	10	0	15	25
ADA (airtight dry wall)	0	4	2	6
AAHX	20	10	43	73
Dehumidifier	1	6	7	14
Triple Glazing	13	7	24	44
Wall Insul. Mean R (m <sup>2</sup> ·K/W)	5.8	3.5	3.9	4.2
(ft <sup>2</sup> ·h·°F/Btu)	33	20	22	24

TABLE 2  
Wintertime Living Room Temperatures and Relative Humidities

		<u>Cold</u>	<u>Metro</u>	<u>Coastal</u>	<u>All</u>
RH (%)	Avg	40	47	53	47
	Max	55	63	75	75
	Min	23	33	39	23
	StdDv	8	7	9	8
Temp (°F) [°C]	Avg	68 [20]	66 [19]	67 [20]	67 [19]
	Max	77 [25]	75 [24]	75 [24]	77 [25]
	Min	58 [14]	54 [12]	57 [12]	54 [12]
	StdDv	5 [03]	5 [03]	5 [03]	5 [03]



siderably more moist and so ventilation is less effective at flushing out moisture generated indoors.

The relative humidities were lowest in the cold region and highest in the coastal region, as expected. The mean relative humidity for the coastal region homes was very similar to the 56% average measured in the Portland study older homes (Tsongas 1980). The average value for all homes, as well as for those homes in the metro region, was almost identical to that for the Spokane study older homes (Tsongas 1986). Relative humidities often were measured in other rooms such as kitchens, bedrooms, and bathrooms; they are available in the data base (Tsongas 1990). For the most part, they were very similar to the living room relative humidities. The highest RH value measured in this study was 85%; that occurred in a cold bedroom of a coastal house whose AAHX did not work properly.

It is important to note that about half of the homes have relative humidities that are higher than the average values in each region. The high values measured in this study point out the lack of proper moisture control in many of the homes. The high average for the coastal homes suggests a lack of sufficient moisture removal in many, if not most, of those homes and also reflects the higher humidity of the outdoor air.

#### Indoor Moisture Problems and Damage

As seen in Table 3, moisture problems or damage were observed during the home inspections in a relatively large percentage of the homes in all three regions. Somewhat surpris-

ingly, almost all the problems were worst in the cold climate. Window moisture problems were common. Almost three-quarters of the homes had condensation on window glass or frames, while one-third had mold and mildew on window frames and/or sills. One-quarter of the homes had moisture damage to window sills. While some condensation, and even mold, is to be expected, the high frequency of occurrence of window problems was unexpected in these new homes that had improved window systems (half were triple glazed) and presumably had well-controlled interior conditions.

In addition, previous moisture or water leak problems were reported by 83% of the occupants (see Table 4). In part, this reflects the fact that the test homes were selected because previous moisture-related problems had been noted by the occupants. However, of those households contacted to participate in this study, about one-third were selected, so moisture problems would appear to be rather prevalent in the general stock of energy-efficient homes built in the region. Problems with ventilation and dehumidification equipment (notably air-to-air heat exchangers) were reported by more than half the occupants. Mold and mildew were reported by just less than half. Later observations by the inspecting engineers verified that numerous moisture problems were indeed in existence.

While the occurrence of water leak damage was not particularly extensive, the inspecting engineers observed a large number of other moisture problems not associated with leaks in about two-thirds of the homes (see Table 5). One-third of the

TABLE 3  
Occurrence of Indoor Moisture Problems and Damage

Moisture Problem	Percentage of Homes in Each Region with Problems			
	Cold	Coastal	Metro	All
Condensation on glass/frames	100	50	68	72
Mold/mildew on glass/frames	30	31	32	31
Moist. damage on window sills	35	25	16	22
Mold/mildew on other surfaces	50	25	30	34

TABLE 4  
Previous Moisture Problems Reported

None reported	17%
Ventilation/dehumidification	53%
Mildew/mold	45%
Leaks	31%
Water stains	30%
Non-window condensation	28%
Musty odor	23%
Ice buildup	22%
Buckled siding	22%

TABLE 5  
Other Moisture Problems Observed

None observed	37%
Downspouts not connected to storm sewer or suitable outfall	37%
Mold/mildew	34%
Staining	23%
Standing water in crawl space	16%
Warped siding	15%
Wood stored in basement/house	12%
Regularly used humidifier	8%
Blistering/peeling	5%



homes had mold and mildew. It typically occurs when the relative humidity in a room is above about 60% to 70%. That type of moisture damage is not only a nuisance, it also causes additional maintenance and repair costs, such as for cleaning or repainting, and is associated with health problems (duPont and Merrill 1990).

Statistical data analysis of these results indicated that indoor moisture problems were very prevalent in the smaller houses, especially if the number of occupants was high. The analysis also showed that high indoor relative humidities, which are most likely to occur in small, heavily occupied homes, are strongly associated with increased interior moisture damage problems. The occurrence of mold and mildew was also related to the number of showers taken per day. That is another direct indication of the lack of indoor moisture control.

These results suggest that the ventilation systems were not doing an adequate job of removing excess moisture, and so relative humidities were too high. Reducing the incidence of mold and mildew will require lowering indoor relative humidities by improving moisture control.

#### Ventilation System Observations

During the inspections of the test homes, all ventilation systems were observed, including air-to-air heat exchangers (AAHX), bathroom and kitchen exhaust fans, as well as their controls. Dehumidifiers also were inspected. Simple checks of all systems were made to see if they were working. In addition, the use patterns of each system were determined during the occupant interview. Finally, the occupants were asked about previous ventilation and dehumidification problems.

The ventilation system observations were undertaken to provide information that might help explain the incidence of moisture-related problems within the test homes. This aspect of the moisture study was not meant to be a thorough ventilation study. Although it was observed during the course of the inspections that the ventilation systems often were not working properly, insufficient test data were collected to clearly determine the impact on moisture-related problems. Considerable additional work is needed to do that. A thorough moisture control system study would appear to be in order and a major need.

**Air-to-Air Heat Exchangers** While 86% of the test homes had an AAHX, 11% of them were not used regularly (see Table 6). Moreover, another entirely different 11% of them did not work at all. Thus, overall, there was no AAHX ventilation in about one-third of the homes. While most systems did work, numerous design, installation, and operational problems made

them very ineffective in controlling moisture. Furthermore, the fact that they did not work or were not used was found from the statistical analysis of the results also to lead to higher wall cavity moisture levels. If AAHX systems are to be installed in future energy-efficient homes, considerable thought and study must be given to their proper design, installation, testing/inspection, and operation. With that, the vast majority of the AAHX problems that are now so prevalent could be avoided. Given that AAHX are no longer required in new homes in the Northwest and are now seldom installed, there is all the more need to make sure that there are other systems or strategies available to properly control indoor moisture levels.

Air-to-air heat exchangers were installed in these test homes to provide ventilation that would mitigate indoor air quality problems. They were not specifically designed for moisture control. Unfortunately, it is not clear if even the best, properly used AAHX can satisfactorily remove moisture and control indoor relative humidities in the mild coastal and metro climates. This is because the outdoor air that "dries" the indoor air as a result of ventilation and air leakage is relatively moist during mild weather (especially during the fall and spring) and thus ineffective in flushing away moisture generated indoors (Tsongas 1987). Even exhaust-only ventilating systems may be inadequate for moisture removal and control. It would appear that some method other than ventilation is necessary to provide satisfactory indoor moisture control, especially in mild and humid climates, and perhaps even in cold climates during mild weather.

**Kitchen Ventilation** There were numerous types of kitchen ventilation systems, and 8% of them did not work (see Table 7). A number of the kitchen fans were of the non-exhausting, recirculating variety that provide no removal of kitchen moisture. Some of the types that utilized the AAHX system often were not on when needed. Moreover, 40% of the occupants said they did not use the system when cooking, largely because they did not see the need. Many thought the major purpose was to get rid of cooking odors, and when there were no odors, there was no need to use the system. Overall, there was no kitchen ventilation in almost two-thirds of the homes.

There were numerous other problems that kept occupants from using the kitchen ventilation system. If dehumidistat controls were installed on kitchen ventilation systems, moisture would be exhausted automatically when necessary, and the occupants would not need to be relied upon to turn on the system at the appropriate times. The installation of range hood recirculating fans that do not exhaust to the outdoors should be prohibited.

TABLE 6  
AAHX System Problems

Did not exist . . . . .	14%
Did not work . . . . .	11%
Not used regularly . . . . .	11%
No AAHX ventilation in about one-third of homes	

TABLE 7  
Kitchen Ventilation Problems

Did not work . . . . .	8%
Nonexhausting, recirculating type . . . . .	13%
Not used regularly/poorly controlled . . . . .	40%
No kitchen ventilation in almost two-thirds of homes	



TABLE 8  
Bathroom Ventilation Problems

Did not exist . . . . .	8%
Connected to AAHX . . . . .	62%
Did not work . . . . .	20%
Exhaust fan only . . . . .	30%
Did not work . . . . .	9%
Lack of exhaust capability . . . . .	23%
Not used often for showering or bathing . . . . .	25%

No bathroom ventilation in half of homes

**Bathroom Ventilation** About 8% of the homes did not have a bathroom exhaust fan (see Table 8). Occupants were supposed to open the bathroom window for moisture control. This practice seldom provides satisfactory bathroom moisture removal. Of the homes that had a bathroom exhaust fan, 62% were connected to the AAHX. However, 20% of the bathroom exhausts connected to an AAHX did not work, and 9% of those systems with just an exhaust fan did not work. In all, 23% of these brand new homes did not have bathroom exhaust capability. It is believed that inadequate control and insufficient fan capacity, coupled with small-diameter flex duct runs, are the causes.

Moreover, 25% of the systems were not used often when showering or bathing. Thus, overall there was no bathroom ventilation in about half of the homes. Control with a properly calibrated dehumidistat would automate the removal of moisture when humidity levels are too high. In that way, occupants would not need to remember to turn on the exhaust fan or even know that it was important to do so to remove moisture generated in the bathroom. Incidentally, such an approach should be especially effective in controlling moisture levels in homes because it would be removing moisture directly at one of its sources.

**Measured flow rates.** Bathroom exhaust flow rates were measured in the 26 coastal and metro homes revisited during the summer of 1988 and also remeasured in the 16 homes revisited in the winter of 1989. A flow hood specially designed to measure low flow rates was utilized. For the 36 bathroom exhaust fans, the mean measured flow rate was found to be 53% of the rated capacity. Thus, the actual system performance is markedly poorer than the rated performance of the fan alone. The 14 fans with the lowest rated flow rate (50 cfm) achieved the lowest percentage of the rated capacity (45%), whereas the fans with the largest capacity achieved the highest. The 14 AAHX-only systems without a separate bathroom fan were characterized by relatively low flow rates, many of which were below 10 cfm or had no flow. The mean flow rate for those 14 AAHX exhausts was 20 cfm, which is about half of the mean flow rate for the 36 bathroom exhaust fans.

These bathroom exhaust fan results are in general agreement with the results of field measurements of 10 fans in existing homes of conventional construction (Robinson and Rooke 1989); in that study, the average measured cfm to rated cfm percentage was 40%. A separate study of 50-cfm fans in 22 new energy-efficient homes in Oregon and Washington found the average actual flow to be 70% of the rated capacity (BPA 1989). A Canadian study of 19 bathroom exhaust fan installations found measured actual flow rates were on average 44% of the rated flow (HRAI 1988).

In addition, there is another often neglected factor that greatly influences the effectiveness of any ventilation system.

Operation of an exhaust fan changes the pressure distribution in a room. Some of the air that was exfiltrating when the fan was off is mechanically exhausted when the fan is on. Thus the real additional ventilation of the house when an exhaust fan is turned on is less than the airflow through the fan system. The net ventilation is only about half of the flow through the exhaust fan system. For example, if a 40-cfm airflow is measured through a bathroom exhaust fan (rated, say, at 80 cfm), the real additional ventilation of the house is only about 20 cfm. This effect has been measured.<sup>1</sup>

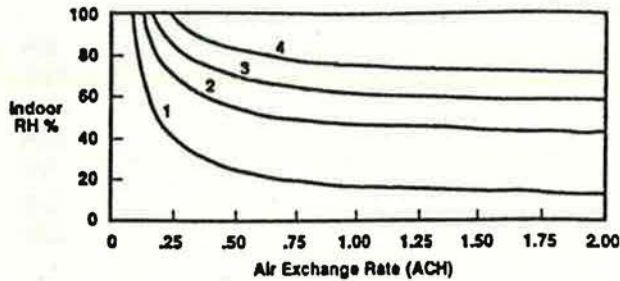
The conclusion is that bathroom exhaust systems do not ventilate anywhere near as well as expected. Coupled with the fact that about one-quarter of the test homes did not have bathroom exhaust capability and another one-quarter did not use the exhaust when showering or bathing, it is clear that moisture removal in bathrooms is poor and inadequate. A solution would be to use larger capacity, more expensive quiet fans, and/or larger duct sizes and no flex duct, with automatic bathroom fan operation when needed with either a dehumidistat or a timer.

**Dehumidifiers** A dehumidifier was used regularly in the wintertime to remove moisture in 16% of the homes. Surprisingly, 8% of the homes regularly used a humidifier, which in a few cases simply was a vaporizer. Use of a properly selected dehumidifier could be one of the most effective methods of removing moisture for homes in the mild coastal and metro climates. Indoor relative humidities are highest when outdoor temperatures are mild because the outdoor air is relatively moist and ineffective at drying out the indoor air. Under those conditions, any mechanical ventilation system will be relatively ineffective for moisture control, and dehumidification may be necessary.

The influence of climate and weather on the effectiveness of ventilation for indoor moisture control is shown graphically in Figure 1. A microcomputer program (Tsongas 1987) was used to predict the variation of indoor relative humidity vs. a building's air exchange rate for differing climates. A 1,200 ft<sup>2</sup> (112 m<sup>2</sup>) house with an internal moisture production rate (M.P.R.) of 20 pounds per day (9 kg per day) and a fixed indoor temperature was assumed. The outdoor temperature and relative humidity values were varied from a cold, dry climate (case 1) to a mild, humid climate (case 4). Case 2 represents typical average winter conditions in Portland, Oregon, whereas Case 3 represents typical average winter conditions in the coastal region. The results show that it is relatively easy to maintain fairly low indoor relative humidities in cold, dry climates, and in tightly constructed homes ventilation can be effective at reducing indoor relative humidities if they are too high. On the other hand, homes in

<sup>1</sup>Private communication, Larry Palmiter, Ecotope, Seattle, WA.





		1	2	3	4
Outside Air Temp.	(Deg. F)	20	47	52	58
Outside Air R.H.	(%)	50	76	90	90
Indoor Air Temp.	(Deg. F)	68	68	68	68
Indoor M.P.R.	(Lb H <sub>2</sub> O/Day)	20	20	20	20
Bldg. Floor Area	(Sq. Ft)	1200	1200	1200	1200
Ceiling Height	(Ft.)	8	8	8	8

Figure 1 Effect of climate on ventilation effectiveness

mild, humid climates have very high indoor relative humidities, and even excessive ventilation will have little effect on those levels. This also clearly shows that the times when indoor moisture levels and associated problems such as mold are the worst is during the mild spring and fall weather. Hence, for mild and humid climates, dehumidification appears to be necessary to maintain satisfactory indoor relative humidity levels.

An unanswered question is: What is the proper mix of dehumidification and ventilation? Until recently, little has been known about the nonsummer performance of residential dehumidifiers. Recent field research (Tsongas and Wridge 1989; Galbraith 1986; Sanders 1985) has shown that a dehumidifier can effectively control indoor moisture levels in mild, humid climates during nonsummer conditions. Thus, the best moisture-control system would appear to be a combination of dehumidification for general whole-house moisture removal and spot ventilation for moisture removal at bathroom and kitchen sources.

Unfortunately, it is not certain whether the dehumidifiers used in the test homes of this study were removing the moisture from indoor air effectively. In order to accomplish this when indoor air is at typical indoor winter temperatures, it is necessary to use a dehumidifier that is oversized relative to those that are used primarily in the summer, and the unit should have an automatic defrost control. Without the defrost control, the coil will frost or freeze up and the water removal rate will drop or cease. Many commonly purchased dehumidifiers do not have a defrost control. Unfortunately, no check was made of the units originally installed for defrost control or high capacity.

**Other Findings** The existence and use of fireplaces and wood stoves (or fireplace inserts) resulted in some unknown degree of ventilation and subsequent drying of the indoor air. Wood stoves or fireplace inserts were found in 42% of the test homes; 77% of those were used regularly. Numerous occupants commented about the "dry" heat from a wood stove. That may be because rooms with wood stoves in use are often rather warm, leading to lowered relative humidities and the perception of drier air.

Based upon conversations with the occupants, many do not understand their house's ventilation systems, particularly with regard to how and why they should be operated. Seldom is there

even an instruction manual, although there should be, since tight homes are different from conventional housing. In many cases, the occupants do not understand where moisture comes from, nor do they perceive the need to use exhaust fans or an AAHX to remove moisture in their airtight homes. Thus, there is a huge need to educate the occupants on how and why to operate their moisture-control systems. It even may be necessary to install inexpensive indoor relative humidity gauges in each home so the occupants will be able to know whether their home is too moist.

Given the large percentage of the test homes that had ventilation system components that did not work properly or at all, it is evident that building code inspectors missed those basic ventilation system problems. They need to be trained to inspect ventilation systems and to understand their importance in airtight homes that require proper moisture control.

## CONCLUSIONS

The purpose of this study was to determine if moisture-related problems exist in heavily insulated, relatively airtight, new Pacific Northwest homes. Based upon careful inspections of the test homes and their ventilation systems, as well as interviews with the occupants, numerous moisture-related problems and damage were noted inside the test homes. These problems were most prevalent in bedrooms, which are generally kept cooler and hence have higher relative humidities.

The widespread incidence of so many different kinds of indoor moisture problems was much higher than expected in new homes. The data analysis showed that their existence correlated with high indoor relative humidity. That appears to be directly related to the fact that the homes' ventilation systems, including spot exhaust fans and air-to-air heat exchangers, often were not working properly or not used. Of the bathroom exhaust fans that did work, the actual exhaust flow of the systems, including ducts, that was measured was only about half of the rated capacity of the fans.

There were many homes whose indoor relative humidities were clearly too high, with values reaching as high as 85% in a cold bedroom. These high readings, along with the findings of interior moisture-related problems, directly indicated that ventilation did not provide satisfactory moisture control in many of the test homes.

All these ventilation system problems resulted in inadequate removal of excess moisture and are especially disappointing since these homes were intended to include the best available ventilation systems that would result in well-controlled indoor conditions. Unfortunately, far too little attention was given to making the ventilation systems work properly, to including systems that would provide indoor moisture control in addition to ventilation just for satisfactory indoor air quality, and to educating the occupants in their proper use and need for moisture control.

For both new and existing tightly constructed homes in the mild western portions of the Pacific Northwest, adding a portable dehumidifier appears to be one of the best ways to provide satisfactory indoor moisture control. In these mild climates, ventilation alone will probably not provide adequate moisture control because the mild, humid outdoor air that is brought in to flush out the moist indoor air is often almost as moist as the indoor air, making ventilation not very effective for drying the indoor air. In such climates, the use of ventilation alone for moisture control probably should be discouraged. Since ventilation is still required to provide adequate indoor air quality, a combination of ventilation and dehumidification is needed. An equally important com-



ponent of the overall solution is either providing moisture controls that operate automatically or educating the occupants to be aware of the need for moisture control in these airtight homes when systems that do not work automatically are installed. It appears that dehumidification, in combination with spot ventilation with automatic control, should be considered a major part of a moisture-control strategy for all coastal and metro homes and perhaps even some cold climate homes for use during mild weather.

The surprisingly large number of moisture problems reported in these new homes is disturbing. These results suggest that moisture problems may be prevalent inside many new homes. Not enough attention had been paid to controlling excess moisture in tight homes, and there is a definite need to improve their indoor moisture-removal capability. Not doing so will result in continuing indoor moisture-related problems and possibly even long-term structural damage within walls. For future as well as existing energy-efficient airtight homes, moisture control must have a much higher priority in the design, construction, inspection, and ongoing operation. This goal appears achievable.

## RECOMMENDATIONS

### Recommendations for Further Study

A number of important questions arose from this study:

1. What needs to be done to provide satisfactory indoor moisture control that is so lacking in tightly constructed Pacific Northwest homes? Are the existing ventilation systems capable of maintaining satisfactorily low indoor relative humidity levels if they work properly and are used as intended? Is the use of air-to-air heat exchangers or whole-house exhaust-only ventilation systems workable as a moisture-removal strategy during mild seasons in cold climates or in mild climates where the outdoor air often is almost as moist as the indoor air? Should dehumidifiers be used to augment spot ventilation to provide the necessary removal of moisture in new tight homes in mild climates or during mild seasons in cold climates?

2. Can simple and inexpensive controls, such as dehumidistats or automatic timers, be installed on bathroom and kitchen exhaust fans to effectively automate the removal of moisture generated at the source and result in proper and automatic control of indoor moisture levels?

3. Given that existing bathroom exhaust fan systems achieve only about half of their rated exhaust flow, are there simple and inexpensive ways of modifying the ducting or other components to increase the flow, or must larger capacity (cfm) fans be used?

4. Are indoor moisture problems even more prevalent in new multi-family residences that are smaller in size and thus are theoretically more prone to moisture problems?

These questions need to be answered to conclusively determine if interior moisture problems can be prevented in new homes built with heavily insulated walls, a continuous air-vapor barrier, and mechanical ventilation with or without heat recovery. Even though it has been found that current energy-efficient home construction practices cause indoor moisture problems, remedial actions appear possible. But what works best? Clearly, additional information is needed.

### Proposed Tests and Studies

1. Undertake a limited moisture field study of a small number of relatively new, tightly constructed multi-family houses, particularly in the coastal or metro regions, to see if they have similar or worse problems, as expected.

2. Test the effectiveness of a combination of ventilation and dehumidification for indoor moisture control in mild, humid climates. This could be easily accomplished by comparing the indoor relative humidity performance of identical side-by-side apartments, one with dehumidification and one without. Two unoccupied apartments could be rented for the duration of the study. Equal moisture production could be achieved with vaporizers or humidifiers.

3. Test the effectiveness of dehumidistats and other automatic controls installed on bathroom and kitchen exhaust fans at maintaining proper indoor moisture levels.

4. Test the effect on bathroom exhaust fan system flow of increasing the duct diameter and replacing flex duct with non-flex duct. Determine the cost to modify existing ducts.

### Practical Recommendations to Improve Indoor Moisture Control

To transfer the findings and conclusions of this research so they may be of practical use to the building community at large, specific recommendations have been made to builders and contractors, building code officials, and energy-efficient home occupants. These recommendations are presented in detail in Tsongas (1990), which is available from the author or BPA, and are not repeated here because of space restrictions.

## ACKNOWLEDGMENTS

The author would like to gratefully acknowledge the U.S. Department of Energy/Bonneville Power Administration for funding the Northwest Wall Moisture Study.

## REFERENCES

- ASHRAE. 1989. *ASHRAE handbook—1989 fundamentals*, chapter 23. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- Bonneville Power Administration (BPA). 1989. "Spot fan ventilation performance." *RCDP Technical/Information Update*, May 5.
- duPont, P., and J. Merrill. 1989. *Residential indoor air quality & energy efficiency*. Washington, DC: ACEEE.
- HRAI Technical Services Division, Inc., and Energy Systems Center, Ontario Research Foundation. 1988. "Residential exhaust equipment." Report No. EEE/ESC-88-35, Canada Mortgage and Housing Corp., Research Division, Sept. 12.
- Galbraith, C.H. 1986. "Portable dehumidifiers for the control of condensation in housing." *Building Services Engineering Research & Technology* (United Kingdom), Vol. 7, No. 1, pp. 1-10.
- Robinson, R., and F. Rooke. 1989. "Field measurements of bathroom exhaust fan system performance." Unpublished senior project report, Mechanical Engineering Department, Portland State University, Portland, OR.
- Sanders, C. 1985. "Domestic dehumidifiers." *Building Services Research Report* (Building Research Establishment, United Kingdom), Vol. 7, No. 9, September, p. 93.
- Tsongas, G.A. 1980. "A field study of moisture damage in walls insulated without a vapor barrier." *Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings II*, pp. 801-815. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- Tsongas, G.A. 1986. "The Spokane wall insulation project: A field study of moisture damage in walls insulated without a vapor barrier." *Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings III*, pp. 556-569. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc. Also Bonneville Power Administration, DOE/BP-541, September 1985.
- Tsongas, G.A. 1987. "The effect of building air leakage and ventilation on indoor relative humidity." *Proceedings*. Building Thermal Envelope Coordinating Council (BTECC) Symposium on Air Infiltration, Ventilation and Moisture Transfer.

Tsongas, G.A. 1990. "The Northwest wall moisture study: A field study of excess moisture in walls and moisture problems and damage in new Northwest homes." U.S. DOE/Bonneville Power Administration, DOE/BP-91489-1, June. The information in this BPA report supersedes that in: Tsongas, G.A. 1990. "The Northwest wall moisture study: A field study of moisture in the exterior walls of new Northwest energy-efficient homes." D.L. McElroy and J.F. Kimpflen

(eds.), *Insulation Materials, Testing, and Applications, STP 1030*, pp. 464-482. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.

Tsongas, G.A., and R. Wridge. 1989. "Field monitoring of the winter performance of a residential dehumidifier." *ASHRAE Transactions*, Vol. 95, Part 1, pp. 284-294.

# Performance Comparisons of Six Different Air Cleaners Installed in a Residential Forced-Air Ventilation System

F.J. Offermann, III, P.E., CIH  
Member ASHRAE

S.A. Loiselle

R.G. Sextro, Ph.D.

## ABSTRACT

*Air cleaners may be installed in residential forced-air systems to substantially reduce the indoor concentrations of airborne particles. This paper compares the performance of six different types of air cleaners. The measurements were conducted in a three-room test space equipped with a residential forced-air system. Cigarette smoke was used as a test aerosol, and the indoor concentrations of particles in 22 size ranges between 0.01 and 3.0  $\mu\text{m}$  were measured. For each test, the effective cleaning rate (ECR) was calculated as the observed increase in the particle concentration decay rate with the air cleaner being operated multiplied by the indoor air volume. The ECR of the air cleaners ranged from 14 cfm to 25 cfm ( $24 \text{ m}^3/\text{h}$  to  $42 \text{ m}^3/\text{h}$ ) for two panel filters and a foam pad electrostatic precipitator to 419 cfm ( $712 \text{ m}^3/\text{h}$ ) for a HEPA filter, 546 cfm ( $928 \text{ m}^3/\text{h}$ ) for a flat-plate electrostatic precipitator, and 583 cfm ( $991 \text{ m}^3/\text{h}$ ) for the bag filter. These three devices are projected to reduce indoor residential concentrations of particles by 75% to 80% and to cost between \$0.28 and \$0.56 per cfm of cleaned air operating 24 hours per day, 365 days per year.*

## INTRODUCTION

Particles found indoors with human health implications include radon progeny, tobacco smoke particles, fibers, and microbiological matter. Increased attention is being given to the reduction of indoor concentrations of these pollutants.

Radon progeny—radioactive isotopes of Po, Bi, and Pb—are chemically active, unlike their chemically inert parent, and can adhere to indoor surfaces, including airborne particles, room surfaces, or lung tissue. The health risk associated with indoor radon concentrations is due to the alpha decay of the two short-lived progeny, Po-218 and Po-214. The discussion in this paper focuses on Rn-222 and its progeny; the contributions of Rn-220 and its decay products are usually much smaller. Modeling of the expected lung dose due to this alpha radiation indicates that radon progeny not attached to particles have greater health risks than those attached to particles. Thus, both the airborne concentrations of radon progeny and their implications for human health are affected by the particle concentration.

Environmental tobacco smoke particles are liquid droplets of condensed tobacco combustion vapors that contain many organic compounds including many known and suspected carcinogens. It is the particulate phase of tobacco smoke that is suspected of causing lung cancer. It should be noted that the semi-volatile liquid particles of tobacco smoke removed by air cleaners remain as sources of odorous organic gases that may evaporate from the collected liquid particles into the airstream. Thus, while particle filters may reduce the risk of lung cancer produced by exposure to the particulate phase of tobacco smoke, they may not reduce odor and eye irritation effects produced by the gases. In fact, where particle filtration is used in place of outside air ventilation, the indoor concentrations of odorous and irritating gases may actually increase.

Microbiological matter particles include fungi, bacteria, human skin flakes, and insects and their bioeffluents. There are also a number of toxic metabolic products produced by fungi and bacteria.

In addition, airborne particles may have health effects resulting from their intrinsic composition, as well as from the chemical nature of other chemical substances that may become adsorbed onto the particle surfaces.

A number of particle control techniques exist, including mechanical filters and electrostatic filters, which may be used as part of a residential forced-air heating/cooling system to substantially reduce the indoor concentrations of respirable particles. Unducted or stand-alone control devices are also available, and previous reports (Offermann et al. 1985; Sextro et al. 1986) discuss an evaluation of these devices. A few tests of ducted systems have been reported (Scott and Findlay 1983; Windham et al. 1978), but for the most part, these were restricted to field evaluations under conditions with limited control over or measurement capability for particle concentrations. Hanley et al. (1990) tested the particle-removal efficiency of a ducted residential electrostatic precipitator. The researchers used a differential mobility analyzer and optical particle counter to measure concentrations of potassium chloride test particles upstream and downstream and over a size range of 0.01  $\mu\text{m}$  to 3.0  $\mu\text{m}$ . Lawless et al. (1990) report experimental filter effi-

Francis J. Offermann, III, is Director of Air Quality Services and Steven A. Loiselle is Research Associate, Indoor Environmental Engineering, San Francisco, CA. Richard G. Sextro is Staff Scientist, Indoor Environment Program, Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, CA.



ciencies as a function of particle size for several ASHRAE-rated filters.

Among the early tests were experiments in an energy-efficient research house where reductions in radon progeny concentrations were noted due to operation of the forced-air furnace fan (Nazaroff et al. 1981). This paper reports the results of experiments conducted under controlled conditions in which several types of ducted air-cleaning devices were evaluated, including air circulation through the furnace system without any filtration. This paper discusses the effects of these devices on indoor particle concentrations. The effects upon radon decay product concentrations are discussed in a companion paper (Sextro and Offermann 1991).

#### DESCRIPTION OF DUCTED AIR-CLEANING DEVICES

Six ducted air-cleaning devices were evaluated; these included two types of panel filters, two types of extended surface filters, and two types of electrostatic precipitators. Relevant information on these devices, including data on size, price, and specified and measured flow rates, is given in Table 1.

The two panel filters tested were a disposable furnace filter and a reusable passive electrostatic filter. Both of these filters are designed to fit into the standard 1 to 2 in. (2.5 to 5.0 cm) filter slot in residential forced-air heating systems. The viscous impingement filter consists of a 16 in. by 25 in. by 1 in. deep (40 cm

by 64 cm by 2.5 cm deep) paper filter frame with a low packing density of relatively large glass fibers, lightly coated with a viscous adhesive to improve retention of large particles. This filter is typical of the type found in most U.S. residential forced-air systems. The manufacturer reports an initial air permeability of 835 cfm (680 m<sup>3</sup>/h) at 0.1 in. of water (25 Pa) and an ASHRAE weight arrestance of 75% (i.e., ASHRAE 52-76 test method).

The second panel filter, the passive electrostatic filter, is constructed as two filters separated by a small air space and mounted in a 16 in. by 20 in. by 1 in. deep (40 cm by 51 cm by 2.5 cm deep) galvanized steel frame. The filter medium is a relatively loose weave of coarse polypropylene fibers; according to the manufacturer, these fibers acquire an electrostatic charge as a result of the airflow past them, which enhances the removal of fine particles. As specified by the manufacturer, this filter can be cleaned by washing with water and reused. The manufacturer reports an initial air permeability of 1,200 cfm (680 m<sup>3</sup>/h) at 0.1 in. of water (25 Pa) and an ASHRAE weight arrestance of 78%.

Two different types of extended surface air filters were studied: a bag filter and a rigid frame HEPA filter. The bag filter used in this evaluation consists of a 2 ft by 2 ft (61 cm by 61 cm) aluminum frame holding a filter medium that is horizontally pleated to form eight 30 in. (76 cm) long bag elements, with a total surface area to face area ratio of 25. The filter medium consists of a relatively high packing density of fine spun glass

TABLE 1  
Description of Six Different Particle-Removal Devices and the Observed Airflow Rates, Effective Cleaning Rates, and Particle-Removal Efficiencies

Device type	Device Description	Unit <sup>a</sup> Cost (\$)	Manufacturer's Ratings		Test results		
			Air flow <sup>b</sup> permeability (cfm/0.1 IWG)	Particle <sup>c</sup> removal efficiency (%)	Flow rate <sup>d</sup> (cfm)	ECR <sup>e</sup> (cfm)	Efficiency <sup>f</sup> (%)
No Filter	Circulating fan only				962±96	14±3	1±<1.0
<b>Panel Filters</b>							
Viscous impingement filter	Coarse glass fiber panel filter	2.00	835	75, WE	874±87	24±3	3±<1.0
Passive electrostatic filter	Coarse Polypropylene fiber panel filter	40.00	1200	78, WE	861±86	14±7	2±<1.0
<b>Extended Surface Filters</b>							
Bag filter	Fine glass fiber bag filter	50.00	400	95, DSE	818±82	583±31	71±8
HEPA filter	Fine fiber glass paper HEPA filter	131.00	118	99.97, DOP	572±57	419±77	73±15
<b>Electrostatic Precipitators</b>							
Flat plate	Two stage flat plate collector positive corona	480.00	1556	90, DSE	799±80	546±46	69±9
Foam pad	Two stage foam filter collector positive corona	250.00	276	73, >0.15µm	699±70	25±2	4±<1.0
a.) Unit costs are derived from 1990-1991 price lists. b.) Air flow permeability is calculated from manufacturer's flowrate vs pressure drop data. c.) Particle removal efficiency is taken from manufacturers reported values for; WE-ASHRAE 52-76 weight arrestance, DSE-ASHRAE 52-76 dust spot efficiency, and DOP-Mil Std 282 particle collection efficiency calculated for 0.3 µm diameter dioctyl phthalate particles. d.) Flow rate was determined by measuring the pressure drop across the fan and referencing at the fan calibration curve. e.) Effective cleaning rate (ECR) is the difference in particle decay rates observed with and without the air cleaner, multiplied by the indoor net air volume. f.) System efficiency is the effective cleaning rate divided by the air flow rate through the forced air furnace system.							

fibers, backed by a layer of larger woven glass fibers. The manufacturer reports an initial air permeability of 400 cfm (680 m<sup>3</sup>/h) at 0.1 in. of water (25 Pa) and an ASHRAE atmospheric dust spot efficiency of 95% (e.g., ASHRAE 52-76 test method).

The HEPA filter consists of a 24 in. by 24 in. by 12 in. deep (61 cm by 61 cm by 31 cm deep) rigid particle board frame holding pleated, fine-fiber glass paper with corrugated aluminum separators between each pleat. The medium's surface area to face area ratio is 60. The manufacturer reports an initial air permeability of 118 cfm (680 m<sup>3</sup>/h) at 0.1 in. of water (25 Pa). The particle collection efficiency, as reported by the manufacturer, is 99.97% for 0.3  $\mu$ m diameter dioctyl phthalate (DOP) particles (i.e., Mil. Std. 282 test procedure).

Both of the electrostatic precipitators are two-stage devices, with separate positively charged ionization stages preceding the downstream collection stage. Each unit has a power consumption of less than 40 watts, and the collection cells can be washed and reused.

The major difference between the two precipitators is the collection stage. One device has a standard flat-plate collector and the other, a foam pad collector. The flat-plate precipitator has a series of parallel corona discharge wires at a potential of +7.9 kVDC followed by a collection stage made up of alternating positively charged and grounded aluminum plates. The precipitator is 25 in. by 17 in. by 7 in. deep (64 cm by 43 cm by 18 cm deep).

The foam pad electrostatic precipitator is 16 in. by 20 in. (40 cm by 51 cm) and only 2 in. (5 cm) thick and is designed to fit into the space used for typical panel-type furnace filters. The ionization stage consists of a series of parallel corona discharge wires at a potential of +5.8 kVDC. The collection stage consists of two polyurethane foam pads that are negatively charged by means of a metal grid inserted between them. The manufacturer reports an initial air permeability of 276 cfm (469 m<sup>3</sup>/h) at 0.1 in. of water (25 Pa) and a tobacco smoke removal rate of 73% for particles greater than 0.5  $\mu$ m.

## EXPERIMENTAL METHODS

### Test Space Description

The experiments were conducted at the Indoor Air Quality Research House (IAQRH), a two-story, wood-frame structure with a three-room test space that has been extensively weatherized to limit the infiltration rate to less than 0.1 air changes per hour (ach). A floor plan of this test space is shown in Figure 1. The interior volume of this space, including the furnace room, is 4,940 ft<sup>3</sup> (140 m<sup>3</sup>). The net indoor air volume is 4,450 ft<sup>3</sup> (129 m<sup>3</sup>). Doors connecting rooms 1, 2, and 3 were left open during the experiments, and for one series of tests, the door to the furnace room was closed. For a second set of experiments, the door remained open; this point will be noted later in the discussion of results. The system installed in the test space is a natural-gas-fired, natural draft residential forced-air furnace with an input heat rate of 42,500 Btu/h (12.45 kW) and a rated blower capacity of 1,125 ft<sup>3</sup>/min (1,910 m<sup>3</sup>/h) at 0.5 in. of water (125 Pa). The installation is typical of those found in residential applications. The furnace was modified to seal the combustion chamber, so that during furnace operation, combustion air is supplied from outside the building by a separate duct, and the combustion products are vented to the outside via another duct. Furnace fan control was also modified for direct control by the data acquisition and control computer. Extensive use of duct tape ensured that air leakage between the various furnace ducts and the furnace room was minimized.

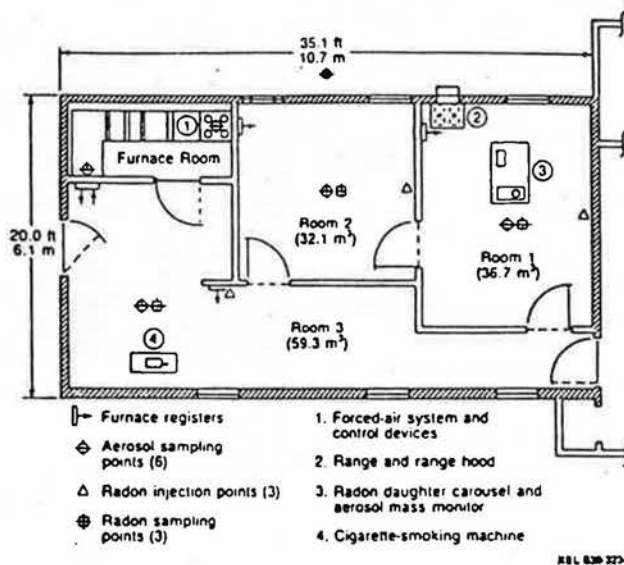


Figure 1 Floor plan of the three-room test space at the Indoor Air Quality Research House (IAQRH) depicting the typical configuration for instrumentation and sampling points.

A plan view of the test space in the IAQRH is in Figure 1, showing the location of the furnace and air cleaner system and the locations of the supply and return vents for the forced-air system. The four 14 in. by 4 in. (35 cm by 10 cm) supply registers were positioned approximately 7 ft (2.1 m) above the floor. These supply registers were connected to the outlet of the furnace plenum with 6 in. (15 cm) diameter galvanized sheet metal ducting. All joints were sealed, as were interior wall penetrations, to minimize extraneous air leakage pathways. Two supply ducts served room 3, with one outlet register located directly above the return air inlet, indicated in Figure 1 by the two arrows pointing in opposite directions. The opening of the return air register measured 18 in. by 12 in. (45 cm by 30 cm), and its centerline was located approximately 8 in. (20 cm) above the floor.

Details of a portion of the return air duct and furnace system are shown in Figure 2. The maximum cross-sectional dimensions of the return duct are 24 in. by 24 in. (61 cm by 61 cm). Typical filter locations are indicated in the figure. The return-air duct was constructed with two sections of different heights in order to accommodate different size filters. In addition, the bag filter required 30 in. (76 cm) of unimpaired ducting downstream to accommodate the bag elements that extended horizontally during fan operation.

### Instrumentation

The indoor particle concentrations and size distributions were measured with instruments located on the second floor of the IAQRH. Copper sampling lines, 0.5 in. (1.3 cm) in diameter and 12 ft to 25 ft (4 m to 7 m) long, connected a central instrumentation manifold to the six sampling points shown in Figure 1. The ends of these sampling lines were located 6 ft (1.8 m) above the floor at each sampling point. Total particle number concentration was measured with a condensation nucleus counter (CNC), while particle sizes and concentrations were measured by an optical particle counter (OPC) for particles between 0.1 and 3  $\mu$ m in diameter. For particles in the size range between 0.01 and 0.3  $\mu$ m in diameter, an electrostatic classifier (EC) was used in conjunction with the CNC. Figure 3 depicts the connections between the sampling manifold and the various particulate monitoring instruments.

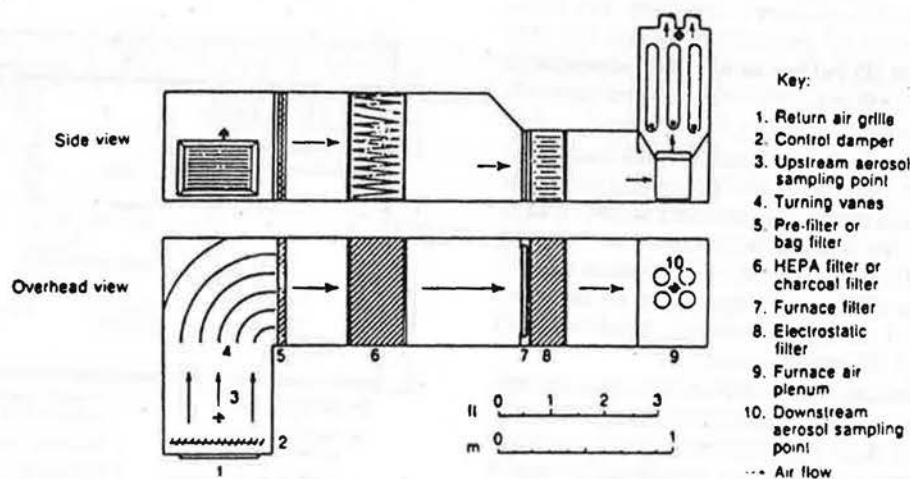


Figure 2 Drawing of the return air ductwork and furnace used for experiments at the IAQRH. Positions of the air-cleaning devices and particle-sampling locations are indicated.

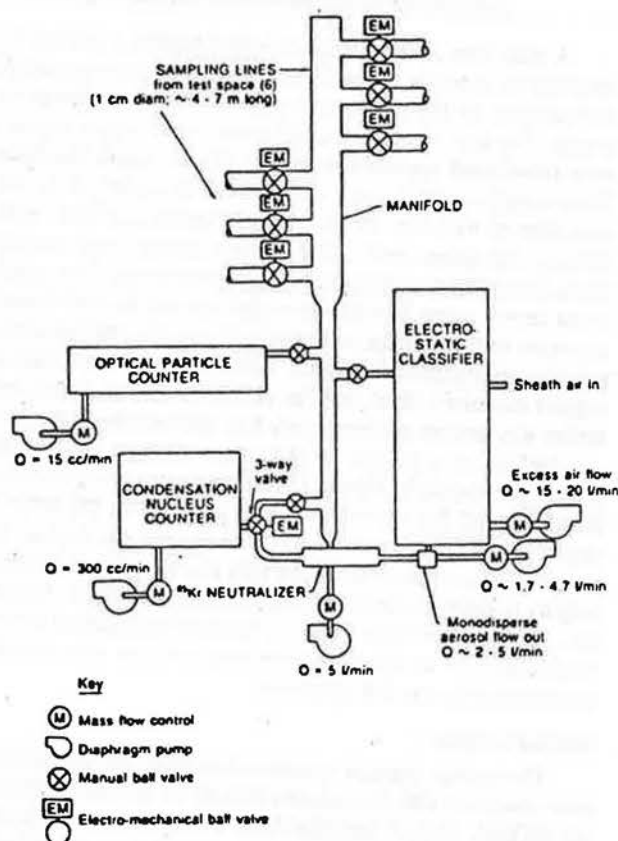


Figure 3 Drawing depicting the connections between particulate instrumentation and the sampling manifold at the Indoor Air Quality Research House.

Since the classifier output is read by the CNC, the concentration at each voltage step requires only that the flows and concentrations have stabilized after the change in voltage on the central rod. Typically, 30 seconds per step were used for these experiments; thus the total sampling time for the OPC is six minutes (i.e., allowing for valve switching for the CNC).

A computer was used to control furnace fan operation. Particle data were accumulated and logged on magnetic tape by

a second microcomputer system. This microcomputer also controlled the voltage step sequence for the EC and the sampling times for each instrument. Each sampling line was connected to the instrument manifold via an electromechanically driven ball valve, the operation of which was also controlled by the computer. Samples were drawn sequentially at each sampling point; each cycle of sequential measurements was repeated continuously throughout the experiment. Flow through the sampling line and manifold system was  $\sim 5$  L/min. A more detailed discussion of the instrumentation, the computer control and data-logging systems, and the time sequence of operation is presented in Offermann et al. (1985) and Sextro et al. (1986).

#### Test Protocol

The performance of each of the six air-cleaning devices was measured using an in-situ test protocol developed to test unducted portable air-cleaning devices and described by Offermann et al. (1985). This method involves raising the indoor concentration of particles and monitoring the subsequent decay in the particle concentration for a period without any air cleaner operating followed by a period with an air cleaner operating. From these data, the effective cleaning rate for each air cleaner was computed as the observed increase in the particle decay rate with the air cleaner operating multiplied by the net indoor air volume.

Cigarette smoke was selected as a test aerosol since it is a common, easily generated indoor pollutant. Usually five or six cigarettes were smoked individually in two smoking machines (at two 35 cc puffs per minute) placed on a table located in room 3, as shown in Figure 1. Both mainstream and sidestream smoke were emitted into the room. Typical cigarette burn time was six minutes, and usually two cigarettes were smoked simultaneously. This necessitated reentry into the test space to reload the smoking machines. Because only one machine was equipped with an automatic cigarette extinguisher, only one cigarette was used in the last reload, and the test space was not reentered again. Initial particle concentrations following combustion of the cigarettes were  $(1 - 3) \times 10^5$  particles/cm<sup>3</sup>.

Figure 4 shows the particle size distribution from 91-minute-old tobacco smoke generated in room 1 during a preceding series of experiments (Offermann et al. 1985). The



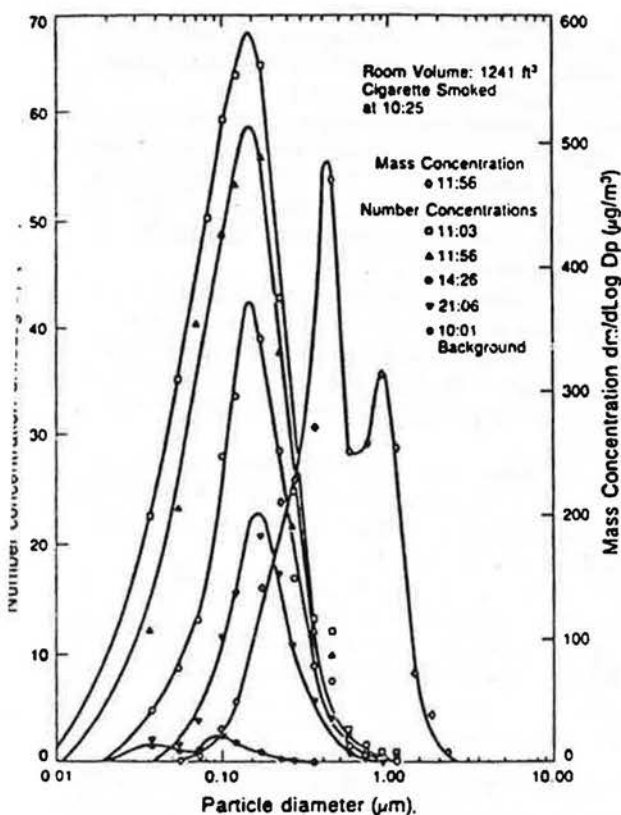


Figure 4 Size distribution of tobacco smoke particles generated from mainstream and sidestream emissions from one mechanically smoked filtered cigarette in a 1,200 ft<sup>3</sup> room. The mass concentration was computed assuming spherical particles with a density of 1 gm/cm<sup>3</sup>.

distribution is log normal with a number median diameter of 0.2 μm and a mass median diameter of 0.5 μm. The mass median diameter was computed assuming spherical particles with a density of 1 gm/cm<sup>3</sup>.

During combustion of the final cigarette, radon was injected into all three rooms of the test space at the injection points indicated in Figure 1. These points were located immediately upstream of small, wall-mounted mixing fans that were turned on for approximately one hour at the time of radon injection to facilitate mixing of pollutants in the test space. The radon source, 4.3 MBq of emanating <sup>226</sup>Ra stearate, usually was allowed to accumulate for 24 hours, which resulted in initial radon concentrations in the 4,940 ft<sup>3</sup> (140 m<sup>3</sup>) test space of 95 to 150 pCi/L (3,500 to 5,500 Bq m<sup>3</sup>).

Control device operation usually commenced four to five hours following cigarette combustion and radon injection. This time period allowed complete mixing of pollutant concentrations and enabled radioactive secular equilibrium to be established among radon and radon progeny. Control device operation ranged from three to five hours, depending upon the effectiveness of the device. The test space was ventilated several hours before each experiment using the range hood system in room 1.

Each control device investigated was placed in the appropriate location in the return air duct and taped in place to minimize air bypass around the filter unit. Air was drawn through the cleaning unit with the furnace fan located immedi-

ately upstream of the furnace plenum. Fan speed was not controlled during the experiments; thus airflow through the system was governed solely by the filter airflow resistance. Airflow was determined by measuring the pressure drop across the fan using a micromanometer. This system was calibrated by measuring the pressure drop across the fan as a function of measured airflow rate through the furnace system. The airflow was varied by adjusting the dampers in each of the four supply air ducts and then measuring the air velocity with a pitot tube in 9 in., 14 in., and 20 in. (23 cm, 36 cm, and 51 cm) diameter, 10 ft (3 m) long ducts attached upstream of the airreturn inlet. These data were then fit to a curve of differential pressure across the furnace fan vs. airflow rate.

## RESULTS

Two groups of experiments using ducted air-cleaning devices were conducted using different series of sample locations. Particle sampling for the first group of experiments was done from all five indoor sampling points indicated in Figure 1, which included all three rooms of the test space, in the return air duct upstream of the control device, and from within the furnace plenum. Comparison of the particle data collected from the three rooms shows that the particle concentration curves are essentially identical, indicating that the rooms are well mixed and circulation among the rooms is fairly rapid, as one might expect with continuous use of the furnace fan. Based on these results and the need to have as many data points as possible during the operation of the air-cleaning device, a second sampling sequence was established in which three samples were sequentially drawn from room 1, followed by one sample each from room 3 and from the two furnace sampling points.

Particle concentration data—both total and size segregated—were compiled as a function of time. Reductions in particle number concentration can occur due to air exchange between the test space and the outside air, physical or chemical interactions in the room air (principally coagulation of small particles), or deposition of particles on indoor surfaces. The air exchange rate can be determined directly from the radon concentration measurements. The chemical interactions that would measurably reduce the overall particle concentration appear to be negligible at particle concentrations below 10<sup>5</sup> particles/cm<sup>3</sup>. For tobacco smoke particles, the physical process of coagulation occurs at a rate proportional to the square of the number concentration. Below 10<sup>5</sup> particles/cm<sup>3</sup>, this effect is not important, and the reduction in number concentration is dominated by surface deposition. Also, since the process of coagulation proceeds at a rate proportional to the square of the concentration, there is an effective number concentration limit of 10<sup>5</sup> particles/cm<sup>3</sup> above which additional tobacco smoking results in no change in particle concentration but only larger particles.

To correct the observed particle concentration decay curves for particle removal by ventilation (air infiltration), the radon data were used to compute the air exchange rate. Without the furnace fan and air-cleaning device operating, the air exchange rate for the entire test space is 0.07 air changes per hour (hr<sup>-1</sup>). As noted earlier, these experiments were conducted in two groups; for the first group, the door to the furnace room (see Figure 1) was closed. During operation of the furnace fan and air cleaner, the average radon concentration decay rate was 0.37 hr<sup>-1</sup>, indicating additional ventilation or air exchange was induced by the fan operation. In the second group of experiments, where the door to the furnace room remained open, the average radon concentration decay rate was 0.11 hr<sup>-1</sup>. This smaller induced air exchange rate implies that more than half



the observed increase in the first group of experiments was likely due to leakage between the duct system and the furnace room. The increase in the air exchange rate observed with the furnace room door open indicates that some additional air exchange with the outside, probably through the furnace itself, is induced by operation of the furnace fan. The actual measured changes in radon concentration for each experiment are used to correct the particle decay curves for the effects of induced ventilation.

By measuring the natural particle concentration decay rate and correcting for air exchange, the particle deposition rate as a function of particle size was inferred. The mass-weighted average deposition rate for tobacco smoke particles was observed to be 0.05/h. This compares with the value of 0.10/h reported in our previous work (Offermann et al. 1985), conducted in room 1 only, which has a slightly larger surface-to-volume ratio than that for the three-room test space used in these experiments.

#### Air Cleaner Performance Calculations

Air cleaner performance was parameterized in two ways: the effective cleaning rate (ECR) and the system efficiency. The ECR is simply the difference in particle decay rates observed with and without the air cleaner, multiplied by the overall test space volume. This parameter can be thought of as the amount of particle-free clean air that would be required to produce the observed particle decay rate. The system efficiency is the ECR divided by the airflow rate through the forced-air furnace system.

The particle concentration decay constants for the natural and control periods of each experiment were calculated by fitting the experimental data to an exponential curve using a precision-weighted least-squares regression (Picot 1980). The quality of the fit was then checked by calculating the 90% confidence limits of the decay constants. The uncertainties in the computed ECR arise from several sources. Uncertainties due to the measurement of particle concentration do not affect the ECR, if we assume that the measurement accuracy of the instruments is independent of time (i.e., no drift) and concentration change (i.e., negligible changes in counting efficiency). This also assumes that any systematic errors in the measurement of particle concentration are percentage errors and thus cancel out when the decay rates are computed. With these assumptions, the major source of uncertainty in our decay rate calculations arises from the number of data points and the degree of the fit of the decay curves to the data points. The uncertainty in the volume measurement was estimated to be  $\pm 4\%$ . For calculating system efficiencies, we estimated the uncertainty in our flow measurements to be  $\pm 10\%$ . The uncertainties associated with each

measurement were assumed to be independent of one another and were added together in quadrature to obtain the uncertainties for the various performance parameters.

In order to facilitate the comparison of the effective air-cleaning rates achieved by the various air cleaners, we have selected the 0.45- $\mu\text{m}$ -diameter particle removal data as being representative of the 0.01  $\mu\text{m}$  to 1.75  $\mu\text{m}$  size range being monitored. This size particle also coincides with the mass median size of the tobacco smoke particles.

Results for the ducted air-cleaning devices evaluated in this study are tabulated in Table 1 and summarized in Figure 5.

The airflow rates through the residential forced-air furnace system ranged from a low of 572 cfm (972  $\text{m}^3/\text{h}$ ) with the HEPA filter installed to a high of 962 cfm (1,635  $\text{m}^3/\text{h}$ ) with no filter installed.

Of the six devices, three had substantial particle-removal rates, ranging from 418 cfm to 583 cfm (710  $\text{m}^3/\text{h}$  to 991  $\text{m}^3/\text{h}$ ). These devices included the bag filter, the flat-plate electrostatic precipitator, and the HEPA filter.

The bag filter had the highest ECR, 583 cfm (991  $\text{m}^3/\text{h}$ ), and a system efficiency of 71%. This efficiency on tobacco smoke particles compares to the manufacturer's reported 95% ASHRAE dust spot efficiency. The dust spot efficiency test uses atmospheric dust. Since the test involves surface staining, it is weighted to the surface median particle size, which is probably in the range of 0.5  $\mu\text{m}$  to 1.0  $\mu\text{m}$  depending upon local atmospheric conditions. Since our efficiency is calculated using 0.45  $\mu\text{m}$  particles, we would anticipate the ASHRAE dust spot efficiency to be higher.

The next best performing device was the flat-plate electrostatic precipitator, which had an ECR of 546 cfm (928  $\text{m}^3/\text{h}$ ) and a system efficiency of 69%. This efficiency on tobacco smoke particles compares to the manufacturer's reported 90% ASHRAE dust spot efficiency and is consistent with the bag filter efficiency comparisons.

The HEPA filter had the highest efficiency of 73% but an ECR of only 419 cfm (712  $\text{m}^3/\text{h}$ ). This efficiency on tobacco smoke particles compares to the manufacturer's reported 99.97% DOP efficiency. The DOP test uses an oil smoke with a mean particle size of 0.3  $\mu\text{m}$ , which is slightly smaller than the 0.45  $\mu\text{m}$  size particles we are using for comparison. This discrepancy in measured efficiencies was indeed surprising. We believe, as Hanley (1990) reported in his evaluation of the performance of an electronic air cleaner, that "sneakage" can be an important consideration for high-efficiency air filtration devices. In this case, we believe that air leakage occurred be-

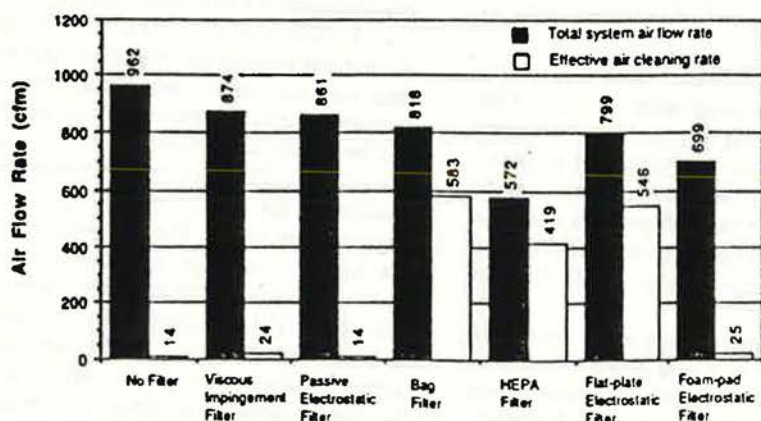


Figure 5 Graphical summary of the performance of the various in-duct air-cleaning devices. The shaded bar is the airflow rate in cfm, while the unshaded bar is the effective cleaning rate (ECR), also in cfm.



tween the rigid HEPA filter frame and the sheet metal ductwork. There was no visible damage to the HEPA filter media.

The three remaining air cleaners had relatively little impact on airborne particle concentrations, with ECR values in the range of 14 cfm to 25 cfm (24 m<sup>3</sup>/h to 42 m<sup>3</sup>/h) and system efficiencies ranging from 1% to 3%. The ECR achieved by operating the furnace with no filter at all was 14 cfm (24 m<sup>3</sup>/h). This compares to an ECR of 24 cfm achieved with the standard viscous impingement furnace filter, 14 cfm with the passive electrostatic filter, and 25 cfm with the foam pad electrostatic precipitator.

These results compare with the panel manufacturers' reported ASHRAE weight arrestance of 75% and 78%. These tests measure the upstream and downstream particle mass concentrations of a special test dust. This test dust is relatively coarse, with a median diameter of approximately 10 μm. Thus ASHRAE weight arrestance data reflect a filter's ability to remove large non-respirable particles.

The test with no air filter at all suggests that air circulation had a negligible effect on particle-removal rates at these particle sizes and concentrations. This result is consistent with our earlier observation that enhanced air movement in a single room

has a very small effect on particle removal by deposition (mann et al. 1985).

Figure 6 is a plot of the effective cleaning rates as a function of particle size for the three particle-removal devices that had a significant impact upon the indoor concentrations of particles: the bag filter, the flat-plate electrostatic precipitator, and the HEPA filter. For all three devices, the particle-removal rates dropped significantly below 0.1 μm. This phenomenon is surprising, since particle-removal theory for both mechanical and electrostatic filters predicts a minimum particle collection efficiency at 0.3 μm ± 0.2 μm.

Lawless (1990) reports a similar discrepancy between experimental upstream/downstream particle-removal efficiency measurements and theory for an electrostatic precipitator. He suggests that the continuum charging theory may be inadequate below 0.1 μm. His data for mechanical filters with efficiencies ranging from 40% to 95% ASHRAE dust spot efficiency all have minimum particle-removal efficiencies at approximately 0.1 μm to 0.3 μm.

Figure 7 is a plot of the effective cleaning rates as a function of particle size for the three particle-removal devices that had no significant impact upon the indoor concentrations of particles:

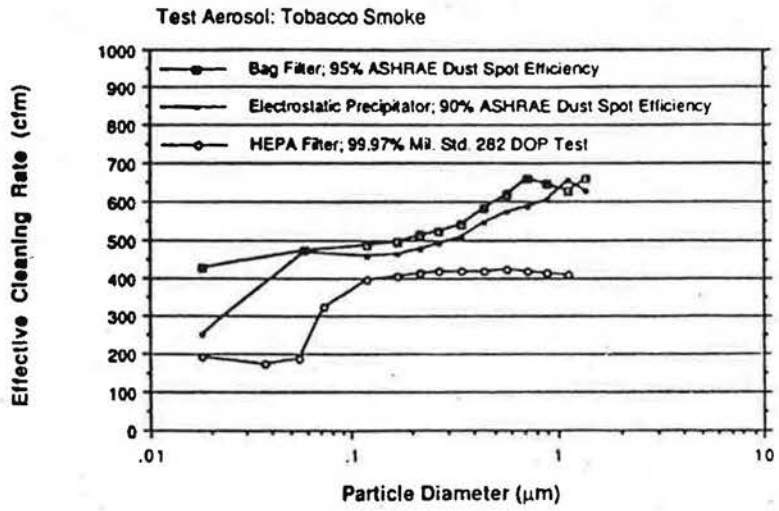


Figure 6 Plot of the effective cleaning rate (ECR) as a function of particle size for the three particle-removal devices that had a significant impact upon the indoor concentrations of particles.

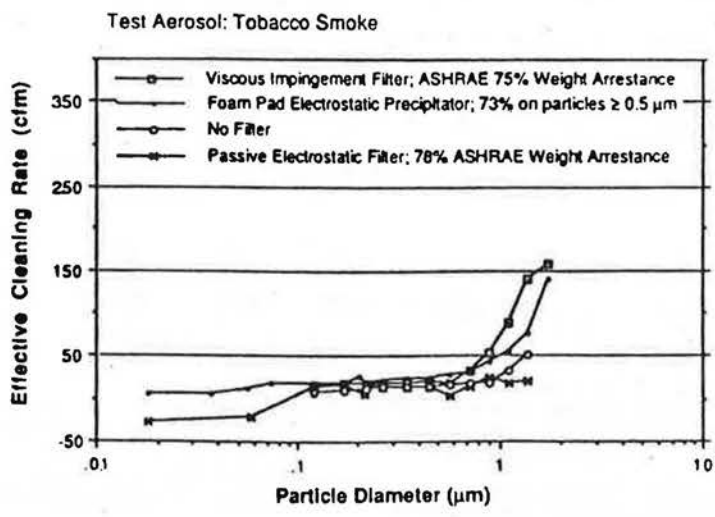


Figure 7 Plot of the effective cleaning rate (ECR) as a function of particle size for the three particle-removal devices that had no significant impact upon the indoor concentrations of particles.

the viscous impingement filter, foam pad electrostatic precipitator, and the passive electrostatic filter. Also included in this plot are the results for the test with no filter. As can be seen from this figure, these devices have a negligible impact upon the concentrations of particles less than  $1.0 \mu\text{m}$  in diameter. Above  $1.0 \mu\text{m}$ , the viscous impingement filter, which is a standard furnace filter, outperforms the much more expensive foam pad electrostatic precipitator and passive electrostatic filter.

#### Air Cleaner Economics

A comparison of the costs associated with operating each of the six air-cleaning devices is presented in Table 2 along with the projected reductions of indoor particle concentrations. The total annual costs associated with each device were calculated as the sum of the unit cost and installation costs, which were combined into a single annualized installation cost and added to the annual costs associated with operating the furnace fan, supplying power to the electrostatic precipitators, and providing maintenance (i.e., filter changes). These costs range from \$93.69/yr for the passive electrostatic filter to \$235.98/yr for the HEPA filter. The costs associated with operating the furnace fan 24 hours per day, 365 days per year, is approximately \$90/yr assuming a high-efficiency blower motor (e.g., PSC). The installation costs assume some sheetmetal work for installation of four of the devices. The viscous impingement filter and the passive electrostatic filter are designed to slip directly into the filter slot of

most residential forced-air heating systems and have no special installation costs. No additional costs were included for possible declines in furnace operation efficiency, which may follow from installation of air cleaners that significantly slow down the airflow rate through the fossil-fuel-fired heat exchangers (i.e., increased flue losses).

The air-cleaning costs for each air cleaner were computed in dollars per cfm of clean air as ECR divided by the total annual costs. These prices ranged from \$6.69/cfm ( $\$3.93/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ ) for the poorly performing passive electrostatic filter to \$0.28/cfm ( $\$0.17/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ ) for the bag filter. These costs compare to the costs of outside air ventilation, which, for a 24-hour-per-day operation schedule, costs between \$2/cfm and \$6/cfm depending upon climatic zone.

The reduction in the indoor particle concentration for each air cleaner was calculated as the reduction in the steady-state indoor concentration computed assuming a  $1,500 \text{ ft}^2$  ( $140 \text{ m}^2$ ) residence, an 8 ft (2.44 m) ceiling height, 0.5 air changes  $\text{hr}^{-1}$  per hour air infiltration rate, a  $0.2 \text{ hr}^{-1}$  particle surface deposition rate, and perfect mixing. The projected reduction in particle concentrations is summarized in Table 2 and ranged from 9.1% for the passive electrostatic filter or no filter to 80.6% for the bag filter.

#### CONCLUSIONS

Ducted air-cleaning devices can be added to existing residential forced-air heating/cooling systems to significantly

TABLE 2  
Summary of the Installation and Operation Costs for Each Type of Air Cleaner and Projected Reductions of Indoor Particle Concentrations

Device type	Unit <sup>a</sup> cost (\$/unit)	Installation <sup>b</sup> costs (\$/unit)	Annualized <sup>c</sup> installation costs (\$/year)	Fan <sup>d</sup> costs (\$/year)	Power <sup>e</sup> costs (\$/year)	Main- <sup>f</sup> tenance costs (\$/year)	Total <sup>g</sup> annual costs (\$/year)	ECR <sup>h</sup> (cfm)	Cost per <sup>i</sup> cfm of clean air (\$/cfm)	Particle <sup>j</sup> reduction (%)
No filter	0.00	0.00	0.00	92.89	0.00	0.00	92.89	14	6.64	9.1
<b>Panel filters</b>										
Viscous impingement filter	2.00	0.00	0.10	91.91	0.00	2.00	94.01	24	3.92	14.6
Passive electrostatic filter	40.00	0.00	2.00	91.69	0.00	0.00	93.69	14	6.69	9.1
<b>Extended surface filters</b>										
Bag filter	50.00	400.00	22.50	91.83	0.00	50.00	163.33	583	0.28	80.6
HEPA filter	131.00	350.00	24.00	80.93	0.00	131.00	235.98	419	0.56	75.0
<b>Electrostatic precipitators</b>										
Flat plate	480.00	300.00	39.00	90.38	35.04	0.00	164.42	546	0.30	79.6
Foam pad	250.00	50.00	15.00	87.17	12.26	0.00	114.44	25	4.58	15.2
<p>a.) Unit costs are derived from 1990-1991 price lists.  b.) Installation costs are calculated using estimates based upon a \$50 per hour labor rate.  c.) Annualized costs are associated with the straight line depreciation of the initial unit and installation costs over a twenty year service life.  d.) Fan costs are calculated from the measured air flow rates and total fan pressure, assuming a 60% fan efficiency, \$0.10 per kW/hr, and continuous fan operation.  e.) Power costs associated with powering electrostatic devices, calculated using \$0.10 per kW/hr and the units running continuously.  f.) Maintenance costs are the costs associated with one filter change per year, with the labor associated with this and other maintenance performed by the homeowner at no cost.  g.) Total annual costs are the sum of the annualized installation costs, fan costs, power costs, and maintenance costs.  h.) Effective cleaning rate (ECR) is calculated as the difference in particle decay rates observed with and without the air cleaner, multiplied by the overall test volume.  i.) Cost per cfm of clean air is calculated as the total annualized installation costs divided by the effective cleaning rate.  j.) Particle concentration reduction is the calculated reduction in the steady state indoor particle concentration assuming a 1500 square feet residence, 8 foot ceiling, 0.5 air changes per hour infiltration, a <math>0.2 \text{ hour}^{-1}</math> particle deposition rate and perfect mixing.</p>										



reduce indoor particle concentrations, although our tests indicate that there is a wide range in the capabilities of different types of air cleaners to remove particles. Simple panel filters proved the least effective, with the removal rate almost identical to that obtained by simple air circulation alone—with ECRs ranging from 14 cfm to 25 cfm ( $24 \text{ m}^3/\text{h}$  to  $42 \text{ m}^3/\text{h}$ ) for the panel filters compared with an ECR of 14 cfm ( $24 \text{ m}^3/\text{h}$ ) for air circulation alone. The more effective devices were a bag filter, with an ECR of 583 cfm ( $991 \text{ m}^3/\text{h}$ ); an electrostatic precipitator, 546 cfm ( $9,280 \text{ m}^3/\text{h}$ ); and a HEPA filter, 419 cfm ( $712 \text{ m}^3/\text{h}$ ). These three air-cleaning devices all require some sheet-metal modification to the existing forced-air system ductwork to accommodate the installation of the air cleaner. These devices are projected to reduce indoor concentrations of particles by 75% to 80% and to cost between \$0.28 and \$0.56 per cfm of cleaned air operating 24 hours per day, 365 days per year. By contrast, the costs associated with using some poorly performing air cleaners is calculated to be \$4 to \$6 per cfm of cleaned air, which is close to the costs associated with using ventilation with outside air.

#### ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the Office of Energy Research, Office of Health and Environmental Research, Human Health and Assessments Division and Pollutant Characterization and Safety Research Division of the U.S. Department of Energy (DOE) under Contract No. DE-AC03-76SF00098; by the U.S. Environmental Protection Agency (EPA) through Interagency Agreement AD-89-F-2A062 with DOE; and by the Bonneville Power Administration, Portland, Oregon. Although the research described here was partially supported by the EPA, it has not been subjected to EPA review and therefore does not necessarily reflect the views of EPA, and no official endorsement by the EPA should be inferred.

#### REFERENCES

- Hanley, J.T., D.D. Smith, P.A. Lawless, D.S. Ensor, and L.E. Sparks. 1990. "A fundamental evaluation of an electronic air cleaner." *Proceedings of the Fifth International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, Toronto, Canada, Vol. 3, pp. 145-150.
- Lawless, P.A., A.S. Viner, D.S. Ensor, and L.E. Sparks. 1990. "Computations on the performance of particle filters and electronic air cleaners." *Proceedings of the Fifth International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, Toronto, Canada, Vol. 3, pp. 187-192.
- Nazaroff, W.W., M.L. Boegel, C.D. Hollowell, and G.D. Roseme. 1981. "The use of mechanical ventilation with heat recovery for controlling radon and radon-daughter concentrations in houses." *Atmospheric Environment*, Vol. 15, pp. 263-270.
- Offermann, F.J., R.G. Sextro, W.J. Fisk, D.T. Grimsrud, W.W. Nazaroff, A.V. Nero, K.L. Revzan, and J. Yater. 1985. "Control of respirable particles in indoor air with portable air cleaners." *Atmospheric Environment*, Vol. 19, pp. 1761-1771.
- Scott, A.G., and W.O. Findlay. 1983. "Demonstration of remedial techniques against radon in houses on Florida phosphate lands." U.S. Environmental Protection Agency, Report EPA 520/5-83-009.
- Sextro, R.G., F.J. Offermann, W.W. Nazaroff, A.V. Nero, K.L. Revzan, and J. Yater. 1986. "Evaluation of indoor aerosol control devices and their effects on radon progeny concentrations." *Environment International*, Vol. 12, pp. 429-438.
- Sextro, R.G., and F.J. Offermann. 1991. "Reduction of indoor particle and radon progeny concentrations in residences with ducted air cleaning systems." Lawrence Berkeley Laboratory Report, Berkeley, CA, LBL-16660.
- Windham, S.T., E.D. Savage, and C.R. Phillips. 1978. "The effects of home ventilation on indoor radon-radon daughter levels." U.S. Environmental Protection Agency, Report EPA 520/5-77-011.



# Building Owner's In-House Response to Indoor Air Quality Problems— Four Case Studies

G.G. Briggs  
Member ASHRAE

M.L. Rodgers  
Associate Member ASHRAE

J. Sharpe

## ABSTRACT

*A building owner and property manager formed an in-house team to respond to complaints of indoor air quality. The purpose was to diagnose and mitigate complaints more quickly than was possible using consultants. The two-person team consisted of experts in mechanical systems and environmental issues. Between October 1990 and March 1991 the team responded to nine complaints in commercial office buildings, of which four are presented here. Results of the team effort indicate that the approach is successful in rapidly identifying and remediating indoor air quality problems.*

## INTRODUCTION

An extensive industry has developed to assist building owners and property managers in need of indoor air quality services (EPA 1989). However, use of external diagnostic services to perform indoor air quality investigations has proved frustrating to one building owner/manager for several reasons. The owner manages approximately 50 multi-family residential properties, 75 commercial buildings, four hotels, and hundreds of retail establishments in the metropolitan Washington, DC, area.

First, although a problem clearly existed, investigators, relying heavily upon instruments to determine cause, frequently produced false negative results. This problem has been identified elsewhere (Light 1989).

Second, a period of four to six weeks often elapsed between the date the investigation took place and acceptance of the consultant's final report, a delay too extended to be acceptable to persons experiencing daily discomfort.

Third, a common consultant recommendation was to perform an evaluation of the ventilation system, but it soon became evident that is where the investigation should have commenced in the first place.

Fourth, consultant-performed evaluations often did not achieve the very purpose for which they were commissioned: to establish cause.

Based on these difficulties, a new approach was developed. In-house resources available to the building owner consisted of professionals with expertise in mechanical systems and environmental issues. Therefore, it was decided that on an experimental basis the consultant approach would be dropped in favor of a two-person in-house response team. One team member is a

former building chief engineer with 13 years' hands-on experience in heating, ventilating, and air-conditioning systems. The other participant has conducted numerous indoor air quality investigations over the past several years and holds a master's degree in environmental health science.

The aims of the experimental approach were severalfold: (1) to sharply cut down effective response time, (2) to inspect the ventilation system as part of the initial site visit rather than thereafter, (3) to delineate cause, and (4) to recommend mitigative steps as quickly as possible and ensure they are implemented without delay. It was agreed to reconsider the use of consultants if the in-house approach failed to solve the problem.

The team responded to its first complaint in October 1990 and visited eight additional complaint sites through March 1991. All complaints came from the owner's commercial buildings. The case studies that follow present the results of four of those investigations.

## CASE STUDY 1

On November 15, 1990, a commercial tenant occupying the entire 11th floor (35,455 ft<sup>2</sup> [3,294 m<sup>2</sup>]) of a 13-story office building in Arlington, Virginia, expressed several concerns related to poor indoor air quality: poor air circulation in interior offices, as evidenced by stuffiness and odors including cigarette smoke; dirt in exterior offices; complaints of fatigue; possible mold growth on ventilation system components; and a suspected increase in respiratory illnesses.

Mechanical heating, ventilating, and air-conditioning for the building is provided by two interior and one exterior zone constant volume air-handling units. Supply airflow from the exterior fan is distributed around the perimeter of the building by wall-mounted induction units. Interior air distribution is provided by troffers installed in the light fixtures. Return air distribution is by means of slots in light fixtures and a plenum ceiling. Each of these units is equipped with backup resistance heat strips. Chilled water is provided to the air-handling units and the induction units from a remote central plant. Office windows cannot be opened.

## Air Distribution

From the inspection of the return air plenum ceilings, it was revealed that both the supply air and the return air distribution



systems were not performing as designed. This lack of air distribution was causing the cigarette smoke to drift out of offices and down the hallways. The smoke was then drawn into other areas by the poorly balanced heating, ventilating, and air-conditioning system.

In response to the complaints about poor air circulation, approximately 15 offices and the ceiling return air plenum were visually inspected. One indicator of unsatisfactory conditions was the presence of numerous oscillating fans in many offices. A multitude of problems affecting heating, ventilating, and air-conditioning system performance were observed:

1. Supply air for the suite was escaping into the ceiling return air plenum because (a) light-mounted supply air troffers were disconnected from the supply air ductwork, (b) flexible supply air ductwork lay disconnected in the plenum, (c) take-off caps were missing on main supply air ductwork, and (d) several supply air light troffer dampers were closed.
2. A considerable amount of supply air that did enter the suite was being short-circuited by poorly positioned return air grilles installed in the suspended ceilings of individual offices.
3. The main outside dampers were closed 100% as a result of work being performed on the air handlers in the penthouse by a outside contractor at the time of the inspection.
4. Return airflow in the ceiling plenum was being severely restricted for several reasons: (a) openings were not present in slab-to-slab demising walls; (b) fiberglass bat insulation, previously installed for acoustical purposes, had been rolled up in the plenum ceiling; (c) demising walls and supply air ductwork were placed improperly in one area; and (d) discarded ceiling tiles, apparently from previous remodeling work, were present in the plenum. Besides restricting return airflow, these panels and an extensive network of communication cabling installed by the tenant added sufficient weight to the suspended ceiling tiles to cause cracking and breaking.

Unacceptable air quality conditions in the suite were compounded by several tenant-generated problems. Although tests to confirm heat load were not made, the presence of heat-emitting office equipment appeared certain to exceed the 5 W/ft<sup>2</sup> (54 W/m<sup>2</sup>) building design standard. Employee density in some interior offices exceeded local code guidelines (BOCA 1989) of 100 ft<sup>2</sup> (9 m<sup>2</sup>). The presence of several poorly maintained supplemental, self-contained, package air-conditioning units installed by the tenant in several areas within the suite possibly contributed to odor problems. The filter in one in particular was completely clogged with debris, and odors provided by the filter media were detected in the discharge air.

Temperature measurements confirmed the existence of marginal thermal comfort conditions. Interior zone temperatures from 77°F to 82°F (25°C to 28°C), with an average temperature of 78.9°F (26.1°C), were detected. Since the outside air temperature was 53.5°F (11.9°C), the building should have been on the outside air economizer cycle. Instead, as previously noted, the outside air dampers were closed, and the interior zone fans were supplying air in excess of 65°F (18°C).

Remediation consisted of reconnecting light-mounted supply air troffers and the flexible supply air ductwork. In all, deficiencies were found in approximately 25 troffers. Approximately 15 missing take-off caps were repaired. Unnecessary insulation and discarded ceiling tiles were removed from the plenum. A total of 22 ceiling-mounted return air grilles were removed. Approximately 275 ft (84 m) of slab-to-slab partition return air openings were removed to permit improved return airflow in the ceiling plenum.

The condition of the self-contained units and equipment heat load and employee density issues were brought to the tenant's attention; however, no follow-up was undertaken to determine if changes were made.

Although no baseline data were collected, results of measurements performed in the suite four-and-a-half months after the inspection by a consultant industrial hygiene firm revealed conditions conducive to acceptable air quality. Six measurements of carbon dioxide were collected from throughout the suite, and none exceeded 500 ppm. Carbon monoxide measurements taken throughout the day did not exceed atmospheric concentrations, even in smoking areas.

Except for a single reading of 71°F (53°C), air temperature in the suite on April 3, 1991, averaged 76°F (24°C), with all results between 74°F and 78°F (23°C and 26°C). The relative humidity averaged 42%, with a low of 36% and a high of 60% (see Table 1). Measurements were taken using a sling psychrometer.

#### Dirt and Mold

The tenant stated that fine dirt and dust particles were expelled from the louvers on the induction units when the building's heating, ventilating, and air-conditioning system was first activated in the morning. The problem also occurred if the induction unit's housing was bumped or the louvers removed. The existence of excessive airborne dirt was associated with the inability of one employee to wear contact lenses at work.

Inspection of the units revealed an accumulation of debris on the surface of the discharge air nozzles. In some instances, the nozzles, which are approximately 0.12 in. (3.18 mm) in diameter, were restricted by approximately 50%. When the induction units were bumped or the louvers removed, dirt and debris were expelled from the unit. No attempt was made to determine if the dirt represented normal accumulation over the years or came from another source.

Induction units were cleaned by a contractor approximately a month and a half after the inspection. Reinspection of cleaned units indicated that the problem had been largely corrected. However, dirt was still present within some units, and in others, discharge nozzles were found to be blocked by factory-installed plastic plugs. The findings suggest a need for closer supervision of this work in the future.

An unusual amount of dirt was also observed in a copy room on the door frame, ceiling tiles, and a ceiling vent. These

TABLE 1  
Temperature and Relative Humidity Measurements on 4/3/91  
Case Study 1, 11th Floor\*

Time	Location	Temp. (°F/°C)	R.H. (%)
0755	Southwest Corner, Core	78/26	39
0757	Northwest Corner, Core	76/24	40
0759	Northeast Corner, Perimeter	76/24	44
0803	Southeast Corner, Perimeter	76/24	40
0900	Outside	46/8	50
0905	Southwest Corner, Core	77/25	36
0907	Northwest Corner, Core	75/24	40
0910	Northeast Corner, Perimeter	71/22	38
0915	Southeast Corner, Perimeter	78/26	36
1105	Southwest Corner, Core	76/24	48
1108	Northwest Corner, Core	75/24	38
1110	Northeast Corner, Perimeter	75/24	38
1115	Southeast Corner, Perimeter	78/26	60
1300	Outside	57/14	40
1315	Southwest Perimeter Hallway	74/23	58
1317	Northwest Perimeter Hallway	76/24	39

\*Heating, ventilating, and air-conditioning system activated at 0805.

areas were cleaned and the tenant was asked to ensure that the copy machine, believed to be the source of much of the dirt, was being properly maintained. No follow-up to the tenant request was made.



On April 3, 1991, four-and-a-half months later, sampling for nuisance dust was performed in the suite. Six samples were collected, three before the heating, ventilating, and air-conditioning system was activated and three thereafter. Pre-operating results ranged from none detected to 0.20 mg/m<sup>3</sup>, post-operating results, from 0.02 to 0.07 mg/m<sup>3</sup>. All results are below the U.S. Environmental Protection Agency's benchmark of 0.26 mg/m<sup>3</sup> (24 hours) for ambient air. Sampling was performed per NIOSH Method 0500 using a 37-mm cassette with a preweighed PVC filter.

Concern for mold growth was raised because at least one employee claimed to be allergic to it. No visual evidence of mold growth was seen during the survey, nor were significant levels detected during sampling in the suite on April 3. Analysis of three bacteria samples produced results from 0 to 4 cfu/m<sup>3</sup>; seven samples for fungi, 0 to 1 cfu/m<sup>3</sup>. Samples were collected both before and after HVAC system activation. Results of outside (roof) baseline data were comparable: two samples each for bacteria and fungus yielded results of 0 to 1 cfu/m<sup>3</sup> and 1 to 2 cfu/m<sup>3</sup>, respectively.

Measurements for viable microorganisms were collected following a protocol of the American Conference of Governmental Industrial Hygienists (1989) using a cascade impactor. Soy agar culture plates were used to collect viable bacteria and dextrose agar for viable fungi.

#### CASE STUDY 2

A commercial tenant occupying approximately 1,750 ft<sup>2</sup> (163 m<sup>2</sup>) of space on the fifth floor of a 12-story office building in Arlington, Virginia, complained of stuffiness and poor ventilation. Among the five-person staff, symptoms included headache, sore throat, allergies, and unspecified respiratory illnesses.

Building staff responded to the complaints on December 19, 1990, two days before the response team arrived. Six disconnected supply air troffers were found in the ceiling plenum above the suite; several others were closed. The devices were reconnected, opened, and the tenant reported an immediate improvement in air quality. Subsequently, building staff traversed all supply troffers using a flow hood to ensure they were discharging supply airflow at the design specification. Four were found to be discharging four times the design specification and were adjusted downward.

While it is believed that the disconnected troffers were the primary source of the complaints, several additional problems were detected during the response team's inspection that could have played a minor role in air quality then or in the future. Dirt was observed accumulating on air jet nozzles located within the suite's three induction units. This would eventually affect airflow adversely. These were subsequently cleaned by a contractor and the discharge airflow checked to ensure it was compatible with design volume and static pressure. Static pressure on one of the three was adjusted upward. The tenant expressed complete satisfaction after the changes were made.

Several minor tenant-related issues were noted during the visit. Ice buildup was detected in a small refrigerator used by the tenant. A water-stained carpet caused by a leaking five-gallon container of bottled water was also observed. Due to a concern about buildup of microbial growth, the tenant was advised to defrost the refrigerator at once and periodically thereafter and to provide spill containment for the water containers.

Finally, a microwave oven was observed to be inadequately vented and in contact with combustible materials. The tenant was advised to remove the combustibles and relocate the unit to permit improved ventilation.

#### CASE STUDY 3

#### ANNEXE 27 (SUITE)

Four persons occupying a 500 ft<sup>2</sup> (46 m<sup>2</sup>) commercial suite on the sixth floor of a 15-story office building in Arlington, Virginia, complained of headache, fatigue, stuffiness, dry air, and poor air circulation. One occupant associated an upper respiratory infection with the work environment and said cigarette smoke from an adjacent office was discomforting. The investigation was performed on January 22, 1991.

Although the office work force is small, a large number of persons enter the facility to sign in before being permitted access to secured areas elsewhere in the building. The result is that 100 or more persons may pass through the reception area of the suite in a single day.

Supply air is provided through two perimeter induction units and by distribution troffers located in the light fixtures. Return air passes through the slotted light fixtures and into the ceiling plenum. Inspection revealed that several return air openings were partially closed, creating a pressurized condition in the suite. Frequent opening of the door of the suite actually benefitted occupants because it acted as a relief to permit air movement. One supply air troffer was disconnected.

All troffer problems were corrected, and a 2 ft by 2 ft (0.6 m by 0.6 m) perforated return grille was installed in the suspended ceiling between the reception area and the offices. Supply air troffers were then traversed using a flow hood to ensure they were providing air at design criteria, i.e., between 62 and 100 cfm (31 and 50 L/s). To alleviate the cigarette smoke, two return air grilles were installed in an adjacent office where the odor originated.

Inspection of the induction units revealed an excess of dirt and debris. One of the units, situated in the office of the employee who complained of the respiratory infection, was found to be on the maximum cool setting. Moreover, several directional diffusers on the unit were placed to direct discharge air toward the employee's desk, rather than away from it. Several other diffusers were covered with plastic to restrict airflow.

Both induction units were subsequently cleaned and discharge air static pressure set to design conditions. In response to the complaint associated with dry air, controls on the central plant's humidification equipment were adjusted to maintain between 35% and 45% return air relative humidity. After these changes were made, occupants reported that indoor air quality in the suite was acceptable. The changes also reduced the adverse impact of the smoking problem, but this issue was only completely resolved when the smoker was reassigned elsewhere.

Temperature readings taken during the January visit ranged from 70°F to 72°F (21°C to 22°C). Relative humidity was 22%. Temperature and relative humidity measurements were taken in the suite during the period April 1-4, 1991, more than two weeks after all changes had been made. Relative humidity was 36% in the morning with the humidification system off. The next day, with the system on, the relative humidity in the morning was 59%. Afternoon relative humidity measurements, all taken when the humidification system was operating, ranged from 48% to 71%. Temperature readings ranged from 75°F to 77°F (24°C to 25°C). The tenant reported a perceived improvement in air quality.

During the visit, two of three operating video display terminals were positioned in a manner that could give rise to musculoskeletal problems for operators after intensive use. Also, screen contrast was poor. An employee said the units are used two to four hours a day with frequent breaks. Suggestions to mitigate the problems were made; however, no follow-up was performed.



#### CASE STUDY 4

A tenant occupying approximately 3,150 ft<sup>2</sup> (293 m<sup>2</sup>) in two separate areas of the top floor of a 13-story commercial office building in Washington, DC, voiced concerns regarding chemical odors, low relative humidity, temperature extremes, and poor air distribution. The investigation took place on January 28, 1991.

One source of chemical odors was traced to an adjacent suite, where a film processing laboratory was set up. The facility was cluttered and poorly maintained. Standing waste water was observed in drain pans, and local exhaust ventilation consisted merely of a penetration through the wall above the processing facility that opened into a return air shaft.

It was speculated that odors from the facility were being drawn into the suspended ceiling above the darkroom and carried into complainants' offices by the corridor's return air system. As the presence of the laboratory constituted a lease violation, it was shut down by building management.

In addition, in the course of resolving indoor air quality problems, building staff discovered foul odors coming from a broken connection on a sanitary drain line vent pipe located in the wet stack passing through the space. The connection was repaired.

Relative humidity measurements during the visit averaged 30%. This level was deemed to be acceptable. Building staff reported that complaints occurred when the exterior and single interior fan spray humidification systems were shut off. Therefore, since remediation clearly lay in keeping them in operation, this was done for as long as possible while avoiding excessive comfort range conditions.

Temperature extremes were traced to conditions in the ceiling void above the suspended ceiling tile. The air temperature in the void over two perimeter offices was ten degrees colder than the suite temperature. Drafts were noted in the ceiling, and a stack effect of cold air was found at the top of the riser chases. This cold air was being drawn down into the suite through openings in the tenant-installed light fixtures by the corridor's return air system, creating localized drafts. Average space temperature within the offices was 73°F (23°C). Corrective action involved sealing the tops of the riser chases with insulating material.

A number of findings supported the contention of poor air circulation. Numerous leaks through inspection doors and duct seams installed on the high-pressure riser ductwork located in the suspended ceilings were detected in both suites. A 3-in. (76-mm) discharge air flexible duct was found disconnected from a diffuser, further reducing conditioned airflow. Discharge airflow from office induction units was determined to be below design criteria in some units, above in others.

Moreover, despite the fact building management stated that the induction units had been professionally cleaned in 1990, unit interiors were excessively dirty and held assorted food and trash, such as popcorn, cigarette butts, and plastic spoons containing dried food. Condensate pans were coated with dried waterborne debris. The presence of dirt was also detected on the main corridor return air grilles; balancing dampers inside the devices were restricted approximately 50% by debris.

Leaks were repaired by replacing worn gasketing around the inspection doors and sealing seams. The discharge duct was reconnected. The induction units were recleaned professionally, this time under close supervision. Static pressure measurements were adjusted to manufacturer's specifications on the air jet nozzles in the induction units.

Other problems potentially impacting on air quality were also detected. In the ceiling above one office, a five-gallon bucket of water, more than half full, was observed. It was there

to collect water from an active roof leak. The bucket was removed immediately and a separate investigation begun to determine the location of the leak. Odors from consumables were produced by the tenants themselves from coffee pots and popcorn machines. Because of the odor, noise, and potential food source for pests, the tenant was advised to refrain from using the popcorn machine and to consider installation of a properly vented kitchenette.

After the changes were made, the tenant reported a marked improvement in air quality.

#### CONCLUSIONS

If our experience is representative, most indoor air quality complaints do not require the services of outside consultants performing extensive sampling and analysis to identify problem sources. On the contrary, if experienced in-house personnel are available, since most complaints involve straightforward deficiencies in the heating, ventilating, and air-conditioning distribution system, they can easily be remedied.

Appropriate in-house expertise would be an individual at the managerial level with extensive experience in the operation and maintenance of mechanical systems. While an individual with environmental expertise is a welcome addition to the response team, in our experience this individual does not play a pivotal role in indoor air quality investigations.

Use of internal personnel is advantageous for reasons other than the fact that such resources are capable of solving most indoor air quality problems at apparently significant cost savings to the building owner. In-house personnel are motivated to respond swiftly and to solve the problem without delay. Market forces, i.e., a distressed tenant who could move elsewhere if grievances go unaddressed, dictate no other than decisive action.

Building staff themselves do not appear to be the best investigators. After all, in our case studies, effective action was taken by building staff in just one instance prior to the arrival of the response team. Although the reasons remain unclear without further study, it appears that both a lack of proper training and the perception that indoor air quality complaints are not serious concerns are major contributing factors to ineffective building staff response.

Our work appears to underscore the need for such training, as well as more in-depth instruction and training in the operation and maintenance of mechanical systems.

The case studies further point out the need for close supervision of mechanical system cleaning contractors and contractors servicing building HVAC systems and for thorough inspection of air distribution systems in spaces undergoing renovation. Finally, it is also clear that tenant-induced activities, most commonly introduction of heat-generating equipment and overcrowding, carry the potential both for causing and/or aggravating indoor air quality problems.

#### REFERENCES

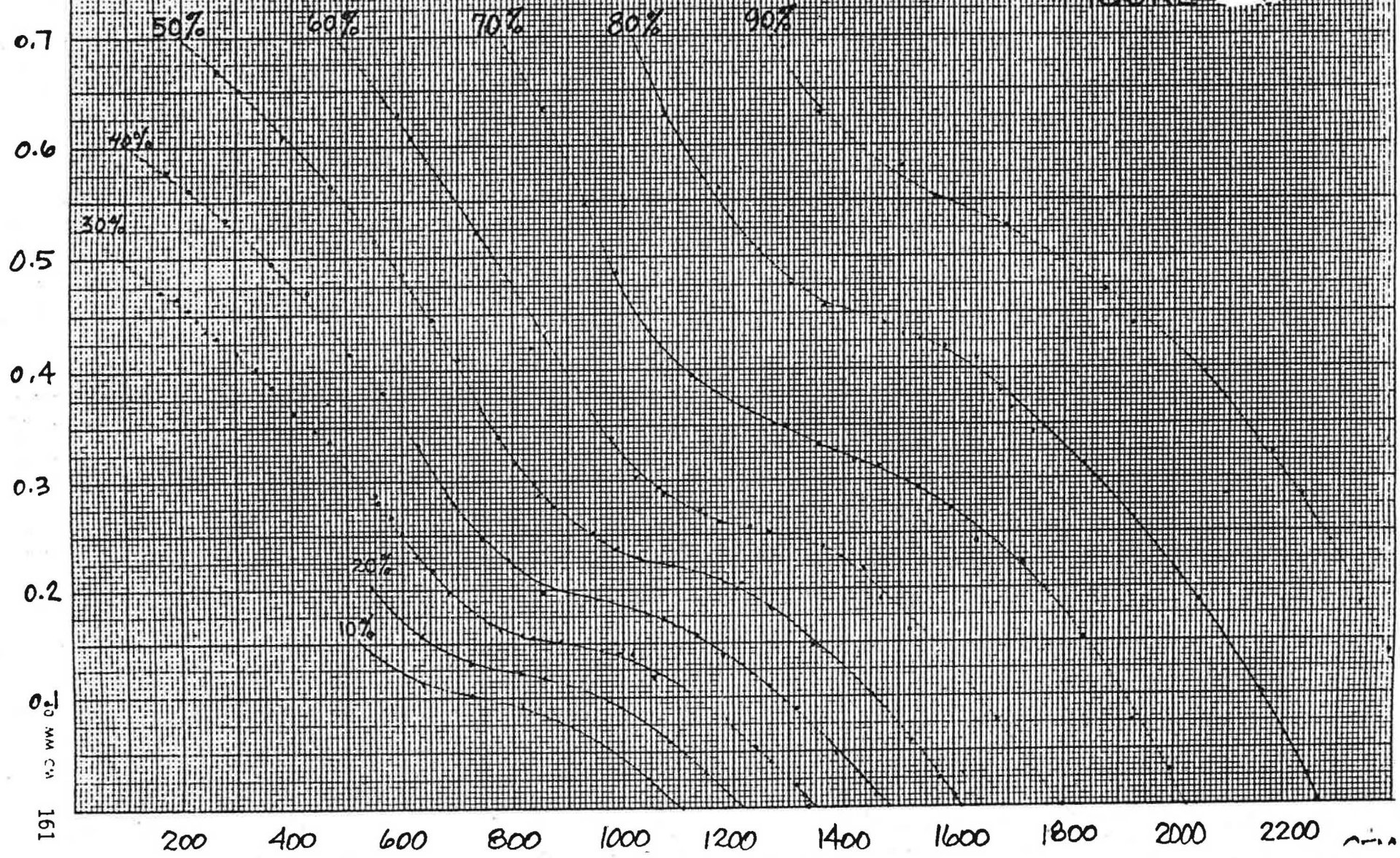
- ACGIH. 1989. *Guidelines for the assessment of bioaerosols in the indoor environment*. Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists.
- BOCA. 1989. *The BOCA national building code/1990*, 11th ed., p. 136. Country Club Hills, IL: Building Officials and Code Administrators International, Inc.
- Light, E.N. 1989. "Why indoor air studies fail: The pitfalls and fallacies." *Indoor Pollution Law Report*, Vol. 3, No. 3 (Aug.), pp. 1+.
- U.S. EPA. 1989. *Survey of indoor air quality diagnostic and mitigation firms*. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, Indoor Air Division, Office of Air and Radiation (EPA 400/189/004).



$P_3$  STD  
(po. d'eau)

# CEM STD VS $P_s$ POUR DÉPRESSURISATION

FIGURE





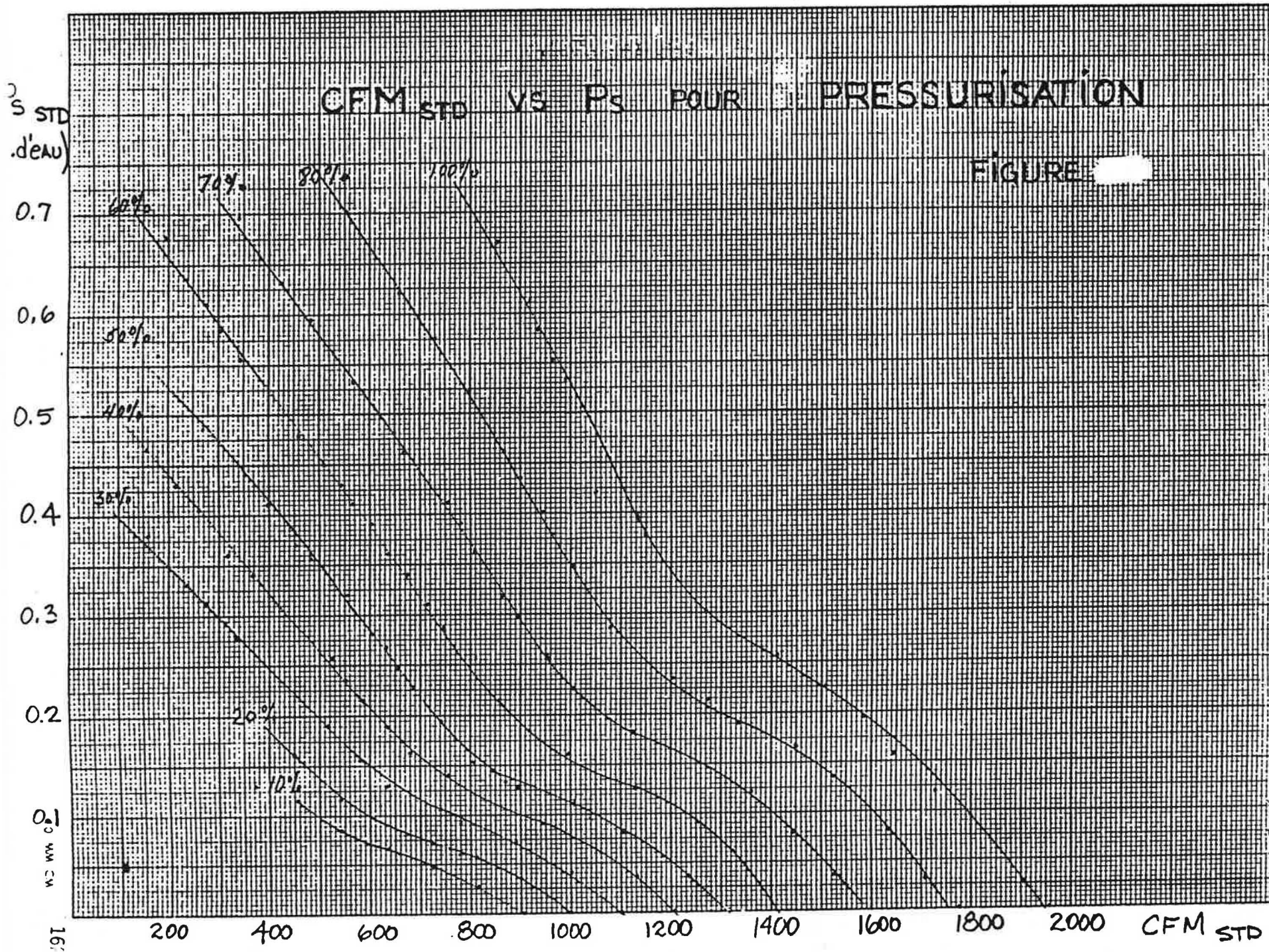


FIGURE [REDACTED]